

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Selección y definición del tema de proyecto

1.1.1. Título del proyecto

“Estudio y patronamiento de vertedores”

1.1.2. Antecedentes

El Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” fue creado a raíz de una necesidad de contar con un centro donde se pueda verificar los principios teóricos que son impartidos en la asignatura de hidráulica.

Asimismo la importancia del laboratorio radica en la necesidad del proceso enseñanza-aprendizaje, de la carrera de Ingeniería Civil.

El único material de apoyo académico que se cuenta para el laboratorio de hidráulica en la actualidad, es un Manual de prácticas elaborado en el año 1997, el mismo que contiene una serie de prácticas tanto de Hidráulica I (CIV-321) e Hidráulica II (CIV-322), el cual aun en la actualidad se encuentra en uso.

Las prácticas que se tienen en el manual vigente, no se llegan a realizar en su totalidad debido a la falta de equipos y por el deterioro de alguno de ellos.

En la actualidad el laboratorio de hidráulica cuenta con una reciente infraestructura moderna, donde los equipos (tuberías, canales, bombas, entre otros) que se tienen instalados para su funcionamiento en la realización de las prácticas de la asignatura de hidráulica, no se encuentran en buen estado el cual no ayuda a obtener datos más precisos para determinar resultados con mayor exactitud debido a la falta del mantenimiento y calibración de dichos equipos.

1.2. El problema de la investigación

1.2.1. Planteamiento del problema

En la actualidad el laboratorio de hidráulica cuenta con una nueva infraestructura en el cual requiere y necesita nuevos equipos para realizar las prácticas de Hidráulica II

(CIV-322), para mejorar la enseñanza y aprendizaje de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil.

Tal situación obedece a factores como la falta de concientización del personal docente acerca de la importancia de la función académica que debe tener la asignatura de Hidráulica II (CIV-322) y Laboratorio.

El manual de prácticas de laboratorio actual contiene una cantidad de 25 prácticas de las cuales solo se realizan 6 prácticas en cada asignatura de Laboratorio de Hidráulica I (CIV-321) e Hidráulica II (CIV-322), el mismo es deficiente en cuanto al apoyo para el aprendizaje por la falta de no ser completo y entendible.

Pronóstico:

Las circunstancias anteriores pueden llevar a los docentes, estudiantes a desaprovechar las oportunidades que brinda la nueva infraestructura para no lograr tener una calidad en la enseñanza el cual impediría que garantice el aprendizaje.

Control al pronóstico:

Esta situación hace que sea necesario que el plan de estudio académico de Hidráulica II (CIV-322), tenga una correlación entre laboratorio y asignatura teórica, así mismo complementar y elaborar nuevas prácticas para realizar su ensayo en el laboratorio.

1.2.2. Formulación del problema

¿Cuáles son las incidencias que se dan en el proceso de aprendizaje, debido a la falta de un material de consulta completa así mismo la poca correlación paralela entre la asignatura teórica y el Laboratorio de Hidráulica II (CIV-322)?

1.2.3. Sistematización del problema

En la sistematización del problema tenemos las siguientes sub-preguntas:

- a. ¿Qué metodología se utilizara en las prácticas propuestas?
- b. ¿El material contemplara un buen aprendizaje para el estudiante?
- c. ¿Se utilizaran todas las herramientas que se tiene?
- d. ¿Las prácticas serán dinámicas?

- e. ¿Qué alternativas podemos tomar en cuenta para que el aprendizaje sea más beneficioso?

1.3. Objetivos del proyecto

1.3.1. Objetivo general

Proponer y complementar nuevas prácticas de apoyo al aprendizaje del Laboratorio de Hidráulica II (CIV-322).

1.3.2. Objetivos específicos

- Elaborar un modelo de informe para realizar las prácticas de laboratorio.
- Estructurar cada práctica de acuerdo al avance curricular de la asignatura.
- Implementar conceptos teóricos y prácticos de todos los principios que rigen la hidráulica.
- Adecuar los equipos del laboratorio a prácticas concretas y de fácil realización.

1.4. Justificaciones del proyecto

1.4.1. Justificación académica

Aplicar los conocimientos adquiridos en las diferentes asignaturas en la carrera de Ingeniería Civil y particularmente en la asignatura de hidráulica, para poder encarar los conceptos, principios y metodologías para elaborar prácticas que serán estudiados por los estudiantes y docentes que se ven involucrados en la asignatura de Hidráulica II (CIV-322).

1.4.2. Justificación técnica

Elaboración de nuevas prácticas que complementaran a las que se tienen en el Manual vigente, para la enseñanza y el aprendizaje del manejo de los equipos del laboratorio de hidráulica, de acuerdo a criterios básicos, y se puedan sacar conclusiones de los fenómenos hidráulicos que se observan en las prácticas presentadas.

1.4.3. Justificación social

Todo el material elaborado será proporcionado en forma digital e impresa a la comunidad estudiantil y docentes que imparten el laboratorio en la asignatura de Hidráulica II (CIV-322), de la carrera de la Ingeniería Civil, el mismo que servirá de

base y apoyo en la realización de las prácticas que puedan desarrollarse a lo largo de la asignatura.

1.4.4. Justificación institucional

La aportación e incorporación de prácticas para el aprendizaje y el conocimiento estudiantil del área de hidráulica en la carrera de Ingeniería Civil es muy importante, y así el mejoramiento de la Facultad Ciencias y Tecnología, como así también a la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” la cual es ente referente de la formación de profesionales con conocimientos sólidos que aportan a la sociedad.

1.5. Marco de referencia

1.5.1. Marco teórico

En cuanto a las prácticas presentadas para la elaboración del documento de apoyo a la explicación científica de lo que se obtiene en la asignatura de Hidráulica II (CIV-322), se utilizará la guía que se encuentra en vigencia para rescatar algunos temas (prácticas) que serán mejoradas para su ejecución, realización y presentación por parte de los estudiantes. Así mismo se introducirá nuevos temas que sigan la correlación teórica impartida en la asignatura de Hidráulica II (CIV-322).

Para lograr introducir los nuevos temas de prácticas en laboratorio se recolectará y revisará la mayor información para estructurar cada una de las prácticas.

Mediante la investigación que se realizará se tendrá una serie de prácticas que serán plasmadas, las cuales serán presentadas como actualización y nuevas prácticas, mejoradas para su mejor enfoque de la asignatura, utilizando los equipos disponibles que se tiene en el laboratorio.

No se perderá secuencialidad de lo que se obtiene en la asignatura Hidráulica II (CIV-322), los fenómenos, ecuaciones, gráficas; el cual será de verificación y comprobación en el laboratorio.

Las prácticas que serán realizadas, son las siguientes:

1. Vertedero de pared delgada (cresta transversal semicircular)
2. Vertedero de pared gruesa (cresta longitudinal triangular)

Para cada práctica presentada se deberá realizar una cantidad considerable de repeticiones en su ejecución del cual se verificara cada uno de los cálculos obtenidos para ser comparados con la literatura de la asignatura de Hidráulica II (CIV-322).

En las prácticas enunciadas, serán realizados en un canal rectangular en el laboratorio de hidráulica para observar el fenómeno que describe en el fundamento teórico en cada una de ellas y tratar de obtener datos claros y precisos para su posterior procesamiento.

Se debe tener una precaución en cada una de las prácticas al momento de la toma de datos, porque podría causar error en el procesamiento de cada una de las prácticas descritas anteriormente.

El protocolo de las prácticas tendrá la misma secuencia para no confundir al estudiante o persona afín a la hidráulica que aplicara la práctica.

1.5.2. Marco conceptual

Aguas abajo: en la dirección de la corriente en un río o canal el cual cursa agua.

Aforo: acción y efecto de aforar.

Aforar: Medir la cantidad de agua que lleva una corriente en una unidad de tiempo.

Aguas arriba: en la dirección hacia la cabecera de un río o canal.

Carga hidráulica: es una medida específica de la presión del líquido por encima de un datum geodésico.

Canal: es un conducto en el que el líquido fluye con una superficie sometida a la presión atmosférica. El flujo se origina por la pendiente del canal y de la superficie del líquido.

Cresta: es el bordo superior el cual eleva en nivel del agua, también llamado pared o umbral.

Desnivel: diferencia de altura entre dos o más puntos o superficies.

Flujo: movimiento de un fluido.

Fluido: Sustancia que se deforma continuamente al ser sometida a esfuerzos de corte.

Caudal: volumen de agua que circula por una unidad de tiempo a través de una sección transversal de un río o canal de una corriente o conducción.

Lámina de agua: volumen de agua en milímetros (mm) caída por unidad de superficie.

Linnímetro: registra el nivel del agua discontinuamente.

Patronamiento: es el ajuste que se debe realizar a cualquier instrumento antes de realizar medidas para garantizar sus lecturas.

Vertedero: dispositivo utilizado para regular y medir caudales en cauces de ríos y canales abiertos

1.5.3. Marco espacial

El Laboratorio de Hidráulica, inculca experimentación de cada uno de los fenómenos que existe en la hidráulica para su observación y verificación de tal fenómeno que está dentro de la institución de enseñanza en la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” ubicado en la provincia Cercado del departamento Tarija, Bolivia.

1.5.4. Marco temporal

El manual de prácticas de laboratorio de hidráulica fue elaborada el año 1997 tiene un tiempo de vigencia de uso hasta la actualidad.

Así mismo los libros que se utilizarán para tener una información clara y así poder lograr obtener nuestro material de apoyo al aprendizaje tendrá un rango desde la actualidad para adelante.

1.6. Alcance

El alcance de esta investigación tiene lugar las siguientes etapas:

- Recolección de información por parte del proyectista.

- Selección de la información recolectada.
- Análisis de la información seleccionada de acuerdo a las prácticas que se van a realizar.
- Elaboración del contenido: Objetivos, Fundamentación teórica, Materiales y equipos, Procedimiento de la práctica, Planilla de obtención de datos, Procesamiento de datos, Planilla de resultados, Preguntas de repaso, Mejorando la información.
- Realización de las prácticas.
- Verificación de los datos obtenidos en la ejecución de la práctica mediante una planilla.
- Análisis y discusión de los resultados obtenidos para comparar con la literatura.
- Modelo para la elaboración de un informe de laboratorio debe contener con objetivos claros y específicos de cada uno de los puntos que tendrán los informes de Laboratorio de Hidráulica.

2. DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN

2.1. Generalidades

Leslie Skertchly Molina (1988) afirma:

“Los vertederos son aquellas estructuras que se colocan transversalmente al flujo produciendo una contracción de la sección del flujo, en sentido vertical. Una clasificación obedece al espesor de cresta de la estructura; es decir, a la longitud de la estructura en la dirección del flujo. De acuerdo con esto los vertederos son de pared delgada o cresta afilada y de cresta ancha.

Los vertederos de pared delgada pueden describirse como placas verticales apoyadas a la plantilla del canal; las placas presentan su superficie normal al flujo, para producir un cambio de dirección y eventualmente la contracción de la sección con el consiguiente cambio de velocidad.

Este tipo de estructura es común y ampliamente estudiado. Se han recomendado algunos perfiles bien definidos para la pared del vertedor. El funcionamiento del dispositivo se basa en la formación de una lámina vertiente, por lo que la deformación de esta afecta la precisión de medida del flujo. Por tal razón el uso de esta estructura se limita a flujos con agua claras, sin sedimentos o basuras que pueden ser atrapadas en la estructura y afectar la sección de llegada o la forma de la lámina vertiente.

La principal limitación de este tipo de estructuras es la carga hidráulica. Si la carga hidráulica es reducida y en consecuencia, la lámina vertiente no cae libremente, la estructura no funcionara adecuadamente y se verá afectada en cuanto a su precisión. Si sucede lo contrario, es decir, si la carga hidráulica es excesiva, será necesario de proveer de protección el tramo de aguas abajo, lo cual hará su construcción costosa.

Los vertederos de cresta ancha se forman por la elevación de un corto tramo de la plantilla del canal. También se conoce como vertederos de base ancha,

debido a la forma de la estructura, a la longitud del tramo de contacto entre la lámina de flujo y perfil de la estructura.

En esta categoría de aforadores se incluyen varios tipos de vertedores que han sido estudiados para adecuarse a situaciones especiales tales como calidades del agua, pérdidas de carga, etc. La mayoría de estos medidores fusionan bajo condiciones críticas, lo cual permite predecir su comportamiento hidráulico aplicando conocimientos teóricos. Los coeficiente de descarga se calculan haciendo uso de la teoría de capa limite. La aplicabilidad de esta metodología se ha comprobado experimentalmente.

Esta clase de estructuras tienen grandes ventajas tanto en construcción como en aplicabilidad y funcionamiento. Algunas estructuras de este tipo funcionan el 95% de ahogamiento sin que se afecte su ley de descarga, y se pueden utilizar para cualquier tipo de aguas y para un rango muy amplio de gastos". (p. 7-8).

2.2. Clasificación de los vertederos

La clasificación de los vertederos es de acuerdo a los siguientes factores:

- a. Por su planta.
 - De planta recta.
 - De planta curva.
 - De planta combinada.
- b. Por su geometría o su vista.
 - De forma rectangular
 - De forma triangular
 - De forma trapecial
 - De forma circular, parabólico.
- c. Por su perfil o espesor de pared.
 - De pared delgada.
 - De pared gruesa (espesor mayor de $0,66H$)

- d. Por su funcionamiento.
 - Con velocidad de llegada.
 - Sin velocidad de llegada.
- e. Por su longitud de cresta en relación al ancho del canal de acceso.
 - Sin contracciones laterales ($L = B$).
 - Con contracciones laterales ($L < B$).
- f. Atendiendo aguas abajo al vertedero.
 - Con descarga libre (cuando la elevación del vertedero es superior al de la superficie libre aguas abajo).
 - Sumergido o ahogado (cuando la elevación del vertedero es inferior al de la superficie libre aguas abajo).

2.2.1. Vertedero por su perfil o espesor de pared

Un vertedero es una barrera que se interpone al flujo, causando sobre-elevación del nivel de la lámina aguas arriba y disminución agua abajo. Las principales funciones de los vertederos son:

- Control de niveles de embalse, canales, depósito, estanques, etc.
- Aforo de medición de caudales.
- Elevar el nivel de agua.
- Evacuación de crecientes o derivación de un determinado caudal.

Los vertederos son estructuras utilizadas frecuentemente para la medición de caudales; sin embargo, cuando se instalan en corrientes naturales tienen la desventaja que se colmatan de sedimentos.

Las variables básicas Q y H siguen un modelo matemático dado por la ecuación de patronamiento.

$$Q = KH^n$$

Donde:

$Q =$ Caudal

K = Constante de calibración

H = Carga hidráulica con relación a la cresta del vertedero

n = Exponente

2.2.1.1. Vertedero de pared delgada

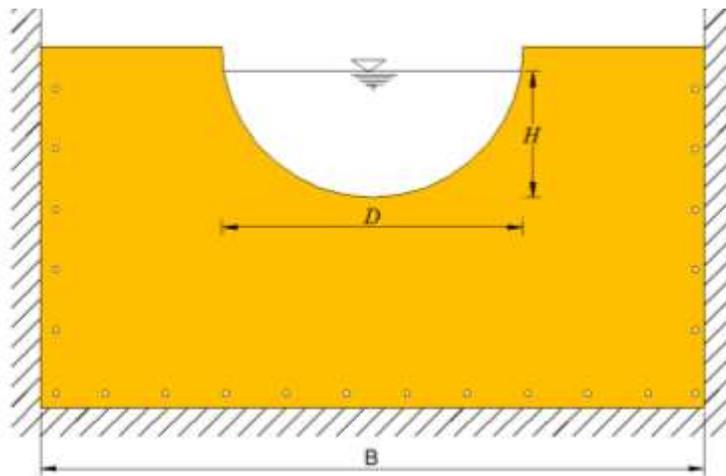
También conocidos como vertederos de cresta delgada o pared aguda. Estos vertederos son contruidos de una hoja de metal u otro material que pueda ser biselado y que permita que el chorro salga libremente de la cresta del vertedero.

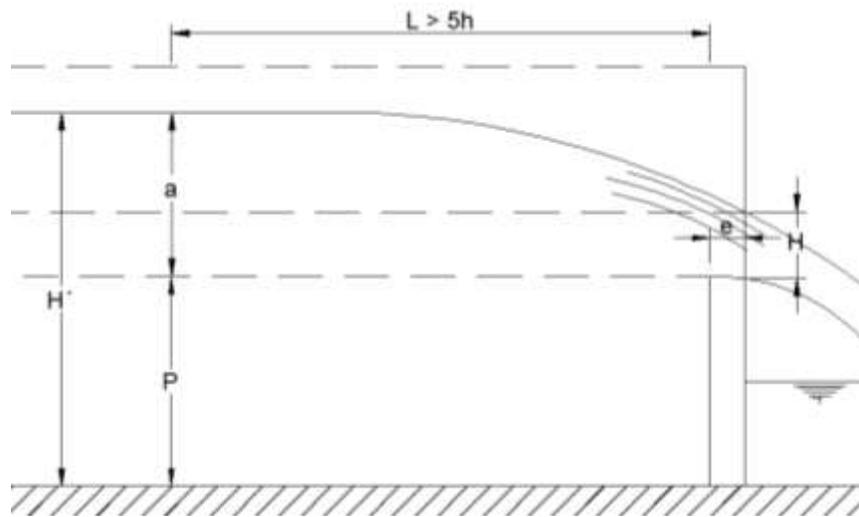
Los vertederos de pared delgada sirven para medir caudales con muy buena precisión, siempre que estén bien instalados.

Debe haber una poza de amortiguación o un canal de acceso aguas arriba para calmar cualquier turbulencia y lograr que el agua se acerque al vertedero lenta y suavemente.

A continuación se definen los términos comúnmente utilizados en la descripción de los flujos a través de Vertederos. La figura 2-1 ilustra dichos términos.

FIGURA 2-1 Terminología relativa al flujo de vertedero semicircular





donde:

D: Diámetro de la sección del vertedero

B: Ancho del canal de acceso.

a: Carga del vertedero. Es el desnivel entre la superficie libre aguas arriba y la cresta del vertedero.

H: Carga sobre la cresta.

P: Altura o cota de la cresta, referida al fondo del canal.

L: Distancia mínima, aguas arriba del vertedero, a la cual se coloca el medidor de niveles (limnómetro), $L \geq 5h$.

e: Espesor de la pared del vertedero

H': Espesor de la lámina de agua, aguas arriba del vertedero.

2.2.1.1.1. Clasificación de los vertederos de pared delgada

Existen diferentes tipos de vertederos según la forma geométrica que se obligue a adoptar a la sección de la vena líquida que circula por la escotadura, siendo los más comunes:

- Rectangulares con y sin contracción.
- Triangular.

- Trapezoidal.
- Tipo sutro.
- Circular.
- Semicircular.

2.2.1.1.1.1. Vertedero semicircular

2.2.1.1.1.1.1. Objetivo general

Estudiar experimentalmente los vertederos de pared delgada como estructuras hidráulicas para el control de niveles y medición de caudal.

2.2.1.1.1.1.2. Objetivos específicos

- Calibrar una ecuación para el vertedero de pared delgada (perfil semicircular).
- Obtener el coeficiente de descarga para el vertedero estudiado
- Determinar la utilización del tipo de vertedero estudiado de acuerdo a sus características.

2.2.1.1.1.1.3. Fundamentación teórica

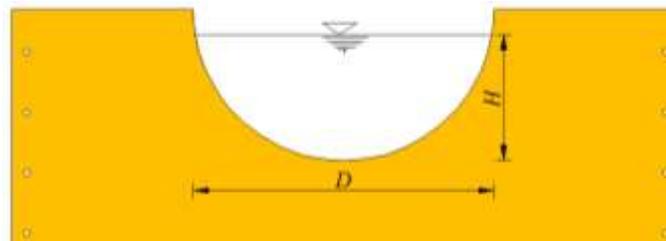
Los vertederos de pared delgada pueden describirse como placas verticales apoyadas o empernadas en el canal; las placas presentan su superficie normal al flujo, para producir un cambio de dirección y eventualmente, la contracción de la sección permite el cambio de velocidad y permiten medir la cantidad de caudal.

Así mismo en los laboratorios se calibran ecuaciones para los diferentes tipos de sección que tiene el vertedero.

Las principales funciones de los vertederos son:

- Aforo o mediciones de caudales
- Calibración de ecuaciones en laboratorios.
- Se emplea para controlar niveles de excedencia.

FIGURA 2-2 Vertedero semicircular



Ecuación para el vertedero circular y semicircular de Stauss – Von Sanden, expuesta en el “Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica” de la Universidad nacional de Colombia.

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{\frac{5}{2}} \quad (2-1)$$

Q (m³/s), ϕ (m^{1/2}/s), D (m).

Ramponi propone la siguiente formula aproximada, para calcular ϕ en m^{1/2}/s presentada y obtenida del “Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica” de la Universidad Nacional de Colombia, así mismo se puede utilizar la tabla 2-1.

$$\phi = 3,203 \left(\frac{H}{D} \right)^{1,975} - 0,842 \left(\frac{H}{D} \right)^{3,78} \quad (2-2)$$

Tabla 2-1. Valores ϕ en función de h/D, para vertedores circulares de pared delgada

H/D Adim.	ϕ m ^{1/2} /s								
0,01	0,00047	0,21	0,1452	0,41	0,5199	0,61	1,072	0,81	1,733
0,02	0,00154	0,22	0,1588	0,42	0,5437	0,62	1,104	0,82	1,767
0,03	0,00319	0,23	0,1729	0,43	0,5681	0,63	1,135	0,83	1,801
0,04	0,00543	0,24	0,1877	0,44	0,5929	0,64	1,167	0,84	1,836
0,05	0,00893	0,25	0,2030	0,45	0,6182	0,65	1,199	0,85	1,869
0,06	0,0120	0,26	0,2190	0,46	0,6439	0,66	1,231	0,86	1,904
0,07	0,0164	0,27	0,2355	0,47	0,6700	0,67	1,263	0,87	1,938
0,08	0,0215	0,28	0,2527	0,48	0,6965	0,68	1,296	0,88	1,972
0,09	0,0273	0,29	0,2704	0,49	0,7223	0,69	1,328	0,89	2,006
0,10	0,0338	0,30	0,2886	0,50	0,7506	0,70	1,361	0,90	2,041
0,11	0,0409	0,31	0,3072	0,51	0,7782	0,71	1,394	0,91	2,074
0,12	0,0487	0,32	0,3264	0,52	0,8062	0,72	1,427	0,92	2,108
0,13	0,0571	0,33	0,3460	0,53	0,8344	0,73	1,461	0,93	2,141
0,14	0,0661	0,34	0,3660	0,54	0,8630	0,74	1,495	0,94	2,174
0,15	0,0758	0,35	0,3866	0,55	0,8920	0,75	1,528	0,95	2,206
0,16	0,0860	0,36	0,4076	0,56	0,9212	0,76	1,562	0,96	2,238
0,17	0,0967	0,37	0,4291	0,57	0,9509	0,77	1,596	0,97	2,270
0,18	0,1080	0,38	0,4511	0,58	0,9809	0,78	1,630	0,98	2,301
0,19	0,1198	0,39	0,4735	0,59	1,0110	0,79	1,664	0,99	2,332
0,20	0,1322	0,40	0,4965	0,60	1,0420	0,80	1,699	1,00	

Fuente: Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica de la Universidad Nal. de Colombia

Según Stauus y Jorissen, el coeficiente de descarga C_d , presentada en el “Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica de la Universidad Nacional de Colombia.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D} \quad (2-3)$$

La ecuación (2-3) es válida si $0.20m \leq D \leq 0.30m$; $0.075 < H/D < 1$.

Ramponi también propone la siguiente ecuación, para determinar el coeficiente de descarga, presentada en el “Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica de la Universidad Nacional de Colombia.

$$C_d = \left[0,35 + \frac{0,002}{H/D} \right] \left[1 + \left(\frac{A}{A_0} \right)^2 \right] \quad (2-4)$$

La ecuación (2-4) es válida $1m < D$, y que no cumpla con las exigencias de distancia mínima de la ecuación (2-3)

Donde:

H : carga hidráulica o altura de carga.

D : diámetro.

Q : caudal.

ϕ : depende de la relación H/D dada por la Tabla 2-1 o la ecuación 2-2.

A: área mojada del vertedero entre la cresta y la carga H correspondiente.

A_0 : área mojada del canal de acceso

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) expuesta en el “Manual de estudio y patronamiento de vertederos” de la Universidad del Cauca es:

$$Q = 1,518 \cdot D^{0,693} \cdot H^{1,807} \quad (2-5)$$

2.2.1.1.1.4. Equipos y materiales

Para el desarrollo de la práctica, tenemos la siguiente lista de materiales y equipos a utilizar:

- Vertedero de pared delgada semicircular
- Flexómetro.
- Tanque de aforo.
- Regla graduada.
- Cronómetro.

2.2.1.1.1.1.5. Procedimiento de la práctica

Para la realización de la práctica se cuenta con un canal de sección transversal rectangular que permite instalar cualquier sección de vertedero de pared delgada.

Los pasos que se deben seguir al momento de realizar la práctica son los siguientes:

1. *Colocar el vertedero semicircular.*
2. *Medir las características geométricas del vertedero semicircular y el canal de acceso, como ser: el diámetro, ancho del canal de aproximación, altura de la cresta respecto al piso. Se debe tomar nota de la elevación de la cresta, de forma que la carga sobre el vertedero se mida con respecto a ese nivel.*
3. *Poner a funcionar las bombas que abastecen al tanque de carga constante. Abrir la válvula de regulación hasta lograr que se estabilice el flujo en la instalación. Se debe observar que no existan salideros de agua por las uniones del vertedero y que durante toda la calibración el tanque de carga constante se encuentre vertiendo.*
4. *Medir la carga sobre el vertedero con la mira mecánica, diferenciando entre L_i y L_f y el tiempo de llenado del volumen prefijado en el tanque de aforo.*
5. *Variar el caudal y repetir las indicaciones que se dan en el punto 4.*

2.2.1.1.1.1.6. Planilla de obtención de datos

En esta práctica, para el levantamiento de datos se realizará en la Tabla 2-2 y Tabla 2-3, ubicada al final de esta práctica.

2.2.1.1.1.1.7. Procesamiento de datos

Para el procesamiento de los datos de la práctica se debe seguir el orden indicado:

1. *Calcular la carga de agua sobre el vertedero (H), en metros. Se determina por la diferencia entre las lecturas de la mira mecánica de precisión. La lectura inicial es la correspondiente a la elevación de la cresta, que es un valor constante durante la calibración. La lectura final es la que se obtienen al poner la punta de la mira en la superficie libre del agua.*
2. *Determinar el caudal de circulación (Q), en m^3/s . Es el caudal real o efectivo a partir de dividir el volumen de agua acumulada en el tanque de aforo, entre el tiempo.*
3. *Para el tiempo se debe aplicar teoría de errores.*
4. *Realizar el cálculo del caudal esperado por fórmulas empíricas propuestas por diferentes autores, comparar los resultados con los valores del caudal obtenidos experimentalmente.*
5. *Obtener una ecuación de caudal vs. Carga (Q vs H) para el vertedero analizado.*

2.2.1.1.1.1.8. Planilla de resultados

Al final de esta práctica se plasmarán los resultados obtenidos de todos los cálculos en la Tabla 2-4 de la presente práctica.

2.2.1.1.1.1.9. Preguntas de repaso

Para autoevaluarse la comprensión de la práctica realizada, responda las siguientes preguntas de acuerdo a la observación del fenómeno presentado:

- *¿Qué variables relaciona las ecuaciones del vertedero semicircular?*
- *¿Qué características tiene un vertedero semicircular?*
- *Calíbrese un vertedero semicircular, y compárense sus caudales con los correspondientes a la ecuación (2-1) y (2-5).*

2.2.1.1.1.1.10. Mejorando la información

Para poder mejorar la comprensión del fenómeno estudiado en la práctica, ingresa al siguiente sitio web, donde hay una explicación audio visual:

- a. <https://www.youtube.com/watch?v=KcjHJ1gwJTE> [video interactivo de Vertederos, duración 3 min 40 s]
- b. <https://www.youtube.com/watch?v=IA-N2advs7Q> [video interactivo de Vertederos, duración 3 min 26 s]

**VERTEDERO DE PARED DELGADA PERFIL SEMICIRCULAR
HOJA DE LEVANTAMIENTOS DE DATOS
ASIGNATURA: LABORATORIO DE HIDRÁULICA II (CIV-322)**

<i>Universitario (a):</i>	
<i>Docente:</i>	
<i>Fecha:</i>	

<i>DATOS DE LA PRÁCTICA</i>		
<i>Geometría del tanque</i>		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Largo del tanque (b) =		[m]
Ancho del tanque (a) =		[m]
Altura del tanque (h) =		[m]
<i>Datos de la práctica</i>		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Lectura inicial mira (L_i) =		[cm]
Lectura final mira (L_f) =		[cm]
Paramento aguas arriba (P) =		[cm]
Ancho del canal de acceso (B) =		[cm]
Espesor del bisel (e) =		[mm]
Temperatura del agua (T) =		[°C]
Diámetro (D) =		[cm]

Tabla 2-2 Datos de la práctica

DATOS INICIALES DE LA PRÁCTICA			
<i>Observaciones</i>	<i>Altura (tanque) (cm)</i>	<i>Tiempo (s)</i>	<i>Lectura (mira) (cm)</i>
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Tabla 2-3 Datos de

la práctica

**VERTEDERO DE PARED DELGADA PERFIL SEMICIRCULAR
HOJA DE RESULTADOS DE LA PRÁCTICA
ASIGNATURA: LABORATORIO DE HIDRÁULICA II (CIV-322)**

<i>Universitario (a):</i>	
<i>Docente:</i>	
<i>Fecha:</i>	

VERTEDERO SEMICIRCULAR	
RESULTADOS EXPERIMENTALES	
Carga (cm)	Caudal (L/s)

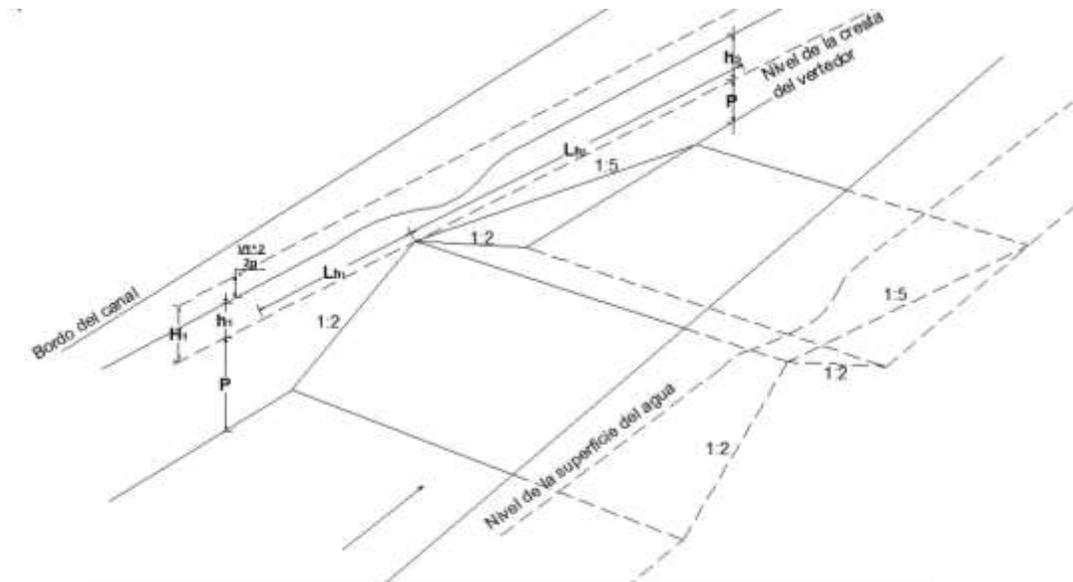
Tabla 2-4 Resultados de la práctica

2.2.1.2. Vertedero de pared gruesa

También conocidos como vertederos de cresta ancha. Un vertedero es considerado de pared gruesa, cuando la cresta es suficientemente gruesa para que el caudal se establezca el paralelismo con la cresta.

Este tipo de vertederos es utilizado principalmente para el control de niveles en los ríos o canales, pero pueden ser también calibrados y usados como estructuras de medición de caudal.

FIGURA 2-3 Terminología del vertedero de pared gruesa triangular



donde:

$v_1^2/2g$ = Carga de velocidad.

h_1, h_2 = Carga sobre la cresta del vertedero aguas arriba y aguas abajo.

H_1 = Carga total sobre el vertedero.

P = Altura o cota de la cresta, referida al fondo del canal.

1:2/1:2; 1:2/1:5= Pendientes del talud del vertedero.

L_{h1}, L_{h2} = Distancia de la pendiente del vertedero.

B = Ancho de la cresta

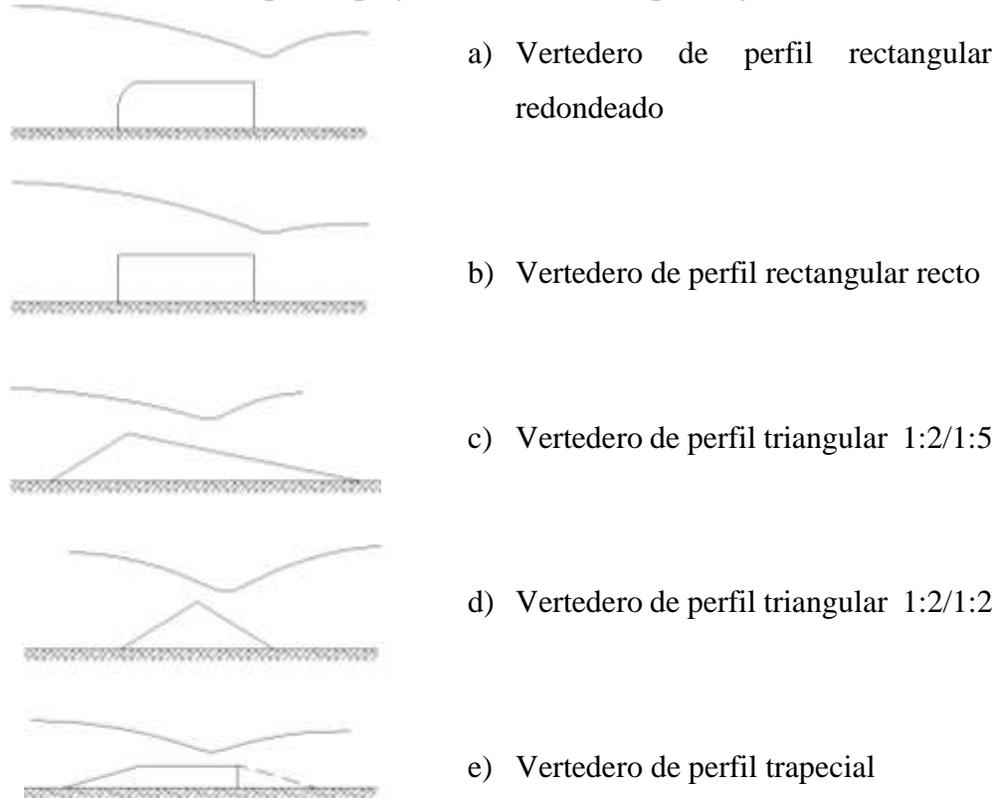
2.2.1.2.1. Clasificación de los vertederos de pared gruesa

Es conveniente establecer una clasificación de acuerdo al perfil transversal del vertedero. Por práctica experimental se han encontrado de utilidad tres tipos de perfiles:

- Triangular o Crump.
- Rectangular.
- Trapecial.

Así mismo de la clasificación que se tiene se pueden adaptar a otros tipos de sección haciendo algunas modificaciones, como se expresa en la figura 2-4.

FIGURA 2-4 Tipos de perfil de vertederos de pared gruesa



2.2.1.2.1.1. Vertederos Triangular o Crump

2.2.1.2.1.1.1. Objetivo general

Estudiar experimentalmente los vertederos de pared gruesa como estructuras hidráulicas para el control de niveles y medición de caudal.

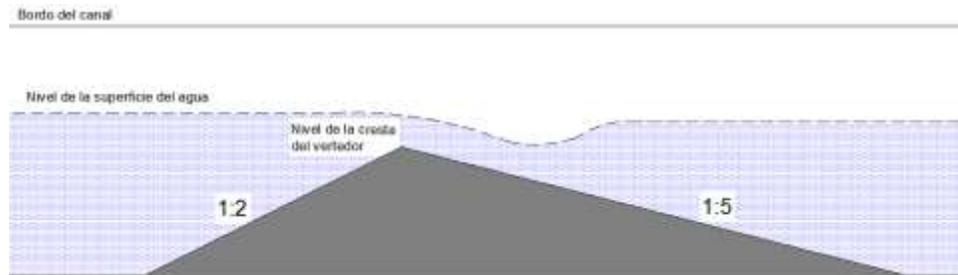
2.2.1.2.1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar los requerimientos con las ecuaciones para los vertederos de pared gruesa.
- Obtener el coeficiente de descarga para el vertedero estudiado
- Determinar la utilización del tipo de vertedero estudiado de acuerdo a sus características.

2.2.1.2.1.1.3. Fundamentación teórica

El vertedero de perfil triangular es de fácil construcción y permite realizar mediciones dentro de un amplio rango en forma confiable. Su uso es particularmente conveniente cuando la medición de caudales se puede realizar sin tomar en cuenta el tirante aguas abajo, es decir en condiciones modulares.

FIGURA 2-5 Vertedero de pared gruesa tipo Triangular



Caudal modular

La ecuación que describe el flujo para un vertedero de perfil triangular en condiciones modulares es:

$$Q = bC_d \sqrt{g} H_1^{3/2} \quad (2-6)$$

$$H_1 = h_1 + \alpha \frac{v_1^2}{2g} \quad \text{es la carga total sobre el vertedero} \quad (2-7)$$

α es un coeficiente que toma en cuenta la variación de la velocidad en la sección de flujo. Toma valores entre 1,0 y 1,15; en general se puede tomar como 1,0 ya que la carga de velocidad ($v_1^2 / 2g$) es pequeña en comparación con la carga medida h_1 .

Flujo ahogado

Como el ahogamiento provoca una reducción del caudal, se puede definir un factor en términos del flujo modular y el flujo que realmente pasa a través del vertedero, así

$$f = \frac{Q}{Q_{\text{mod}}} \quad (2-8)$$

Se toma como factor de reducción para flujo ahogado. El caudal resulta entonces

$$Q = bfC_d \sqrt{gH}^{3/2} \quad (2-9)$$

En donde f se puede obtener como

$$f = \left\{ \begin{array}{l} 1,035 \left[0,817 - \left[\frac{h_2}{h_1} \right]^4 \right]^{0,0647} \quad \text{si} \\ 0,75 < \frac{h_2}{h_1} \leq 0,93 \end{array} \right. \quad (2-10 \text{ a})$$

$$\left. \begin{array}{l} 8,686 - 8,403 \frac{h_2}{h_1} \\ 0,93 > \frac{h_2}{h_1} \leq 0,985 \end{array} \right\} \quad \text{si} \quad (2-10 \text{ b})$$

Resumen de funcionamiento:

		PERFIL	
		1:2/1:5	1:2/1:2
Coefficiente de descarga	C	0,633	0,683
Limite modular	$\frac{h_2}{h_1}$	75%	40%
Distancia entre la cresta del vertedor y la estación de medición de h	L_h	$\geq 2H_1(\text{max})$ $\geq 6P_1$	$4P_1$
otras limitaciones		$\frac{h_1}{w_1} \leq 3,5$ $\frac{h_1}{w_2} \leq 3,0$	$\frac{h_1}{w_1} \leq 3,00$ $\frac{h_1}{w_2} \leq 1,25$

2.2.1.2.1.1.4. Equipos y materiales

Para el desarrollo de la práctica, tenemos la siguiente lista de materiales y equipos a utilizar:

- Canal multipropósito de enseñanza Rehbock.
- Medidores de profundidad (limnómetro) o cinta métrica. Se necesitan 2.
- Vertedero triangular de pared gruesa

2.2.1.2.1.1.5. Procedimiento de la práctica

Para la realización de la práctica se cuenta con un canal de sección transversal rectangular Rehbock que permite instalar cualquier sección de vertedero de pared gruesa.

Los pasos que se deben seguir al momento de realizar la práctica son los siguientes:

1. *Instalar correctamente el vertedero de pared gruesa triangular en el canal Rehbock.*
2. *Coloque un bloque vertedero al final del canal Rehbock para asegurar que el vertedero triangular de pared gruesa quede en descarga sumergida.*
3. *Se necesitan limnómetros aguas arriba y aguas abajo del vertedor de pared gruesa.*

4. *Medir el ancho de la cresta para el vertedero instalado (B).*
5. *Medir la altura de la cresta para el vertedero instalado (P).*
6. *Encienda el equipo de bombeo.*
7. *Ajuste la válvula de compuerta para un caudal deseado.*
8. *Espere hasta que se establezca el ciclo de flujo en el equipo*
9. *Registre el tirante con el limnómetro (H) aguas arriba y aguas abajo en el vertedero triangular de pared gruesa*
10. *Desmonte los accesorios empleados y retire el exceso de agua con una toalla seca.*
11. *Colóquelos en su correspondiente lugar de guardado.*

2.2.1.2.1.1.6. Planilla de obtención de datos

En esta práctica, para el levantamiento de datos se realizara en la Tabla 2-5 y Tabla 2-6, ubicada al final de esta práctica.

2.2.1.2.1.1.7. Procesamiento de datos

Para el procesamiento de los datos de la práctica se debe seguir el orden indicado:

1. *Obteniendo todos los datos geométricos del canal y el vertedero de pared gruesa triangular.*
2. *Se determinar el caudal modular*
3. *En el caso que se encuentre ahogado se obtiene los valores por aproximaciones sucesivas de la siguiente manera: para un tirante h_1 , medido sobre el vertedor, se calcula en área hidráulica A , luego se toma h_1 como la carga total H_1 en las ecuaciones 2-10a o 2-10b según el caso, y se calcula el caudal Q .*
4. *Con este valor de Q , se recalcula la carga total usando la siguiente expresión:*

$$H_1 = h_2 + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

5. *Luego, reemplazando la carga H_1 , se regresa al paso 5 para calcular Q . el procedimiento se continua en esa secuencia hasta lograr una precisión deseada, ya sea para los valores de Q y H_1*

2.2.1.2.1.1.8. Planilla de resultados

Al final de esta práctica se plasmarán los resultados obtenidos de todos los cálculos en la Tabla 2-7 de la presente práctica.

2.2.1.2.1.1.9. Preguntas de repaso

Para autoevaluarse la comprensión de la práctica realizada, responda las siguientes preguntas de acuerdo a la observación del fenómeno presentado al realizar la práctica:

- *¿Qué tipo de flujo se presenta en una sección agua arriba del vertedero y en otra justo encima de la cresta del mismo?*
- *Calcule el error relativo entre los caudales reales y el calibrado.*
- *Compare los resultados de los caudales obtenido con los calibrados*

2.2.1.2.1.1.10. Mejorando la información

Para poder mejorar la comprensión del fenómeno estudiado en la práctica, ingresa al siguiente sitio web, donde hay una explicación audio visual:

- a. <https://www.youtube.com/watch?v=dOunJjQK2a8> [video interactivo de Vertederos de pared gruesa, duración 2 min 1s]
- b. <https://www.youtube.com/watch?v=ZKXUnKLtmG8> [video interactivo de Vertederos, duración 6 min 6 s]
- c. <https://www.youtube.com/watch?v=ZhwAYMEwV1M> [video interactivo de Vertederos, duración 2 min 18 s]

**VERTEDERO DE PARED GRUESA CRESTA TRIANGULAR
HOJA DE LEVANTAMIENTOS DE DATOS
ASIGNATURA: LABORATORIO DE HIDRÁULICA II CIV-322**

<i>Universitario (a):</i>	
<i>Docente:</i>	
<i>Fecha:</i>	

<i>DATOS DE LA PRÁCTICA</i>		
<i>Datos de la práctica</i>		
Ancho del canal de acceso (B) =		[m]
Tirante total (H) =		[m]
Carga aguas arriba (h_1) =		[m]
Carga aguas arriba (h_2) =		[m]
Altura de cresta aguas arriba y aguas abajo (P) =		[m]
Coefficiente de descarga (C_d) =		adim.

Tabla 2-5 Datos de la práctica

<i>DATOS DE LA MIRA MECANICA</i>	
<i>Observaciones</i>	<i>Lectura (mira) (cm)</i>
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Tabla 2-6 Datos de la prácticas

**VERTEDERO DE PARED GRUESA CRESTA TRIANGULAR
HOJA DE RESULTADOS DE LA PRÁCTICA
ASIGNATURA: LABORATORIO DE HIDRÁULICA II CIV-322**

<i>Universitario (a):</i>	
<i>Docente:</i>	
<i>Fecha:</i>	

VERTEDERO TRIANGULAR			
RESULTADOS EXPERIMENTALES			
Caudal (m³/s) Q	Area hidraulica (m) A	Carga total (m) H₁	Factor de reduccion de caudal f

Tabla 2-7 Resultados del Vertedero

3. APLICACIÓN Y VALIDACIÓN

3.1. Aplicación y validación de las prácticas

Se realiza la aplicación del vertedero de pared delgada del tipo semicircular y del vertedero de pared gruesa de tipo triangular.

3.2. Vertedero de pared delgada (semicircular)

Se obtuvieron todos los datos en diferentes días, se cronometraron los tiempos para 30 diferentes caudales.

Caudal N°1

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-1 Tiempos cronometrados en segundos para Q₁

14,35	14,43	14,32	14,08	14,39	14,73	14,15
14,32	14,73	14,15	13,85	14,32	14,69	14,32
14,55	14,39	13,30	12,98	12,93	12,73	12,94
12,73	12,95	12,91	13,62	12,70	12,97	12,24
13,30	12,96	13,04	12,91	13,16	13,71	12,98
12,81	12,81	13,70	12,83	12,83	13,72	12,85
14,38	14,46	14,35	14,11	14,42	14,76	14,18
14,35	14,76	14,18	13,88	14,35	14,72	14,35
14,58	14,42	13,33	13,01	12,96	12,76	12,97
12,76	12,98	12,94	13,65	12,73	13,00	12,27
13,85	14,38	14,46	14,35	14,11	14,42	14,76
13,74	14,35	14,76	14,18	13,88	14,35	14,72
12,91	14,58	14,42	13,33	13,01	12,96	12,76
13,43	12,76	12,98	12,94	13,65	12,73	13
12,90	13,33	12,99	13,07	12,94	13,19	13,74
12,85	12,84	12,84	13,73	12,86	12,86	13,75
13,88	14,41	14,49	14,38	14,14	14,45	14,79
13,77	14,38	14,79	14,21	13,91	14,38	14,75
12,94	14,61	14,45	13,36	13,04	12,99	12,79
13,46	12,79	13,01	12,97	13,68	12,76	13,03
14,18	13,88	14,68	14,76	14,65	14,21	13,91
14,35	13,77	14,65	15,06	14,48	14,38	13,8
12,97	12,94	14,88	14,72	13,63	13,00	12,97
12,27	13,46	13,06	13,28	13,24	12,30	13,49
13,01	12,93	13,63	13,29	13,37	14,71	14,91
12,88	12,88	13,14	13,14	14,03	14,68	13,09
14,79	14,68	15,09	14,51	14,75	13,66	13,31

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 189 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 22,20 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-2 Datos de la práctica para el caudal 1

Geometría del tanque		
Indicador	Valor	Unidad
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]

Datos de la práctica		
Indicador	Valor	Unidad
Lectura inicial mira (L _i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L _f) =	19,00	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Utilizando la teoría de errores para mediciones directas, para lo cual se aplica fórmulas estadísticas, a partir de las cuales se puede determinar el valor de una serie de mediciones realizadas en la práctica.

El valor más probable de un conjunto de mediciones es el valor medio o media aritmética del conjunto de mediciones de 189 datos.

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}{N} = \frac{\sum t_i}{N}$$

N = número de datos

N = 189

El error de cada medición o la desviación es:

$$\delta_1 = t_1 - \bar{t}$$

El error medio cuadrático es:

$$m = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N}}$$

El error medio cuadrático m es el error cuyo cuadrado es igual a la suma de todos los cuadrados de los errores dividida por el número de observaciones.

La relación entre el error medio cuadrático m y k , precisión del método es:

$$k = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{m}$$

El error del valor medio E o el error promedio es:

$$E = \frac{m}{\sqrt{N-1}}$$

Remplazando el error medio cuadrático en el error del valor E se tiene E_a :

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}}$$

El resultado final de la medición de la cantidad t se expresa de la forma siguiente:

$$t = \bar{t} \pm E_o$$

En las mediciones directas, también se suele calcular el “error relativo” y el “error porcentual” que se define por las siguientes expresiones

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} \quad ; \quad E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100$$

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-3 Obtención de la media y desviación

N° de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	14,35	0,66	0,43
2	14,32	0,63	0,39
3	14,55	0,86	0,74
4	12,73	-0,96	0,92
5	13,30	-0,39	0,15
6	12,81	-0,88	0,78
7	14,38	0,69	0,47
8	14,35	0,66	0,43
9	14,58	0,89	0,79
10	12,76	-0,93	0,87

11	13,85	0,16	0,03
12	13,74	0,05	0,00
13	12,91	-0,78	0,61
14	13,43	-0,26	0,07
15	12,90	-0,79	0,63
16	12,85	-0,84	0,71
17	13,88	0,19	0,04
18	13,77	0,08	0,01
19	12,94	-0,75	0,56
20	13,46	-0,23	0,05
21	14,18	0,49	0,24
22	14,35	0,66	0,43
23	12,97	-0,72	0,52
24	12,27	-1,42	2,02
25	13,01	-0,68	0,46
26	12,88	-0,81	0,66
27	14,79	1,10	1,21
28	14,43	0,74	0,55
29	14,73	1,04	1,08
30	14,39	0,70	0,49
31	12,95	-0,74	0,55
32	12,96	-0,73	0,54
33	12,81	-0,88	0,78
34	14,46	0,77	0,59
35	14,76	1,07	1,14
36	14,42	0,73	0,53
37	12,98	-0,71	0,51
38	14,38	0,69	0,47
39	14,35	0,66	0,43
40	14,58	0,89	0,79
41	12,76	-0,93	0,87
42	13,33	-0,36	0,13
43	12,84	-0,85	0,73
44	14,41	0,72	0,52
45	14,38	0,69	0,47
46	14,61	0,92	0,84
47	12,79	-0,90	0,81
48	13,88	0,19	0,04
49	13,77	0,08	0,01
50	12,94	-0,75	0,56

51	13,46	-0,23	0,05
52	12,93	-0,76	0,58
53	12,88	-0,81	0,66
54	14,68	0,99	0,98
55	14,32	0,63	0,39
56	14,15	0,46	0,21
57	13,30	-0,39	0,15
58	12,91	-0,78	0,61
59	13,04	-0,65	0,42
60	13,70	0,01	0,00
61	14,35	0,66	0,43
62	14,18	0,49	0,24
63	13,33	-0,36	0,13
64	12,94	-0,75	0,56
65	14,46	0,77	0,59
66	14,76	1,07	1,14
67	14,42	0,73	0,53
68	12,98	-0,71	0,51
69	12,99	-0,70	0,49
70	12,84	-0,85	0,73
71	14,49	0,80	0,64
72	14,79	1,10	1,21
73	14,45	0,76	0,58
74	13,01	-0,68	0,46
75	14,68	0,99	0,98
76	14,65	0,96	0,92
77	14,88	1,19	1,41
78	13,06	-0,63	0,40
79	13,63	-0,06	0,00
80	13,14	-0,55	0,30
81	15,09	1,40	1,96
82	14,08	0,39	0,15
83	13,85	0,16	0,03
84	12,98	-0,71	0,51
85	13,62	-0,07	0,01
86	12,91	-0,78	0,61
87	12,83	-0,86	0,74
88	14,11	0,42	0,18
89	13,88	0,19	0,04
90	13,01	-0,68	0,46

91	13,65	-0,04	0,00
92	14,35	0,66	0,43
93	14,18	0,49	0,24
94	13,33	-0,36	0,13
95	12,94	-0,75	0,56
96	13,07	-0,62	0,39
97	13,73	0,04	0,00
98	14,38	0,69	0,47
99	14,21	0,52	0,27
100	13,36	-0,33	0,11
101	12,97	-0,72	0,52
102	14,76	1,07	1,14
103	15,06	1,37	1,87
104	14,72	1,03	1,06
105	13,28	-0,41	0,17
106	13,29	-0,40	0,16
107	13,14	-0,55	0,30
108	14,51	0,82	0,67
109	14,39	0,70	0,49
110	14,32	0,63	0,39
111	12,93	-0,76	0,58
112	12,70	-0,99	0,98
113	13,16	-0,53	0,28
114	12,83	-0,86	0,74
115	14,42	0,73	0,53
116	14,35	0,66	0,43
117	12,96	-0,73	0,54
118	12,73	-0,96	0,92
119	14,11	0,42	0,18
120	13,88	0,19	0,04
121	13,01	-0,68	0,46
122	13,65	-0,04	0,00
123	12,94	-0,75	0,56
124	12,86	-0,83	0,69
125	14,14	0,45	0,20
126	13,91	0,22	0,05
127	13,04	-0,65	0,42
128	13,68	-0,01	0,00
129	14,65	0,96	0,92
130	14,48	0,79	0,62

131	13,63	-0,06	0,00
132	13,24	-0,45	0,20
133	13,37	-0,32	0,10
134	14,03	0,34	0,11
135	14,75	1,06	1,12
136	14,73	1,04	1,08
137	14,69	1,00	1,00
138	12,73	-0,96	0,92
139	12,97	-0,72	0,52
140	13,71	0,02	0,00
141	13,72	0,03	0,00
142	14,76	1,07	1,14
143	14,72	1,03	1,06
144	12,76	-0,93	0,87
145	13,00	-0,69	0,48
146	14,42	0,73	0,53
147	14,35	0,66	0,43
148	12,96	-0,73	0,54
149	12,73	-0,96	0,92
150	13,19	-0,50	0,25
151	12,86	-0,83	0,69
152	14,45	0,76	0,58
153	14,38	0,69	0,47
154	12,99	-0,70	0,49
155	12,76	-0,93	0,87
156	14,21	0,52	0,27
157	14,38	0,69	0,47
158	13,00	-0,69	0,48
159	12,30	-1,39	1,94
160	14,71	1,02	1,04
161	14,68	0,99	0,98
162	13,66	-0,03	0,00
163	14,15	0,46	0,21
164	14,32	0,63	0,39
165	12,94	-0,75	0,56
166	12,24	-1,45	2,11
167	12,98	-0,71	0,51
168	12,85	-0,84	0,71
169	14,18	0,49	0,24
170	14,35	0,66	0,43
171	12,97	-0,72	0,52

172	12,27	-1,42	2,02
173	14,76	1,07	1,14
174	14,72	1,03	1,06
175	12,76	-0,93	0,87
176	13,00	-0,69	0,48
177	13,74	0,05	0,00
178	13,75	0,06	0,00
179	14,79	1,10	1,21
180	14,75	1,06	1,12
181	12,79	-0,90	0,81
182	13,03	-0,66	0,44
183	13,91	0,22	0,05
184	13,80	0,11	0,01
185	12,97	-0,72	0,52
186	13,49	-0,20	0,04
187	14,91	1,22	1,48
188	13,09	-0,60	0,36
189	13,31	-0,38	0,15
Sumatoria	2587,71		104,19
Media	13,69		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{2587,71}{189}$$

$$\bar{t} = 13,69 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{104,19}{189 \cdot (189-1)}}$$

$$E_a = 0,054 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 13,69 \text{ s} \pm 0,054 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 13,75 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,054}{13,69}$$

$$E_r = 0,004$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100 = 0,004 \cdot 100$$

$$E_p = 0,4 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V/t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0218 \text{ m}^3/\text{s} = 21,82 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta *H*, por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,115 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,19$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D.

Método de la tabla.

$$H/D = 0,19 \rightarrow \phi = 0,122 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \left(\frac{H}{D} \right)^{1,975} - 0,842 \left(\frac{H}{D} \right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,121 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,61$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0.61$$

$$\phi = 0.121 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0.60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0205 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 20,59 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0213 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 21,39 \text{ l/s}$$

Caudal N°2

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-4 Tiempos cronometrados en segundos para Q₂

8,90	9,10	7,88	8,42	8,40	8,04	8,50
8,26	8,30	8,65	9,00	9,05	8,51	8,12
9,10	8,31	8,17	8,70	8,36	8,14	7,95
8,01	7,85	8,02	7,97	7,99	8,55	7,76
7,98	7,75	7,70	8,00	7,77	7,72	8,02
8,92	9,12	7,90	8,44	8,42	8,06	8,52
8,28	8,32	8,67	9,02	9,07	8,53	8,14
9,12	8,33	8,19	8,72	8,38	8,16	7,97
8,03	7,87	8,04	7,99	8,01	8,57	7,78
8,00	7,77	7,72	8,02	7,79	7,74	8,04
8,76	8,91	9,11	7,89	8,43	8,41	8,05
7,99	8,27	8,31	8,66	9,01	9,06	8,52
8,16	9,11	8,32	8,18	8,71	8,37	8,15
7,93	8,02	7,86	8,03	7,98	8,00	8,56
7,79	7,99	7,76	7,71	8,01	7,78	7,73
8,78	8,93	9,13	7,91	8,45	8,43	8,07
8,01	8,29	8,33	8,68	9,03	9,08	8,54
8,18	9,13	8,34	8,20	8,73	8,39	8,17
7,95	8,04	7,88	8,05	8,00	8,02	8,58
7,81	8,01	7,78	7,73	8,03	7,80	7,75
8,51	8,77	8,92	9,12	7,90	7,98	8,19
8,13	8,00	8,28	8,32	8,67	7,79	7,96
7,96	8,17	9,12	8,33	8,19	8,05	7,82
7,77	7,94	8,03	7,87	8,04	9,14	8,35
8,03	7,80	8,00	7,77	7,72	8,05	7,89
8,53	8,79	8,94	9,14	7,92	8,02	7,79
8,15	8,02	8,30	8,34	8,69	8,21	8,06

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 189 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 37,10 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-5 Datos de la práctica para el caudal 2

Geometría del tanque		
Indicador	Valor	Unidad
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]

Datos de la práctica		
Indicador	Valor	Unidad
Lectura inicial mira (L_i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L_f) =	23,00	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-6 Obtención de la media y desviación

N° de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	8,90	0,64	0,40
2	8,26	0,00	0,00
3	9,10	0,84	0,70
4	8,01	-0,25	0,06
5	7,98	-0,28	0,08
6	8,92	0,66	0,43
7	8,28	0,02	0,00
8	9,12	0,86	0,73
9	8,03	-0,23	0,05
10	8,00	-0,26	0,07
11	8,76	0,50	0,25
12	7,99	-0,27	0,07
13	8,16	-0,10	0,01
14	7,93	-0,33	0,11
15	7,79	-0,47	0,22
16	8,78	0,52	0,27
17	8,01	-0,25	0,06
18	8,18	-0,08	0,01

19	7,95	-0,31	0,10
20	7,81	-0,45	0,21
21	8,51	0,25	0,06
22	8,13	-0,13	0,02
23	7,96	-0,30	0,09
24	7,77	-0,49	0,24
25	8,03	-0,23	0,05
26	8,53	0,27	0,07
27	8,15	-0,11	0,01
28	9,10	0,84	0,70
29	8,30	0,04	0,00
30	8,31	0,05	0,00
31	7,85	-0,41	0,17
32	7,75	-0,51	0,26
33	9,12	0,86	0,73
34	8,32	0,06	0,00
35	8,33	0,07	0,00
36	7,87	-0,39	0,16
37	7,77	-0,49	0,24
38	8,91	0,65	0,42
39	8,27	0,01	0,00
40	9,11	0,85	0,72
41	8,02	-0,24	0,06
42	7,99	-0,27	0,07
43	8,93	0,67	0,44
44	8,29	0,03	0,00
45	9,13	0,87	0,75
46	8,04	-0,22	0,05
47	8,01	-0,25	0,06
48	8,77	0,51	0,26
49	8,00	-0,26	0,07
50	8,17	-0,09	0,01
51	7,94	-0,32	0,10
52	7,80	-0,46	0,22
53	8,79	0,53	0,28
54	8,02	-0,24	0,06
55	7,88	-0,38	0,15
56	8,65	0,39	0,15
57	8,17	-0,09	0,01
58	8,02	-0,24	0,06

59	7,70	-0,56	0,32
60	7,90	-0,36	0,13
61	8,67	0,41	0,17
62	8,19	-0,07	0,01
63	8,04	-0,22	0,05
64	7,72	-0,54	0,30
65	9,11	0,85	0,72
66	8,31	0,05	0,00
67	8,32	0,06	0,00
68	7,86	-0,40	0,16
69	7,76	-0,50	0,25
70	9,13	0,87	0,75
71	8,33	0,07	0,00
72	8,34	0,08	0,01
73	7,88	-0,38	0,15
74	7,78	-0,48	0,23
75	8,92	0,66	0,43
76	8,28	0,02	0,00
77	9,12	0,86	0,73
78	8,03	-0,23	0,05
79	8,00	-0,26	0,07
80	8,94	0,68	0,46
81	8,30	0,04	0,00
82	8,42	0,16	0,02
83	9,00	0,74	0,54
84	8,70	0,44	0,19
85	7,97	-0,29	0,09
86	8,00	-0,26	0,07
87	8,44	0,18	0,03
88	9,02	0,76	0,57
89	8,72	0,46	0,21
90	7,99	-0,27	0,07
91	8,02	-0,24	0,06
92	7,89	-0,37	0,14
93	8,66	0,40	0,16
94	8,18	-0,08	0,01
95	8,03	-0,23	0,05
96	7,71	-0,55	0,31
97	7,91	-0,35	0,13
98	8,68	0,42	0,17

99	8,20	-0,06	0,00
100	8,05	-0,21	0,05
101	7,73	-0,53	0,28
102	9,12	0,86	0,73
103	8,32	0,06	0,00
104	8,33	0,07	0,00
105	7,87	-0,39	0,16
106	7,77	-0,49	0,24
107	9,14	0,88	0,77
108	8,34	0,08	0,01
109	8,40	0,14	0,02
110	9,05	0,79	0,62
111	8,36	0,10	0,01
112	7,99	-0,27	0,07
113	7,77	-0,49	0,24
114	8,42	0,16	0,02
115	9,07	0,81	0,65
116	8,38	0,12	0,01
117	8,01	-0,25	0,06
118	7,79	-0,47	0,22
119	8,43	0,17	0,03
120	9,01	0,75	0,56
121	8,71	0,45	0,20
122	7,98	-0,28	0,08
123	8,01	-0,25	0,06
124	8,45	0,19	0,03
125	9,03	0,77	0,59
126	8,73	0,47	0,22
127	8,00	-0,26	0,07
128	8,03	-0,23	0,05
129	7,90	-0,36	0,13
130	8,67	0,41	0,17
131	8,19	-0,07	0,01
132	8,04	-0,22	0,05
133	7,72	-0,54	0,30
134	7,92	-0,34	0,12
135	8,69	0,43	0,18
136	8,04	-0,22	0,05
137	8,51	0,25	0,06
138	8,14	-0,12	0,02

139	8,55	0,29	0,08
140	7,72	-0,54	0,30
141	8,06	-0,20	0,04
142	8,53	0,27	0,07
143	8,16	-0,10	0,01
144	8,57	0,31	0,09
145	7,74	-0,52	0,27
146	8,41	0,15	0,02
147	9,06	0,80	0,63
148	8,37	0,11	0,01
149	8,00	-0,26	0,07
150	7,78	-0,48	0,23
151	8,43	0,17	0,03
152	9,08	0,82	0,67
153	8,39	0,13	0,02
154	8,02	-0,24	0,06
155	7,80	-0,46	0,22
156	7,98	-0,28	0,08
157	7,79	-0,47	0,22
158	8,05	-0,21	0,05
159	9,14	0,88	0,77
160	8,05	-0,21	0,05
161	8,02	-0,24	0,06
162	8,21	-0,05	0,00
163	8,50	0,24	0,06
164	8,12	-0,14	0,02
165	7,95	-0,31	0,10
166	7,76	-0,50	0,25
167	8,02	-0,24	0,06
168	8,52	0,26	0,07
169	8,14	-0,12	0,02
170	7,97	-0,29	0,09
171	7,78	-0,48	0,23
172	8,04	-0,22	0,05
173	8,05	-0,21	0,05
174	8,52	0,26	0,07
175	8,15	-0,11	0,01
176	8,56	0,30	0,09
177	7,73	-0,53	0,28
178	8,07	-0,19	0,04
179	8,54	0,28	0,08

180	8,17	-0,09	0,01
181	8,58	0,32	0,10
182	7,75	-0,51	0,26
183	8,19	-0,07	0,01
184	7,96	-0,30	0,09
185	7,82	-0,44	0,20
186	8,35	0,09	0,01
187	7,89	-0,37	0,14
188	7,79	-0,47	0,22
189	8,06	-0,20	0,04
Sumatoria	1561,84		32,26
Media	8,26		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{1561,84}{189}$$

$$\bar{t} = 8,26 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{32,26}{189 \cdot (189-1)}}$$

$$E_a = 0,030 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 8,26 \text{ s} \pm 0,030 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 8,29 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{t} = \frac{0,030}{8,26}$$

$$E_r = 0,0036$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{t} \cdot 100 = 0,0036 \cdot 100$$

$$E_p = 0,36 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0362 \text{ m}^3/\text{s} = 36,17 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H, por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,115 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,258$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,258 \rightarrow \phi = 0,216 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,216 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,60$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,60$$

$$\phi = 0,216 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0362 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 36,20 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0367 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 36,68 \text{ l/s}$$

Caudal N°3

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-7 Tiempos cronometrados en segundos para Q₃

5,20	5,81	6,36	5,91	5,88	5,83	5,98
6,09	6,14	5,97	6,06	6,04	5,95	5,64
5,22	5,83	6,31	5,89	5,86	5,81	5,96
6,06	6,11	5,84	6,03	6,01	5,92	5,66
5,24	5,85	6,26	5,87	5,84	5,79	5,94
6,03	6,08	5,91	6,00	6,98	5,89	5,69
5,26	5,87	6,21	5,85	5,82	5,77	5,92
6,00	6,05	5,88	5,97	5,95	5,86	5,72
5,28	5,89	6,16	5,83	5,80	5,75	5,90
5,97	6,02	5,85	5,94	5,92	5,83	5,75
5,30	5,91	6,11	5,81	5,78	5,73	5,88
5,94	5,99	5,82	5,91	5,89	5,80	5,78
5,32	5,93	6,06	5,79	5,76	5,71	5,86
5,91	5,96	5,79	5,88	5,86	5,77	5,81
5,34	5,95	6,01	5,77	5,74	5,69	5,84
5,88	5,93	5,76	5,85	5,83	5,74	5,84
5,36	5,97	5,96	5,75	5,72	5,67	5,82
5,85	5,90	5,73	5,82	5,80	5,71	5,87
5,38	5,99	5,91	5,73	5,70	5,65	5,80
5,82	5,87	5,70	5,79	5,77	5,68	5,90
5,40	6,01	5,86	5,71	5,68	5,63	5,78
5,70	5,84	5,67	5,76	5,74	5,65	5,93
5,42	6,03	5,81	5,69	5,66	5,61	5,76
5,76	5,81	5,64	5,73	5,71	5,62	5,96
5,31	6,05	5,32	6,03	5,44	5,99	5,92
5,47	5,65	5,33	6,00	5,41	5,80	5,65
5,56	5,95	5,35	6,02	5,47	5,98	5,85
5,49	5,60	5,35	5,95	5,43	5,75	5,39
5,59	5,94	5,38	6,01	5,50	5,97	5,50
5,51	5,55	5,37	5,90	5,45	5,70	5,53
5,62	5,93	5,41	6,00	5,53	5,96	

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 216 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 52,70 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-8 Datos de la práctica para el caudal 3

Geometría del tanque		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]

Datos de la práctica		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Lectura inicial mira (L_i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L_f) =	26,40	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-9 Obtención de la media y desviación

N° de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	5,20	-0,59	0,35
2	6,09	0,30	0,09
3	5,22	-0,57	0,33
4	6,06	0,27	0,07
5	5,24	-0,55	0,30
6	6,03	0,24	0,06
7	5,26	-0,53	0,28
8	6,00	0,21	0,04
9	5,28	-0,51	0,26
10	5,97	0,18	0,03
11	5,30	-0,49	0,24
12	5,94	0,15	0,02
13	5,32	-0,47	0,22
14	5,91	0,12	0,01
15	5,34	-0,45	0,20
16	5,88	0,09	0,01
17	5,36	-0,43	0,19
18	5,85	0,06	0,00

19	5,38	-0,41	0,17
20	5,82	0,03	0,00
21	5,40	-0,39	0,15
22	5,70	-0,09	0,01
23	5,42	-0,37	0,14
24	5,76	-0,03	0,00
25	5,31	-0,48	0,23
26	5,47	-0,32	0,10
27	5,56	-0,23	0,05
28	5,49	-0,30	0,09
29	5,59	-0,20	0,04
30	5,51	-0,28	0,08
31	5,62	-0,17	0,03
32	5,81	0,02	0,00
33	6,14	0,35	0,12
34	5,83	0,04	0,00
35	6,11	0,32	0,10
36	5,85	0,06	0,00
37	6,08	0,29	0,08
38	5,87	0,08	0,01
39	6,05	0,26	0,07
40	5,89	0,10	0,01
41	6,02	0,23	0,05
42	5,91	0,12	0,01
43	5,99	0,20	0,04
44	5,93	0,14	0,02
45	5,96	0,17	0,03
46	5,95	0,16	0,03
47	5,93	0,14	0,02
48	5,97	0,18	0,03
49	5,90	0,11	0,01
50	5,99	0,20	0,04
51	5,87	0,08	0,01
52	6,01	0,22	0,05
53	5,84	0,05	0,00
54	6,03	0,24	0,06
55	5,81	0,02	0,00
56	6,05	0,26	0,07
57	5,65	-0,14	0,02
58	5,95	0,16	0,03

59	5,60	-0,19	0,04
60	5,94	0,15	0,02
61	5,55	-0,24	0,06
62	5,93	0,14	0,02
63	6,36	0,57	0,32
64	5,97	0,18	0,03
65	6,31	0,52	0,27
66	5,84	0,05	0,00
67	6,26	0,47	0,22
68	5,91	0,12	0,01
69	6,21	0,42	0,17
70	5,88	0,09	0,01
71	6,16	0,37	0,14
72	5,85	0,06	0,00
73	6,11	0,32	0,10
74	5,82	0,03	0,00
75	6,06	0,27	0,07
76	5,79	0,00	0,00
77	6,01	0,22	0,05
78	5,76	-0,03	0,00
79	5,96	0,17	0,03
80	5,73	-0,06	0,00
81	5,91	0,12	0,01
82	5,70	-0,09	0,01
83	5,86	0,07	0,00
84	5,67	-0,12	0,01
85	5,81	0,02	0,00
86	5,64	-0,15	0,02
87	5,32	-0,47	0,22
88	5,33	-0,46	0,21
89	5,35	-0,44	0,20
90	5,35	-0,44	0,20
91	5,38	-0,41	0,17
92	5,37	-0,42	0,18
93	5,41	-0,38	0,15
94	5,91	0,12	0,01
95	6,06	0,27	0,07
96	5,89	0,10	0,01
97	6,03	0,24	0,06
98	5,87	0,08	0,01
99	6,00	0,21	0,04

100	5,85	0,06	0,00
101	5,97	0,18	0,03
102	5,83	0,04	0,00
103	5,94	0,15	0,02
104	5,81	0,02	0,00
105	5,91	0,12	0,01
106	5,79	0,00	0,00
107	5,88	0,09	0,01
108	5,77	-0,02	0,00
109	5,85	0,06	0,00
110	5,75	-0,04	0,00
111	5,82	0,03	0,00
112	5,73	-0,06	0,00
113	5,79	0,00	0,00
114	5,71	-0,08	0,01
115	5,76	-0,03	0,00
116	5,69	-0,10	0,01
117	5,73	-0,06	0,00
118	6,03	0,24	0,06
119	6,00	0,21	0,04
120	6,02	0,23	0,05
121	5,95	0,16	0,03
122	6,01	0,22	0,05
123	5,90	0,11	0,01
124	6,00	0,21	0,04
125	5,88	0,09	0,01
126	6,04	0,25	0,06
127	5,86	0,07	0,00
128	6,01	0,22	0,05
129	5,84	0,05	0,00
130	6,98	1,19	1,41
131	5,82	0,03	0,00
132	5,95	0,16	0,03
133	5,80	0,01	0,00
134	5,92	0,13	0,02
135	5,78	-0,01	0,00
136	5,89	0,10	0,01
137	5,76	-0,03	0,00
138	5,86	0,07	0,00
139	5,74	-0,05	0,00
140	5,83	0,04	0,00

141	5,72	-0,07	0,01
142	5,80	0,01	0,00
143	5,70	-0,09	0,01
144	5,77	-0,02	0,00
145	5,68	-0,11	0,01
146	5,74	-0,05	0,00
147	5,66	-0,13	0,02
148	5,71	-0,08	0,01
149	5,44	-0,35	0,12
150	5,41	-0,38	0,15
151	5,47	-0,32	0,10
152	5,43	-0,36	0,13
153	5,50	-0,29	0,09
154	5,45	-0,34	0,12
155	5,53	-0,26	0,07
156	5,83	0,04	0,00
157	5,95	0,16	0,03
158	5,81	0,02	0,00
159	5,92	0,13	0,02
160	5,79	0,00	0,00
161	5,89	0,10	0,01
162	5,77	-0,02	0,00
163	5,86	0,07	0,00
164	5,75	-0,04	0,00
165	5,83	0,04	0,00
166	5,73	-0,06	0,00
167	5,80	0,01	0,00
168	5,71	-0,08	0,01
169	5,77	-0,02	0,00
170	5,69	-0,10	0,01
171	5,74	-0,05	0,00
172	5,67	-0,12	0,01
173	5,71	-0,08	0,01
174	5,65	-0,14	0,02
175	5,68	-0,11	0,01
176	5,63	-0,16	0,03
177	5,65	-0,14	0,02
178	5,61	-0,18	0,03
179	5,62	-0,17	0,03
180	5,99	0,20	0,04
181	5,80	0,01	0,00

182	5,98	0,19	0,04
183	5,75	-0,04	0,00
184	5,97	0,18	0,03
185	5,70	-0,09	0,01
186	5,96	0,17	0,03
187	5,98	0,19	0,04
188	5,64	-0,15	0,02
189	5,96	0,17	0,03
190	5,66	-0,13	0,02
191	5,94	0,15	0,02
192	5,69	-0,10	0,01
193	5,92	0,13	0,02
194	5,72	-0,07	0,01
195	5,90	0,11	0,01
196	5,75	-0,04	0,00
197	5,88	0,09	0,01
198	5,78	-0,01	0,00
199	5,86	0,07	0,00
200	5,81	0,02	0,00
201	5,84	0,05	0,00
202	5,84	0,05	0,00
203	5,82	0,03	0,00
204	5,87	0,08	0,01
205	5,80	0,01	0,00
206	5,90	0,11	0,01
207	5,78	-0,01	0,00
208	5,93	0,14	0,02
209	5,76	-0,03	0,00
210	5,96	0,17	0,03
211	5,92	0,13	0,02
212	5,65	-0,14	0,02
213	5,85	0,06	0,00
214	5,39	-0,40	0,16
215	5,50	-0,29	0,09
216	5,53	-0,26	0,07
Sumatoria	1251,04		11,70
Media	5,79		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{1251,04}{216}$$

$$\bar{t} = 5,79 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{11,70}{216 \cdot (216-1)}}$$

$$E_a = 0,016 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 5,79 \text{ s} \pm 0,016 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 5,81 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,016}{5,79}$$

$$E_r = 0,0027$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100 = 0,0027 \cdot 100$$

$$E_p = 0,27 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0517 \text{ m}^3/\text{s} = 51,66 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,189 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,32$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,32 \rightarrow \phi = 0,326 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,316 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,597$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,597$$

$$\phi = 0,316 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0527 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 52,66 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0525 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 52,49 \text{ l/s}$$

Caudal N°4

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-10 Tiempos cronometrados en segundos para Q₄

40,41	40,28	40,74	40,20	41,00	40,64	40,35
40,20	40,46	40,65	40,41	40,13	40,68	40,39
40,24	40,50	40,69	40,45	40,09	40,72	40,43
40,28	40,54	40,73	40,49	40,05	40,76	40,47
40,30	40,56	40,75	40,51	40,03	40,78	40,49
40,34	40,60	40,79	40,02	39,99	40,82	40,53
40,36	40,62	40,81	40,04	39,97	40,84	40,55
40,40	40,66	40,85	40,08	39,93	40,88	40,59
40,42	40,68	40,87	40,10	39,91	40,90	40,61
40,46	40,72	40,91	40,14	39,87	40,94	40,65
40,48	40,74	40,93	40,16	39,85	40,96	40,67
40,58	40,72	40,20	40,34	50,04	40,38	40,10
40,62	40,76	40,24	40,84	40,00	40,40	40,14
40,66	40,78	40,28	40,88	40,04	40,44	40,16
40,70	40,82	40,32	40,90	40,08	40,46	40,20
40,50	40,52	40,22	40,26	40,28		

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 110 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 7,5 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-11 Datos de la práctica para el caudal 4

Geometría del tanque		
Indicador	Valor	Unidad
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
Indicador	Valor	Unidad
Lectura inicial mira (L _i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L _f) =	14,25	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-12 Obtención de la media y desviación

Nº de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	40,41	-0,14	0,02
2	40,20	-0,35	0,13
3	40,24	-0,31	0,10
4	40,28	-0,27	0,07
5	40,30	-0,25	0,06
6	40,34	-0,21	0,05
7	40,36	-0,19	0,04
8	40,40	-0,15	0,02
9	40,42	-0,13	0,02
10	40,46	-0,09	0,01
11	40,48	-0,07	0,01
12	40,28	-0,27	0,07
13	40,46	-0,09	0,01
14	40,50	-0,05	0,00
15	40,54	-0,01	0,00
16	40,56	0,01	0,00
17	40,60	0,05	0,00
18	40,62	0,07	0,00
19	40,66	0,11	0,01
20	40,68	0,13	0,02
21	40,72	0,17	0,03
22	40,74	0,19	0,03
23	40,74	0,19	0,03
24	40,65	0,10	0,01
25	40,69	0,14	0,02
26	40,73	0,18	0,03
27	40,75	0,20	0,04
28	40,79	0,24	0,06
29	40,81	0,26	0,07
30	40,85	0,30	0,09
31	40,87	0,32	0,10
32	40,91	0,36	0,13
33	40,93	0,38	0,14
34	40,20	-0,35	0,13

35	40,41	-0,14	0,02
36	40,45	-0,10	0,01
37	40,49	-0,06	0,00
38	40,51	-0,04	0,00
39	40,02	-0,53	0,28
40	40,04	-0,51	0,26
41	40,08	-0,47	0,22
42	40,10	-0,45	0,21
43	40,14	-0,41	0,17
44	40,16	-0,39	0,15
45	41,00	0,45	0,20
46	40,13	-0,42	0,18
47	40,09	-0,46	0,21
48	40,05	-0,50	0,25
49	40,03	-0,52	0,27
50	39,99	-0,56	0,32
51	39,97	-0,58	0,34
52	39,93	-0,62	0,39
53	39,91	-0,64	0,41
54	39,87	-0,68	0,47
55	39,85	-0,70	0,50
56	40,64	0,09	0,01
57	40,68	0,13	0,02
58	40,72	0,17	0,03
59	40,76	0,21	0,04
60	40,78	0,23	0,05
61	40,82	0,27	0,07
62	40,84	0,29	0,08
63	40,88	0,33	0,11
64	40,90	0,35	0,12
65	40,94	0,39	0,15
66	40,96	0,41	0,17
67	40,35	-0,20	0,04
68	40,39	-0,16	0,03
69	40,43	-0,12	0,02
70	40,47	-0,08	0,01
71	40,49	-0,06	0,00
72	40,53	-0,02	0,00
73	40,55	0,00	0,00
74	40,59	0,04	0,00
75	40,61	0,06	0,00

76	40,65	0,10	0,01
77	40,67	0,12	0,01
78	40,58	0,03	0,00
79	40,62	0,07	0,00
80	40,66	0,11	0,01
81	40,70	0,15	0,02
82	40,72	0,17	0,03
83	40,76	0,21	0,04
84	40,78	0,23	0,05
85	40,82	0,27	0,07
86	40,84	0,29	0,08
87	40,88	0,33	0,11
88	40,90	0,35	0,12
89	40,20	-0,35	0,13
90	40,24	-0,31	0,10
91	40,28	-0,27	0,07
92	40,32	-0,23	0,05
93	40,34	-0,21	0,05
94	40,38	-0,17	0,03
95	40,40	-0,15	0,02
96	40,44	-0,11	0,01
97	40,46	-0,09	0,01
98	40,50	-0,05	0,00
99	40,52	-0,03	0,00
100	50,04	9,49	89,99
101	40,00	-0,55	0,31
102	40,04	-0,51	0,26
103	40,08	-0,47	0,22
104	40,10	-0,45	0,21
105	40,14	-0,41	0,17
106	40,16	-0,39	0,15
107	40,20	-0,35	0,13
108	40,22	-0,33	0,11
109	40,26	-0,29	0,09
110	40,28	-0,27	0,07
Sumatoria	4460,90		100,12
Media	40,55		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{4460,90}{110}$$

$$\bar{t} = 40,55 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{100,12}{110 \cdot (110-1)}}$$

$$E_a = 0,091 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 40,55 \text{ s} \pm 0,091 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 40,46 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,091}{40,55}$$

$$E_r = 0,002$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100 = 0,0023 \cdot 100$$

$$E_p = 0,23 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0074 \text{ m}^3/\text{s} = 7,41 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,067 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,113$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,113 \rightarrow \phi = 0,043 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,043 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,64$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,64$$

$$\phi = 0,043 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0076 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 7,61 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0081 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 8,16 \text{ l/s}$$

Caudal N°5

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-13 Tiempos cronometrados en segundos para Q₅

12,62	13,20	13,08	13,52	13,89	13,06	13,52
13,83	13,12	13,53	14,19	13,98	13,16	12,76
13,57	13,23	13,33	13,31	13,61	13,79	13,15
14,00	13,30	13,37	13,35	13,65	13,83	13,19
13,45	13,36	13,41	13,39	13,69	13,87	13,23
13,88	13,15	13,48	13,22	13,78	13,13	13,26
13,95	13,19	13,52	13,66	13,82	13,17	13,30
14,01	13,23	13,56	13,89	13,86	13,21	13,34
14,07	13,27	13,60	14,02	13,90	13,25	13,38
13,54	13,31	13,64	14,10	13,94	13,29	13,42
13,86	13,35	13,68	14,14	13,98	13,33	13,46
12,42	13,06	13,73	14,15	13,45	14,04	13,05
13,14	13,10	13,64	14,41	13,41	14,00	13,02
13,41	13,14	14,10	14,37	13,06	13,96	13,44
13,34	13,18	14,00	14,33	13,10	13,52	13,48
13,22	13,22	13,96	14,10	13,06		

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 110 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 22,2 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-14 Datos de la práctica para el caudal 5

Geometría del tanque		
Indicador	Valor	Unidad
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
Indicador	Valor	Unidad
Lectura inicial mira (L _i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L _f) =	19,45	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-15 Obtención de la media y desviación

N° de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	12,62	-0,90	0,81
2	13,83	0,31	0,10
3	13,57	0,05	0,00
4	14,00	0,48	0,23
5	13,45	-0,07	0,01
6	13,88	0,36	0,13
7	13,95	0,43	0,18
8	14,01	0,49	0,24
9	14,07	0,55	0,30
10	13,54	0,02	0,00
11	13,86	0,34	0,12
12	13,20	-0,32	0,10
13	13,12	-0,40	0,16
14	13,23	-0,29	0,08
15	13,30	-0,22	0,05
16	13,36	-0,16	0,03
17	13,15	-0,37	0,14
18	13,19	-0,33	0,11
19	13,23	-0,29	0,08
20	13,27	-0,25	0,06
21	13,31	-0,21	0,04
22	13,35	-0,17	0,03
23	13,08	-0,44	0,19
24	13,53	0,01	0,00
25	13,33	-0,19	0,04
26	13,37	-0,15	0,02
27	13,41	-0,11	0,01
28	13,48	-0,04	0,00
29	13,52	0,00	0,00
30	13,56	0,04	0,00
31	13,60	0,08	0,01
32	13,64	0,12	0,01
33	13,68	0,16	0,03
34	13,52	0,00	0,00

35	14,19	0,67	0,45
36	13,31	-0,21	0,04
37	13,35	-0,17	0,03
38	13,39	-0,13	0,02
39	13,22	-0,30	0,09
40	13,66	0,14	0,02
41	13,89	0,37	0,14
42	14,02	0,50	0,25
43	14,10	0,58	0,34
44	14,14	0,62	0,38
45	13,89	0,37	0,14
46	13,98	0,46	0,21
47	13,61	0,09	0,01
48	13,65	0,13	0,02
49	13,69	0,17	0,03
50	13,78	0,26	0,07
51	13,82	0,30	0,09
52	13,86	0,34	0,12
53	13,90	0,38	0,14
54	13,94	0,42	0,18
55	13,98	0,46	0,21
56	13,06	-0,46	0,21
57	13,16	-0,36	0,13
58	13,79	0,27	0,07
59	13,83	0,31	0,10
60	13,87	0,35	0,12
61	13,13	-0,39	0,15
62	13,17	-0,35	0,12
63	13,21	-0,31	0,10
64	13,25	-0,27	0,07
65	13,29	-0,23	0,05
66	13,33	-0,19	0,04
67	13,52	0,00	0,00
68	12,76	-0,76	0,58
69	13,15	-0,37	0,14
70	13,19	-0,33	0,11
71	13,23	-0,29	0,08
72	13,26	-0,26	0,07
73	13,30	-0,22	0,05
74	13,34	-0,18	0,03
75	13,38	-0,14	0,02

76	13,42	-0,10	0,01
77	13,46	-0,06	0,00
78	12,42	-1,10	1,21
79	13,14	-0,38	0,15
80	13,41	-0,11	0,01
81	13,34	-0,18	0,03
82	13,22	-0,30	0,09
83	13,06	-0,46	0,21
84	13,10	-0,42	0,18
85	13,14	-0,38	0,15
86	13,18	-0,34	0,12
87	13,22	-0,30	0,09
88	13,05	-0,47	0,22
89	13,73	0,21	0,04
90	13,64	0,12	0,01
91	14,10	0,58	0,34
92	14,00	0,48	0,23
93	13,96	0,44	0,19
94	13,45	-0,07	0,01
95	13,41	-0,11	0,01
96	13,06	-0,46	0,21
97	13,10	-0,42	0,18
98	13,06	-0,46	0,21
99	13,02	-0,50	0,25
100	14,15	0,63	0,40
101	14,41	0,89	0,79
102	14,37	0,85	0,72
103	14,33	0,81	0,65
104	14,10	0,58	0,34
105	14,04	0,52	0,27
106	14,00	0,48	0,23
107	13,96	0,44	0,19
108	13,52	0,00	0,00
109	13,48	-0,04	0,00
110	13,44	-0,08	0,01
Sumatoria	1487,29		16,28
Media	13,52		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{1487,29}{110}$$

$$\bar{t} = 13,52 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{16,28}{110 \cdot (110-1)}}$$

$$E_a = 0,037 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 13,52 \text{ s} \pm 0,037 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 13,48 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,037}{13,52}$$

$$E_r = 0,0027$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100 = 0,0027 \cdot 100$$

$$E_p = 0,27 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0222 \text{ m}^3/\text{s} = 22,25 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,119 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,199$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,199 \rightarrow \phi = 0,131 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,130 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,61$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,61$$

$$\phi = 0,130 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0221 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 22,14 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0229 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 22,93 \text{ l/s}$$

Caudal N°6

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-16 Tiempos cronometrados en segundos para Q₆

17,51	17,53	17,50	18,24	18,23	17,76	17,04
17,53	17,76	17,30	18,30	17,78	17,80	17,08
17,57	17,80	17,34	18,26	17,70	17,76	17,12
17,61	17,84	17,38	18,22	17,62	17,72	17,16
17,65	17,88	17,42	18,18	17,54	17,68	17,20
17,69	17,92	17,46	18,14	17,46	17,64	17,24
17,73	17,96	17,50	18,10	17,38	17,60	17,28
17,77	18,00	17,54	18,06	17,30	17,56	17,32
17,81	18,04	17,58	18,02	17,22	17,52	17,36
17,85	18,08	17,62	17,98	17,14	17,48	17,40
17,89	18,12	17,66	17,94	17,06	17,44	17,44
17,89	17,77	17,65	17,89	17,53	17,69	17,57
17,93	17,73	17,69	17,85	17,49	17,65	17,33
17,89	17,69	17,65	17,81	17,45	17,61	17,49
17,85	17,65	17,61	17,77	17,41	17,57	17,53
17,81	17,61	17,57	17,73	17,37		

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 110 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 17 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-17 Datos de la práctica para el caudal 6

Geometría del tanque		
Indicador	Valor	Unidad
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
Indicador	Valor	Unidad
Lectura inicial mira (L _i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L _f) =	17,90	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-18 Obtención de la media y desviación

Nº de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	17,51	-0,14	0,02
2	17,53	-0,12	0,02
3	17,57	-0,08	0,01
4	17,61	-0,04	0,00
5	17,65	0,00	0,00
6	17,69	0,04	0,00
7	17,73	0,08	0,01
8	17,77	0,12	0,01
9	17,81	0,16	0,02
10	17,85	0,20	0,04
11	17,89	0,24	0,06
12	17,53	-0,12	0,02
13	17,76	0,11	0,01
14	17,80	0,15	0,02
15	17,84	0,19	0,03
16	17,88	0,23	0,05
17	17,92	0,27	0,07
18	17,96	0,31	0,09
19	18,00	0,35	0,12
20	18,04	0,39	0,15
21	18,08	0,43	0,18
22	18,12	0,47	0,22
23	17,50	-0,15	0,02
24	17,30	-0,35	0,13
25	17,34	-0,31	0,10
26	17,38	-0,27	0,08
27	17,42	-0,23	0,06
28	17,46	-0,19	0,04
29	17,50	-0,15	0,02
30	17,54	-0,11	0,01
31	17,58	-0,07	0,01
32	17,62	-0,03	0,00
33	17,66	0,01	0,00
34	18,24	0,59	0,34

35	18,30	0,65	0,42
36	18,26	0,61	0,37
37	18,22	0,57	0,32
38	18,18	0,53	0,28
39	18,14	0,49	0,24
40	18,10	0,45	0,20
41	18,06	0,41	0,16
42	18,02	0,37	0,13
43	17,98	0,33	0,11
44	17,94	0,29	0,08
45	18,23	0,58	0,33
46	17,78	0,13	0,02
47	17,70	0,05	0,00
48	17,62	-0,03	0,00
49	17,54	-0,11	0,01
50	17,46	-0,19	0,04
51	17,38	-0,27	0,08
52	17,30	-0,35	0,13
53	17,22	-0,43	0,19
54	17,14	-0,51	0,27
55	17,06	-0,59	0,35
56	17,76	0,11	0,01
57	17,80	0,15	0,02
58	17,76	0,11	0,01
59	17,72	0,07	0,00
60	17,68	0,03	0,00
61	17,64	-0,01	0,00
62	17,60	-0,05	0,00
63	17,56	-0,09	0,01
64	17,52	-0,13	0,02
65	17,48	-0,17	0,03
66	17,44	-0,21	0,05
67	17,04	-0,61	0,38
68	17,08	-0,57	0,33
69	17,12	-0,53	0,29
70	17,16	-0,49	0,24
71	17,20	-0,45	0,21
72	17,24	-0,41	0,17
73	17,28	-0,37	0,14
74	17,32	-0,33	0,11
75	17,36	-0,29	0,09

76	17,40	-0,25	0,06
77	17,44	-0,21	0,05
78	17,89	0,24	0,06
79	17,93	0,28	0,08
80	17,89	0,24	0,06
81	17,85	0,20	0,04
82	17,81	0,16	0,02
83	17,77	0,12	0,01
84	17,73	0,08	0,01
85	17,69	0,04	0,00
86	17,65	0,00	0,00
87	17,61	-0,04	0,00
88	17,57	-0,08	0,01
89	17,65	0,00	0,00
90	17,69	0,04	0,00
91	17,65	0,00	0,00
92	17,61	-0,04	0,00
93	17,57	-0,08	0,01
94	17,53	-0,12	0,02
95	17,49	-0,16	0,03
96	17,45	-0,20	0,04
97	17,41	-0,24	0,06
98	17,37	-0,28	0,08
99	17,33	-0,32	0,11
100	17,89	0,24	0,06
101	17,85	0,20	0,04
102	17,81	0,16	0,02
103	17,77	0,12	0,01
104	17,73	0,08	0,01
105	17,69	0,04	0,00
106	17,65	0,00	0,00
107	17,61	-0,04	0,00
108	17,57	-0,08	0,01
109	17,53	-0,12	0,02
110	17,49	-0,16	0,03
Sumatoria	1942,04		8,69
Media	17,65		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{1942,04}{110}$$

$$\bar{t} = 17,65 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{8,69}{110 \cdot (110-1)}}$$

$$E_a = 0,027 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 17,65 \text{ s} \pm 0,037 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 17,68 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,027}{17,65}$$

$$E_r = 0,0015$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100 = 0,0015 \cdot 100$$

$$E_p = 0,15 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0169 \text{ m}^3/\text{s} = 16,97 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,104 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,173$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,173 \rightarrow \phi = 0,100 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,099 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,61$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,61$$

$$\phi = 0,099 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0170 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 17,04 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0178 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 17,84 \text{ l/s}$$

Caudal N°7

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-19 Tiempos cronometrados en segundos para Q7

12,62	13,20	13,08	13,52	13,89	13,06	13,52
13,83	12,06	13,53	14,19	12,90	13,16	12,76
13,57	12,54	13,33	13,31	13,61	12,64	13,15
13,54	12,61	13,37	13,35	13,65	12,68	13,19
13,45	12,67	13,41	13,39	13,69	12,72	13,23
13,88	12,15	13,48	13,22	12,80	13,13	12,83
13,95	12,19	13,52	13,66	12,84	13,17	12,87
14,01	12,23	13,56	12,76	12,88	13,21	12,91
14,07	12,27	13,60	13,54	12,92	13,25	12,95
13,54	12,31	13,64	13,87	12,96	13,29	12,99
13,86	12,35	13,68	13,91	12,87	13,33	13,03
12,42	13,06	13,73	14,15	13,45	13,00	13,05
13,14	13,10	13,64	14,41	13,41	12,96	13,02
13,41	13,14	14,10	14,37	13,06	12,92	12,51
13,34	13,18	14,00	14,33	13,10	12,55	12,47
13,22	13,22	13,96	14,10	13,06		

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 110 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 22,7 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-20 Datos de la práctica para el caudal 7

Geometría del tanque		
Indicador	Valor	Unidad
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
Indicador	Valor	Unidad
Lectura inicial mira (L_i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L_f) =	19,60	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-21 Obtención de la media y desviación

N° de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	12,62	-0,62	0,39
2	13,83	0,59	0,35
3	13,57	0,33	0,11
4	13,54	0,30	0,09
5	13,45	0,21	0,04
6	13,88	0,64	0,41
7	13,95	0,71	0,50
8	14,01	0,77	0,59
9	14,07	0,83	0,69
10	13,54	0,30	0,09
11	13,86	0,62	0,38
12	13,20	-0,04	0,00
13	12,06	-1,18	1,39
14	12,54	-0,70	0,49
15	12,61	-0,63	0,40
16	12,67	-0,57	0,33
17	12,15	-1,09	1,19
18	12,19	-1,05	1,10
19	12,23	-1,01	1,02
20	12,27	-0,97	0,94
21	12,31	-0,93	0,87
22	12,35	-0,89	0,79
23	13,08	-0,16	0,03
24	13,53	0,29	0,08
25	13,33	0,09	0,01
26	13,37	0,13	0,02
27	13,41	0,17	0,03
28	13,48	0,24	0,06
29	13,52	0,28	0,08
30	13,56	0,32	0,10
31	13,60	0,36	0,13
32	13,64	0,40	0,16
33	13,68	0,44	0,19
34	13,52	0,28	0,08

35	14,19	0,95	0,90
36	13,31	0,07	0,00
37	13,35	0,11	0,01
38	13,39	0,15	0,02
39	13,22	-0,02	0,00
40	13,66	0,42	0,18
41	12,76	-0,48	0,23
42	13,54	0,30	0,09
43	13,87	0,63	0,40
44	13,91	0,67	0,45
45	13,89	0,65	0,42
46	12,90	-0,34	0,12
47	13,61	0,37	0,14
48	13,65	0,41	0,17
49	13,69	0,45	0,20
50	12,80	-0,44	0,19
51	12,84	-0,40	0,16
52	12,88	-0,36	0,13
53	12,92	-0,32	0,10
54	12,96	-0,28	0,08
55	12,87	-0,37	0,14
56	13,06	-0,18	0,03
57	13,16	-0,08	0,01
58	12,64	-0,60	0,36
59	12,68	-0,56	0,31
60	12,72	-0,52	0,27
61	13,13	-0,11	0,01
62	13,17	-0,07	0,01
63	13,21	-0,03	0,00
64	13,25	0,01	0,00
65	13,29	0,05	0,00
66	13,33	0,09	0,01
67	13,52	0,28	0,08
68	12,76	-0,48	0,23
69	13,15	-0,09	0,01
70	13,19	-0,05	0,00
71	13,23	-0,01	0,00
72	12,83	-0,41	0,17
73	12,87	-0,37	0,14
74	12,91	-0,33	0,11
75	12,95	-0,29	0,08

76	12,99	-0,25	0,06
77	13,03	-0,21	0,04
78	12,42	-0,82	0,67
79	13,14	-0,10	0,01
80	13,41	0,17	0,03
81	13,34	0,10	0,01
82	13,22	-0,02	0,00
83	13,06	-0,18	0,03
84	13,10	-0,14	0,02
85	13,14	-0,10	0,01
86	13,18	-0,06	0,00
87	13,22	-0,02	0,00
88	13,05	-0,19	0,04
89	13,73	0,49	0,24
90	13,64	0,40	0,16
91	14,10	0,86	0,74
92	14,00	0,76	0,58
93	13,96	0,72	0,52
94	13,45	0,21	0,04
95	13,41	0,17	0,03
96	13,06	-0,18	0,03
97	13,10	-0,14	0,02
98	13,06	-0,18	0,03
99	13,02	-0,22	0,05
100	14,15	0,91	0,83
101	14,41	1,17	1,37
102	14,37	1,13	1,28
103	14,33	1,09	1,19
104	14,10	0,86	0,74
105	13,00	-0,24	0,06
106	12,96	-0,28	0,08
107	12,92	-0,32	0,10
108	12,55	-0,69	0,48
109	12,51	-0,73	0,53
110	12,47	-0,77	0,59
Sumatoria	1456,48		29,70
Media	13,24		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{1456,48}{110}$$

$$\bar{t} = 13,24 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{29,70}{110 \cdot (110-1)}}$$

$$E_a = 0,050 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 13,24 \text{ s} \pm 0,050 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 13,29 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,050}{13,24}$$

$$E_r = 0,0038$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100 = 0,0038 \cdot 100$$

$$E_p = 0,38 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0226 \text{ m}^3/\text{s} = 22,57 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,121 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,202$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,202 \rightarrow \phi = 0,134 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,134 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,61$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,61$$

$$\phi = 0,134 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0227 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 22,66 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0234 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 23,45 \text{ l/s}$$

Caudal N°8

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-22 Tiempos cronometrados en segundos para Q₈

11,34	10,65	10,80	10,52	10,34	10,57	10,63
11,26	10,08	10,60	11,23	10,64	10,94	10,75
11,34	10,86	10,27	10,96	10,98	11,46	10,59
10,86	10,16	10,18	10,51	10,33	11,34	11,21
11,20	11,29	10,39	11,35	11,02	10,53	11,17
11,26	10,08	10,60	11,23	10,64	10,78	10,96
10,56	10,86	10,27	10,96	10,67	10,94	10,75
10,86	11,31	10,18	10,51	10,33	10,53	10,23
10,89	11,16	10,39	11,41	11,16	10,57	10,63
10,34	10,65	10,80	10,52	10,34	10,57	10,63
10,94	10,75	10,58	10,08	10,64	10,13	11,34
11,09	10,93	10,65	11,26	10,34	10,33	10,39
10,58	10,58	10,08	10,08	10,64	10,64	11,53
10,19	10,38	10,86	10,99	10,75	10,93	10,34
10,87	11,09	11,32	10,65	10,33	10,34	10,82
10,38	11,09	11,14	10,65	10,87		

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 110 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 27,9 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-23 Datos de la práctica para el caudal 8

Geometría del tanque		
Indicador	Valor	Unidad
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
Indicador	Valor	Unidad
Lectura inicial mira (L _i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L _f) =	21,00	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-24 Obtención de la media y desviación

N° de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	11,34	0,61	0,37
2	11,26	0,53	0,28
3	11,34	0,61	0,37
4	10,86	0,13	0,02
5	11,20	0,47	0,22
6	11,26	0,53	0,28
7	10,56	-0,17	0,03
8	10,86	0,13	0,02
9	10,89	0,16	0,03
10	10,34	-0,39	0,15
11	10,94	0,21	0,04
12	10,65	-0,08	0,01
13	10,08	-0,65	0,42
14	10,86	0,13	0,02
15	10,16	-0,57	0,33
16	11,29	0,56	0,31
17	10,08	-0,65	0,42
18	10,86	0,13	0,02
19	11,31	0,58	0,33
20	11,16	0,43	0,18
21	10,65	-0,08	0,01
22	10,75	0,02	0,00
23	10,80	0,07	0,00
24	10,60	-0,13	0,02
25	10,27	-0,46	0,21
26	10,18	-0,55	0,30
27	10,39	-0,34	0,12
28	10,60	-0,13	0,02
29	10,27	-0,46	0,21
30	10,18	-0,55	0,30
31	10,39	-0,34	0,12
32	10,80	0,07	0,00
33	10,58	-0,15	0,02
34	10,52	-0,21	0,04

35	11,23	0,50	0,25
36	10,96	0,23	0,05
37	10,51	-0,22	0,05
38	11,35	0,62	0,38
39	11,23	0,50	0,25
40	10,96	0,23	0,05
41	10,51	-0,22	0,05
42	11,41	0,68	0,46
43	10,52	-0,21	0,04
44	10,08	-0,65	0,42
45	10,34	-0,39	0,15
46	10,64	-0,09	0,01
47	10,98	0,25	0,06
48	10,33	-0,40	0,16
49	11,02	0,29	0,08
50	10,64	-0,09	0,01
51	10,67	-0,06	0,00
52	10,33	-0,40	0,16
53	11,16	0,43	0,18
54	10,34	-0,39	0,15
55	10,64	-0,09	0,01
56	10,57	-0,16	0,03
57	10,94	0,21	0,04
58	11,46	0,73	0,53
59	11,34	0,61	0,37
60	10,53	-0,20	0,04
61	10,78	0,05	0,00
62	10,94	0,21	0,04
63	10,53	-0,20	0,04
64	10,57	-0,16	0,03
65	10,57	-0,16	0,03
66	10,13	-0,60	0,36
67	10,63	-0,10	0,01
68	10,75	0,02	0,00
69	10,59	-0,14	0,02
70	11,21	0,48	0,23
71	11,17	0,44	0,19
72	10,96	0,23	0,05
73	10,75	0,02	0,00
74	10,23	-0,50	0,25
75	10,63	-0,10	0,01

76	10,63	-0,10	0,01
77	11,34	0,61	0,37
78	11,09	0,36	0,13
79	10,58	-0,15	0,02
80	10,19	-0,54	0,29
81	10,87	0,14	0,02
82	10,38	-0,35	0,12
83	10,93	0,20	0,04
84	10,58	-0,15	0,02
85	10,38	-0,35	0,12
86	11,09	0,36	0,13
87	11,09	0,36	0,13
88	10,39	-0,34	0,12
89	10,65	-0,08	0,01
90	10,08	-0,65	0,42
91	10,86	0,13	0,02
92	11,32	0,59	0,35
93	11,14	0,41	0,17
94	11,26	0,53	0,28
95	10,08	-0,65	0,42
96	10,99	0,26	0,07
97	10,65	-0,08	0,01
98	10,65	-0,08	0,01
99	11,53	0,80	0,64
100	10,34	-0,39	0,15
101	10,64	-0,09	0,01
102	10,75	0,02	0,00
103	10,33	-0,40	0,16
104	10,87	0,14	0,02
105	10,33	-0,40	0,16
106	10,64	-0,09	0,01
107	10,93	0,20	0,04
108	10,34	-0,39	0,15
109	10,34	-0,39	0,15
110	10,82	0,09	0,01
Sumatoria	1180,49		15,29
Media	10,73		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{1180,49}{110}$$

$$\bar{t} = 10,73 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{15,29}{110 \cdot (110-1)}}$$

$$E_a = 0,036 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 10,73 \text{ s} \pm 0,036 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 10,78 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,036}{10,73}$$

$$E_r = 0,0033$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100 = 0,0033 \cdot 100$$

$$E_p = 0,33 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

$a =$ lado perpendicular al canal

$b =$ lado paralelo al canal

$h =$ altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

$V =$ volumen del tanque

$t =$ tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0278 \text{ m}^3/\text{s} = 27,83 \text{ l/s}$$

$Q =$ caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,135 \text{ m}$$

$L_f =$ lectura de la mira mecánica final

$L_i =$ lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,225$$

$H =$ Altura de carga sobre el vertedero

$D =$ diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,225 \rightarrow \phi = 0,166 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,165 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,60$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,60$$

$$\phi = 0,165 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0278 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 27,87 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0285 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 28,58 \text{ l/s}$$

Caudal N°9

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-25 Tiempos cronometrados en segundos para Q₉

10,34	10,65	10,80	10,52	10,34	10,57	10,63
11,26	10,08	10,60	11,23	10,64	10,94	10,75
10,56	10,86	10,27	10,96	10,00	9,57	9,97
10,86	10,16	10,18	10,51	10,33	9,52	9,82
10,13	9,48	10,39	9,80	9,43	10,53	9,38
11,26	10,08	10,60	11,23	10,64	9,52	9,82
10,56	10,86	10,27	10,96	10,00	10,94	10,75
10,86	9,78	10,18	10,51	10,33	10,53	10,23
10,13	9,48	10,39	9,80	9,43	10,57	10,63
10,34	10,65	10,80	10,52	10,34	10,57	10,63
10,94	10,75	10,58	10,08	10,64	10,13	9,48
11,09	9,46	10,65	8,24	10,34	10,33	10,39
10,58	10,58	10,08	10,08	10,64	10,64	9,80
10,19	10,38	10,86	9,48	10,00	9,43	10,34
9,46	11,09	9,95	10,65	10,33	10,34	9,43
10,38	11,09	9,48	10,65	9,43		

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 110 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 28,9 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-26 Datos de la práctica para el caudal 9

Geometría del tanque		
Indicador	Valor	Unidad
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
Indicador	Valor	Unidad
Lectura inicial mira (L _i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L _f) =	21,30	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-27 Obtención de la media y desviación

Nº de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	10,34	0,02	0,00
2	11,26	0,94	0,89
3	10,56	0,24	0,06
4	10,86	0,54	0,30
5	10,13	-0,19	0,03
6	11,26	0,94	0,89
7	10,56	0,24	0,06
8	10,86	0,54	0,30
9	10,13	-0,19	0,03
10	10,34	0,02	0,00
11	10,94	0,62	0,39
12	10,65	0,33	0,11
13	10,08	-0,24	0,06
14	10,86	0,54	0,30
15	10,16	-0,16	0,02
16	9,48	-0,84	0,70
17	10,08	-0,24	0,06
18	10,86	0,54	0,30
19	9,78	-0,54	0,29
20	9,48	-0,84	0,70
21	10,65	0,33	0,11
22	10,75	0,43	0,19
23	10,80	0,48	0,23
24	10,60	0,28	0,08
25	10,27	-0,05	0,00
26	10,18	-0,14	0,02
27	10,39	0,07	0,01
28	10,60	0,28	0,08
29	10,27	-0,05	0,00
30	10,18	-0,14	0,02
31	10,39	0,07	0,01
32	10,80	0,48	0,23
33	10,58	0,26	0,07
34	10,52	0,20	0,04

35	11,23	0,91	0,84
36	10,96	0,64	0,42
37	10,51	0,19	0,04
38	9,80	-0,52	0,27
39	11,23	0,91	0,84
40	10,96	0,64	0,42
41	10,51	0,19	0,04
42	9,80	-0,52	0,27
43	10,52	0,20	0,04
44	10,08	-0,24	0,06
45	10,34	0,02	0,00
46	10,64	0,32	0,11
47	10,00	-0,32	0,10
48	10,33	0,01	0,00
49	9,43	-0,89	0,78
50	10,64	0,32	0,11
51	10,00	-0,32	0,10
52	10,33	0,01	0,00
53	9,43	-0,89	0,78
54	10,34	0,02	0,00
55	10,64	0,32	0,11
56	10,57	0,25	0,06
57	10,94	0,62	0,39
58	9,57	-0,75	0,56
59	9,52	-0,80	0,63
60	10,53	0,21	0,05
61	9,52	-0,80	0,63
62	10,94	0,62	0,39
63	10,53	0,21	0,05
64	10,57	0,25	0,06
65	10,57	0,25	0,06
66	10,13	-0,19	0,03
67	10,63	0,31	0,10
68	10,75	0,43	0,19
69	9,97	-0,35	0,12
70	9,82	-0,50	0,25
71	9,38	-0,94	0,88
72	9,82	-0,50	0,25
73	10,75	0,43	0,19
74	10,23	-0,09	0,01
75	10,63	0,31	0,10

76	10,63	0,31	0,10
77	9,48	-0,84	0,70
78	11,09	0,77	0,60
79	10,58	0,26	0,07
80	10,19	-0,13	0,02
81	9,46	-0,86	0,73
82	10,38	0,06	0,00
83	9,46	-0,86	0,73
84	10,58	0,26	0,07
85	10,38	0,06	0,00
86	11,09	0,77	0,60
87	11,09	0,77	0,60
88	10,39	0,07	0,01
89	10,65	0,33	0,11
90	10,08	-0,24	0,06
91	10,86	0,54	0,30
92	9,95	-0,37	0,13
93	9,48	-0,84	0,70
94	8,24	-2,08	4,31
95	10,08	-0,24	0,06
96	9,48	-0,84	0,70
97	10,65	0,33	0,11
98	10,65	0,33	0,11
99	9,80	-0,52	0,27
100	10,34	0,02	0,00
101	10,64	0,32	0,11
102	10,00	-0,32	0,10
103	10,33	0,01	0,00
104	9,43	-0,89	0,78
105	10,33	0,01	0,00
106	10,64	0,32	0,11
107	9,43	-0,89	0,78
108	10,34	0,02	0,00
109	10,34	0,02	0,00
110	9,43	-0,89	0,78
Sumatoria	1134,71		30,60
Media	10,32		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{1134,71}{110}$$

$$\bar{t} = 10,32 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{30,60}{110 \cdot (110-1)}}$$

$$E_a = 0,051 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 10,32 \text{ s} \pm 0,051 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 10,27 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,051}{10,32}$$

$$E_r = 0,0049$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100 = 0,0049 \cdot 100$$

$$E_p = 0,49 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

$a =$ lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0292 \text{ m}^3/\text{s} = 29,23 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,138 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,23$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,23 \rightarrow \phi = 0,173 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,173 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,60$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,60$$

$$\phi = 0,173 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0291 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 29,06 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0297 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 29,74 \text{ l/s}$$

Caudal N°10

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-28 Tiempos cronometrados en segundos para Q₁₀

18,44	20,10	18,86	17,56	18,67	18,00	19,85
17,89	19,39	17,96	18,55	18,65	19,09	19,72
17,84	19,34	17,91	18,60	18,60	19,04	19,67
17,79	19,29	17,86	18,65	18,55	18,99	19,62
18,07	18,68	17,70	19,66	20,77	18,43	18,43
18,02	18,63	17,65	19,71	20,72	18,38	18,38
18,10	17,88	18,72	18,25	19,92	18,59	18,38
17,88	17,93	18,61	18,61	18,37	18,37	19,92
18,43	17,98	18,30	18,66	18,74	18,32	19,87
18,38	18,10	18,25	18,71	18,69	18,27	18,77
18,43	18,15	18,30	18,72	18,64	19,09	19,72
18,07	18,68	17,70	19,66	20,77	18,43	18,43
17,89	19,39	17,96	18,55	18,65	19,09	19,72
19,98	18,79	19,07	17,57	18,90	18,15	20,16
18,44	20,10	18,99	17,56	18,67	18,10	20,03
18,39	20,05	18,94	17,61	18,62		

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 110 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 16,3 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-29 Datos de la práctica para el caudal 10

Geometría del tanque		
Indicador	Valor	Unidad
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
Indicador	Valor	Unidad
Lectura inicial mira (L _i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L _f) =	17,65	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-30 Obtención de la media y desviación

Nº de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	18,44	-0,28	0,08
2	17,89	-0,83	0,68
3	17,84	-0,88	0,77
4	17,79	-0,93	0,86
5	18,07	-0,65	0,42
6	18,02	-0,70	0,49
7	18,10	-0,62	0,38
8	17,88	-0,84	0,70
9	18,43	-0,29	0,08
10	18,38	-0,34	0,11
11	18,43	-0,29	0,08
12	18,07	-0,65	0,42
13	17,89	-0,83	0,68
14	19,98	1,26	1,60
15	18,44	-0,28	0,08
16	18,39	-0,33	0,11
17	20,10	1,38	1,91
18	19,39	0,67	0,45
19	19,34	0,62	0,39
20	19,29	0,57	0,33
21	18,68	-0,04	0,00
22	18,63	-0,09	0,01
23	17,88	-0,84	0,70
24	17,93	-0,79	0,62
25	17,98	-0,74	0,54
26	18,10	-0,62	0,38
27	18,15	-0,57	0,32
28	18,68	-0,04	0,00
29	19,39	0,67	0,45
30	18,79	0,07	0,01
31	20,10	1,38	1,91
32	20,05	1,33	1,78
33	18,86	0,14	0,02
34	17,96	-0,76	0,57

35	17,91	-0,81	0,65
36	17,86	-0,86	0,73
37	17,70	-1,02	1,03
38	17,65	-1,07	1,14
39	18,72	0,00	0,00
40	18,61	-0,11	0,01
41	18,30	-0,42	0,17
42	18,25	-0,47	0,22
43	18,30	-0,42	0,17
44	17,70	-1,02	1,03
45	17,96	-0,76	0,57
46	19,07	0,35	0,12
47	18,99	0,27	0,07
48	18,94	0,22	0,05
49	17,56	-1,16	1,34
50	18,55	-0,17	0,03
51	18,60	-0,12	0,01
52	18,65	-0,07	0,00
53	19,66	0,94	0,89
54	19,71	0,99	0,99
55	18,25	-0,47	0,22
56	18,61	-0,11	0,01
57	18,66	-0,06	0,00
58	18,71	-0,01	0,00
59	18,72	0,00	0,00
60	19,66	0,94	0,89
61	18,55	-0,17	0,03
62	17,57	-1,15	1,32
63	17,56	-1,16	1,34
64	17,61	-1,11	1,23
65	18,67	-0,05	0,00
66	18,65	-0,07	0,00
67	18,60	-0,12	0,01
68	18,55	-0,17	0,03
69	20,77	2,05	4,21
70	20,72	2,00	4,01
71	19,92	1,20	1,45
72	18,37	-0,35	0,12
73	18,74	0,02	0,00
74	18,69	-0,03	0,00
75	18,64	-0,08	0,01

76	20,77	2,05	4,21
77	18,65	-0,07	0,00
78	18,90	0,18	0,03
79	18,67	-0,05	0,00
80	18,62	-0,10	0,01
81	18,00	-0,72	0,51
82	19,09	0,37	0,14
83	19,04	0,32	0,10
84	18,99	0,27	0,07
85	18,43	-0,29	0,08
86	18,38	-0,34	0,11
87	18,59	-0,13	0,02
88	18,37	-0,35	0,12
89	18,32	-0,40	0,16
90	18,27	-0,45	0,20
91	19,09	0,37	0,14
92	18,43	-0,29	0,08
93	19,09	0,37	0,14
94	18,15	-0,57	0,32
95	18,10	-0,62	0,38
96	19,85	1,13	1,28
97	19,72	1,00	1,01
98	19,67	0,95	0,91
99	19,62	0,90	0,82
100	18,43	-0,29	0,08
101	18,38	-0,34	0,11
102	18,38	-0,34	0,11
103	19,92	1,20	1,45
104	19,87	1,15	1,33
105	18,77	0,05	0,00
106	19,72	1,00	1,01
107	18,43	-0,29	0,08
108	19,72	1,00	1,01
109	20,16	1,44	2,08
110	20,03	1,31	1,72
Sumatoria	2058,87		61,92
Media	18,72		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{2058,87}{110}$$

$$\bar{t} = 18,72 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{61,92}{110 \cdot (110-1)}}$$

$$E_a = 0,072 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 18,72 \text{ s} \pm 0,072 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 18,65 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,072}{18,72}$$

$$E_r = 0,0038$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100 = 0,0038 \cdot 100$$

$$E_p = 0,38 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,016 \text{ m}^3/\text{s} = 16,09 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,101 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,169$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,169 \rightarrow \phi = 0,096 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,095 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,62$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,62$$

$$\phi = 0,095 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0162 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 16,28 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,017 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 17,07 \text{ l/s}$$

Caudal N°11

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-31 Tiempos cronometrados en segundos para Q₁₁

28,25	29,24	29,18	30,33	34,34	28,36	29,13
28,18	29,51	29,13	29,37	33,88	29,06	28,48
33,33	29,57	29,19	29,54	33,81	29,12	28,54
33,28	29,63	29,25	28,86	33,74	29,18	28,60
28,18	29,51	29,13	29,89	33,88	29,06	28,48
28,13	29,57	29,19	29,86	33,81	29,12	28,54
28,08	29,63	29,25	29,76	33,74	29,18	28,60
28,03	29,69	29,31	29,57	33,67	29,24	28,66
27,98	29,75	29,37	29,85	33,60	29,30	28,72
27,93	29,81	29,43	29,91	33,53	29,36	28,78
27,88	29,87	29,49	29,97	33,46	29,42	28,84
28,74	28,54	29,57	29,62	30,04	29,51	28,84
28,48	28,60	29,56	29,68	29,45	29,57	29,92
28,54	28,66	29,62	29,74	29,51	29,63	29,81
28,60	28,72	29,68	29,80	29,57	29,69	29,75
28,48	28,78	29,56	29,86	29,45		

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 110 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 10,6 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-32 Datos de la práctica para el caudal 11

Geometría del tanque		
Indicador	Valor	Unidad
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
Indicador	Valor	Unidad
Lectura inicial mira (L _i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L _f) =	15,60	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-33 Obtención de la media y desviación

Nº de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	28,25	-1,47	2,15
2	28,18	-1,54	2,36
3	33,33	3,61	13,07
4	33,28	3,56	12,71
5	28,18	-1,54	2,36
6	28,13	-1,59	2,51
7	28,08	-1,64	2,67
8	28,03	-1,69	2,84
9	27,98	-1,74	3,01
10	27,93	-1,79	3,19
11	27,88	-1,84	3,37
12	29,24	-0,48	0,23
13	29,51	-0,21	0,04
14	29,57	-0,15	0,02
15	29,63	-0,09	0,01
16	29,51	-0,21	0,04
17	29,57	-0,15	0,02
18	29,63	-0,09	0,01
19	29,69	-0,03	0,00
20	29,75	0,03	0,00
21	29,81	0,09	0,01
22	29,87	0,15	0,02
23	29,18	-0,54	0,29
24	29,13	-0,59	0,34
25	29,19	-0,53	0,28
26	29,25	-0,47	0,22
27	29,13	-0,59	0,34
28	29,19	-0,53	0,28
29	29,25	-0,47	0,22
30	29,31	-0,41	0,16
31	29,37	-0,35	0,12
32	29,43	-0,29	0,08
33	29,49	-0,23	0,05
34	30,33	0,61	0,38

35	29,37	-0,35	0,12
36	29,54	-0,18	0,03
37	28,86	-0,86	0,73
38	29,89	0,17	0,03
39	29,86	0,14	0,02
40	29,76	0,04	0,00
41	29,57	-0,15	0,02
42	29,85	0,13	0,02
43	29,91	0,19	0,04
44	29,97	0,25	0,06
45	34,34	4,62	21,39
46	33,88	4,16	17,35
47	33,81	4,09	16,77
48	33,74	4,02	16,20
49	33,88	4,16	17,35
50	33,81	4,09	16,77
51	33,74	4,02	16,20
52	33,67	3,95	15,64
53	33,60	3,88	15,09
54	33,53	3,81	14,55
55	33,46	3,74	14,02
56	28,36	-1,36	1,84
57	29,06	-0,66	0,43
58	29,12	-0,60	0,35
59	29,18	-0,54	0,29
60	29,06	-0,66	0,43
61	29,12	-0,60	0,35
62	29,18	-0,54	0,29
63	29,24	-0,48	0,23
64	29,30	-0,42	0,17
65	29,36	-0,36	0,13
66	29,42	-0,30	0,09
67	28,74	-0,98	0,95
68	28,48	-1,24	1,53
69	28,54	-1,18	1,38
70	28,60	-1,12	1,24
71	28,48	-1,24	1,53
72	28,54	-1,18	1,38
73	28,60	-1,12	1,24
74	28,66	-1,06	1,11
75	28,72	-1,00	0,99

76	28,78	-0,94	0,87
77	28,84	-0,88	0,77
78	29,57	-0,15	0,02
79	29,56	-0,16	0,02
80	29,62	-0,10	0,01
81	29,68	-0,04	0,00
82	29,56	-0,16	0,02
83	29,62	-0,10	0,01
84	29,68	-0,04	0,00
85	29,74	0,02	0,00
86	29,80	0,08	0,01
87	29,86	0,14	0,02
88	29,92	0,20	0,04
89	30,04	0,32	0,11
90	29,45	-0,27	0,07
91	29,51	-0,21	0,04
92	29,57	-0,15	0,02
93	29,45	-0,27	0,07
94	29,51	-0,21	0,04
95	29,57	-0,15	0,02
96	29,63	-0,09	0,01
97	29,69	-0,03	0,00
98	29,75	0,03	0,00
99	29,81	0,09	0,01
100	29,13	-0,59	0,34
101	28,48	-1,24	1,53
102	28,54	-1,18	1,38
103	28,60	-1,12	1,24
104	28,48	-1,24	1,53
105	28,54	-1,18	1,38
106	28,60	-1,12	1,24
107	28,66	-1,06	1,11
108	28,72	-1,00	0,99
109	28,78	-0,94	0,87
110	28,84	-0,88	0,77
Sumatoria	3268,66		266,30
Media	29,72		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{3268,66}{110}$$

$$\bar{t} = 29,72 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{266,30}{110 \cdot (110-1)}}$$

$$E_a = 0,149 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 29,72 \text{ s} \pm 0,149 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 29,57 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,149}{29,72}$$

$$E_r = 0,0050$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100 = 0,0050 \cdot 100$$

$$E_p = 0,50 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,010 \text{ m}^3/\text{s} = 10,15 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,081 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,135$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,135 \rightarrow \phi = 0,062 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,061 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,63$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,63$$

$$\phi = 0,061 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0106 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 10,67 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0113 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 11,35 \text{ l/s}$$

Caudal N°12

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-34 Tiempos cronometrados en segundos para Q₁₂

18,07	18,68	17,70	19,66	20,77	18,43	18,43
17,89	19,39	17,96	18,55	18,65	19,09	19,72
19,98	18,79	19,07	17,57	18,90	18,15	20,16
18,44	20,10	18,99	17,56	18,67	18,10	20,03
18,39	20,05	18,94	17,61	18,62	18,05	19,98
18,44	20,10	18,86	17,56	18,67	18,00	19,85
17,89	19,39	17,96	18,55	18,65	19,09	19,72
17,84	19,34	17,91	18,60	18,60	19,04	19,67
17,79	19,29	17,86	18,65	18,55	18,99	19,62
18,07	18,68	17,70	19,66	20,77	18,43	18,43
18,02	18,63	17,65	19,71	20,72	18,38	18,38
18,10	17,88	18,72	18,25	19,92	18,59	18,38
17,88	17,93	18,61	18,61	18,37	18,37	19,92
18,43	17,98	18,30	18,66	18,74	18,32	19,87
18,38	18,10	18,25	18,71	18,69	18,27	18,77
18,43	18,15	18,30	18,72	18,64		

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 110 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 16,3 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-35 Datos de la práctica para el caudal 12

Geometría del tanque		
Indicador	Valor	Unidad
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
Indicador	Valor	Unidad
Lectura inicial mira (L _i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L _f) =	17,70	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-36 Obtención de la media y desviación

Nº de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	18,07	-0,64	0,41
2	17,89	-0,82	0,67
3	19,98	1,27	1,61
4	18,44	-0,27	0,07
5	18,39	-0,32	0,10
6	18,44	-0,27	0,07
7	17,89	-0,82	0,67
8	17,84	-0,87	0,76
9	17,79	-0,92	0,85
10	18,07	-0,64	0,41
11	18,02	-0,69	0,48
12	18,68	-0,03	0,00
13	19,39	0,68	0,46
14	18,79	0,08	0,01
15	20,10	1,39	1,93
16	20,05	1,34	1,80
17	20,10	1,39	1,93
18	19,39	0,68	0,46
19	19,34	0,63	0,40
20	19,29	0,58	0,34
21	18,68	-0,03	0,00
22	18,63	-0,08	0,01
23	17,70	-1,01	1,02
24	17,96	-0,75	0,56
25	19,07	0,36	0,13
26	18,99	0,28	0,08
27	18,94	0,23	0,05
28	18,86	0,15	0,02
29	17,96	-0,75	0,56
30	17,91	-0,80	0,64
31	17,86	-0,85	0,72
32	17,70	-1,01	1,02
33	17,65	-1,06	1,12
34	19,66	0,95	0,90

35	18,55	-0,16	0,03
36	17,57	-1,14	1,30
37	17,56	-1,15	1,32
38	17,61	-1,10	1,21
39	17,56	-1,15	1,32
40	18,55	-0,16	0,03
41	18,60	-0,11	0,01
42	18,65	-0,06	0,00
43	19,66	0,95	0,90
44	19,71	1,00	1,00
45	20,77	2,06	4,24
46	18,65	-0,06	0,00
47	18,90	0,19	0,04
48	18,67	-0,04	0,00
49	18,62	-0,09	0,01
50	18,67	-0,04	0,00
51	18,65	-0,06	0,00
52	18,60	-0,11	0,01
53	18,55	-0,16	0,03
54	20,77	2,06	4,24
55	20,72	2,01	4,04
56	18,43	-0,28	0,08
57	19,09	0,38	0,14
58	18,15	-0,56	0,31
59	18,10	-0,61	0,37
60	18,05	-0,66	0,44
61	18,00	-0,71	0,50
62	19,09	0,38	0,14
63	19,04	0,33	0,11
64	18,99	0,28	0,08
65	18,43	-0,28	0,08
66	18,38	-0,33	0,11
67	18,43	-0,28	0,08
68	19,72	1,01	1,02
69	20,16	1,45	2,10
70	20,03	1,32	1,74
71	19,98	1,27	1,61
72	19,85	1,14	1,30
73	19,72	1,01	1,02
74	19,67	0,96	0,92
75	19,62	0,91	0,83

76	18,43	-0,28	0,08
77	18,38	-0,33	0,11
78	18,10	-0,61	0,37
79	17,88	-0,83	0,69
80	18,43	-0,28	0,08
81	18,38	-0,33	0,11
82	18,43	-0,28	0,08
83	18,38	-0,33	0,11
84	17,88	-0,83	0,69
85	17,93	-0,78	0,61
86	17,98	-0,73	0,53
87	18,10	-0,61	0,37
88	18,15	-0,56	0,31
89	18,72	0,01	0,00
90	18,61	-0,10	0,01
91	18,30	-0,41	0,17
92	18,25	-0,46	0,21
93	18,30	-0,41	0,17
94	18,25	-0,46	0,21
95	18,61	-0,10	0,01
96	18,66	-0,05	0,00
97	18,71	0,00	0,00
98	18,72	0,01	0,00
99	18,77	0,06	0,00
100	19,92	1,21	1,46
101	18,37	-0,34	0,12
102	18,74	0,03	0,00
103	18,69	-0,02	0,00
104	18,64	-0,07	0,00
105	18,59	-0,12	0,01
106	18,37	-0,34	0,12
107	18,32	-0,39	0,15
108	18,27	-0,44	0,19
109	19,92	1,21	1,46
110	19,87	1,16	1,35
Sumatoria	2058,09		62,81
Media	18,71		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{2058,09}{110}$$

$$\bar{t} = 18,71 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{62,81}{110 \cdot (110-1)}}$$

$$E_a = 0,072 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 18,71 \text{ s} \pm 0,072 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 18,64 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,072}{18,71}$$

$$E_r = 0,0039$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100 = 0,0039 \cdot 100$$

$$E_p = 0,39 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

$a =$ lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V/t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,016 \text{ m}^3/\text{s} = 16,10 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,102 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,170$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,170 \rightarrow \phi = 0,097 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,096 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,62$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,62$$

$$\phi = 0,096 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0164 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 16,43 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0172 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 17,22 \text{ l/s}$$

Caudal N°13

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-37 Tiempos cronometrados en segundos para Q₁₃

12,80	13,58	13,14	13,48	13,57	12,99	13,52
13,58	12,78	13,92	13,05	14,00	12,69	13,28
12,98	13,65	12,85	13,61	13,57	13,15	12,82
13,20	12,89	12,94	13,83	13,64	12,69	13,92
13,57	12,63	12,82	13,64	13,62	13,05	12,57
12,89	12,86	12,89	14,01	12,69	13,23	13,53
12,85	12,78	13,57	12,63	13,83	13,64	12,69
14,10	12,98	13,92	13,27	13,64	12,69	13,92
13,18	14,07	12,84	12,67	13,61	13,57	13,62
13,57	13,86	12,82	14,04	12,89	12,96	13,02
13,64	12,69	13,92	12,16	13,24	13,05	12,97
12,80	12,69	13,28	13,28	13,64	13,54	12,63
13,54	13,92	13,47	13,65	12,65	13,02	13,83
14,04	13,25	13,62	13,23	13,05	12,69	13,61
13,23	13,05	13,67	12,57	12,69	12,77	13,43
13,61	13,21	13,57	12,86	12,63		

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 110 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 22,8 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-38 Datos de la práctica para el caudal 13

Geometría del tanque		
Indicador	Valor	Unidad
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
Indicador	Valor	Unidad
Lectura inicial mira (L _i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L _f) =	19,65	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-39 Obtención de la media y desviación

Nº de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	12,80	-0,45	0,20
2	13,58	0,33	0,11
3	12,98	-0,27	0,07
4	13,20	-0,05	0,00
5	13,57	0,32	0,10
6	12,89	-0,36	0,13
7	12,85	-0,40	0,16
8	14,10	0,85	0,72
9	13,18	-0,07	0,01
10	13,57	0,32	0,10
11	13,64	0,39	0,15
12	13,58	0,33	0,11
13	12,78	-0,47	0,22
14	13,65	0,40	0,16
15	12,89	-0,36	0,13
16	12,63	-0,62	0,39
17	12,86	-0,39	0,15
18	12,78	-0,47	0,22
19	12,98	-0,27	0,07
20	14,07	0,82	0,67
21	13,86	0,61	0,37
22	12,69	-0,56	0,32
23	13,14	-0,11	0,01
24	13,92	0,67	0,45
25	12,85	-0,40	0,16
26	12,94	-0,31	0,10
27	12,82	-0,43	0,19
28	12,89	-0,36	0,13
29	13,57	0,32	0,10
30	13,92	0,67	0,45
31	12,84	-0,41	0,17
32	12,82	-0,43	0,19
33	13,92	0,67	0,45
34	13,48	0,23	0,05

35	13,05	-0,20	0,04
36	13,61	0,36	0,13
37	13,83	0,58	0,33
38	13,64	0,39	0,15
39	14,01	0,76	0,57
40	12,63	-0,62	0,39
41	13,27	0,02	0,00
42	12,67	-0,58	0,34
43	14,04	0,79	0,62
44	12,16	-1,09	1,19
45	13,57	0,32	0,10
46	14,00	0,75	0,56
47	13,57	0,32	0,10
48	13,64	0,39	0,15
49	13,62	0,37	0,14
50	12,69	-0,56	0,32
51	13,83	0,58	0,33
52	13,64	0,39	0,15
53	13,61	0,36	0,13
54	12,89	-0,36	0,13
55	13,24	-0,01	0,00
56	12,99	-0,26	0,07
57	12,69	-0,56	0,32
58	13,15	-0,10	0,01
59	12,69	-0,56	0,32
60	13,05	-0,20	0,04
61	13,23	-0,02	0,00
62	13,64	0,39	0,15
63	12,69	-0,56	0,32
64	13,57	0,32	0,10
65	12,96	-0,29	0,09
66	13,05	-0,20	0,04
67	13,52	0,27	0,07
68	13,28	0,03	0,00
69	12,82	-0,43	0,19
70	13,92	0,67	0,45
71	12,57	-0,68	0,47
72	13,53	0,28	0,08
73	12,69	-0,56	0,32
74	13,92	0,67	0,45
75	13,62	0,37	0,14

76	13,02	-0,23	0,05
77	12,97	-0,28	0,08
78	12,80	-0,45	0,20
79	13,54	0,29	0,08
80	14,04	0,79	0,62
81	13,23	-0,02	0,00
82	13,61	0,36	0,13
83	12,69	-0,56	0,32
84	13,92	0,67	0,45
85	13,25	0,00	0,00
86	13,05	-0,20	0,04
87	13,21	-0,04	0,00
88	12,63	-0,62	0,39
89	13,28	0,03	0,00
90	13,47	0,22	0,05
91	13,62	0,37	0,14
92	13,67	0,42	0,17
93	13,57	0,32	0,10
94	13,28	0,03	0,00
95	13,65	0,40	0,16
96	13,23	-0,02	0,00
97	12,57	-0,68	0,47
98	12,86	-0,39	0,15
99	13,83	0,58	0,33
100	13,64	0,39	0,15
101	12,65	-0,60	0,36
102	13,05	-0,20	0,04
103	12,69	-0,56	0,32
104	12,63	-0,62	0,39
105	13,54	0,29	0,08
106	13,02	-0,23	0,05
107	12,69	-0,56	0,32
108	12,77	-0,48	0,23
109	13,61	0,36	0,13
110	13,43	0,18	0,03
Sumatoria	1457,74		22,51
Media	13,25		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{1457,74}{110}$$

$$\bar{t} = 13,25 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{22,51}{110 \cdot (110-1)}}$$

$$E_a = 0,043 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 13,25 \text{ s} \pm 0,043 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 13,21 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,043}{13,21}$$

$$E_r = 0,0033$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100 = 0,0033 \cdot 100$$

$$E_p = 0,33 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,022 \text{ m}^3/\text{s} = 22,71 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,121 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,203$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,203 \rightarrow \phi = 0,135 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,135 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,61$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,61$$

$$\phi = 0,135 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0228 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 22,84 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0236 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 23,62 \text{ l/s}$$

Caudal N°14

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-40 Tiempos cronometrados en segundos para Q₁₄

8,85	7,85	7,75	7,38	8,30	8,01	8,02
8,12	8,31	8,03	7,37	7,52	8,64	8,26
7,78	8,24	8,11	7,32	8,96	7,66	7,34
7,67	8,89	7,99	7,63	8,70	8,08	7,83
7,06	8,89	8,08	8,24	8,96	7,66	8,11
8,11	7,32	8,96	7,66	8,89	7,99	7,63
8,02	8,96	7,66	8,36	7,38	8,11	8,28
7,32	8,96	7,66	7,34	8,36	8,03	7,37
7,66	8,89	7,99	7,63	7,83	7,66	7,37
7,83	7,66	7,37	8,70	7,66	8,89	7,99
7,99	7,63	8,70	7,83	7,66	7,77	7,66
7,33	8,70	8,24	7,66	7,66	8,05	8,89
7,06	8,96	8,89	7,66	8,08	8,52	7,99
8,36	7,52	7,38	8,64	8,96	8,26	7,63
7,66	7,99	7,37	7,63	8,70	8,70	8,54
7,99	7,63	8,96	7,99	8,00		

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 110 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 37,3 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-41 Datos de la práctica para el caudal 14

Geometría del tanque		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Lectura inicial mira (L _i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L _f) =	23,25	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-42 Obtención de la media y desviación

Nº de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	8,85	0,81	0,66
2	8,12	0,08	0,01
3	7,78	-0,26	0,07
4	7,67	-0,37	0,13
5	7,06	-0,98	0,95
6	8,11	0,07	0,01
7	8,02	-0,02	0,00
8	7,32	-0,72	0,51
9	7,66	-0,38	0,14
10	7,83	-0,21	0,04
11	7,99	-0,05	0,00
12	7,85	-0,19	0,03
13	8,31	0,27	0,08
14	8,24	0,20	0,04
15	8,89	0,85	0,73
16	8,89	0,85	0,73
17	7,32	-0,72	0,51
18	8,96	0,92	0,85
19	8,96	0,92	0,85
20	8,89	0,85	0,73
21	7,66	-0,38	0,14
22	7,63	-0,41	0,16
23	7,75	-0,29	0,08
24	8,03	-0,01	0,00
25	8,11	0,07	0,01
26	7,99	-0,05	0,00
27	8,08	0,04	0,00
28	8,96	0,92	0,85
29	7,66	-0,38	0,14
30	7,66	-0,38	0,14
31	7,99	-0,05	0,00
32	7,37	-0,67	0,44
33	8,70	0,66	0,44
34	7,38	-0,66	0,43

35	7,37	-0,67	0,44
36	7,32	-0,72	0,51
37	7,63	-0,41	0,16
38	8,24	0,20	0,04
39	7,66	-0,38	0,14
40	8,36	0,32	0,11
41	7,34	-0,70	0,48
42	7,63	-0,41	0,16
43	8,70	0,66	0,44
44	7,83	-0,21	0,04
45	8,30	0,26	0,07
46	7,52	-0,52	0,27
47	8,96	0,92	0,85
48	8,70	0,66	0,44
49	8,96	0,92	0,85
50	8,89	0,85	0,73
51	7,38	-0,66	0,43
52	8,36	0,32	0,11
53	7,83	-0,21	0,04
54	7,66	-0,38	0,14
55	7,66	-0,38	0,14
56	8,01	-0,03	0,00
57	8,64	0,60	0,36
58	7,66	-0,38	0,14
59	8,08	0,04	0,00
60	7,66	-0,38	0,14
61	7,99	-0,05	0,00
62	8,11	0,07	0,01
63	8,03	-0,01	0,00
64	7,66	-0,38	0,14
65	8,89	0,85	0,73
66	7,77	-0,27	0,07
67	8,02	-0,02	0,00
68	8,26	0,22	0,05
69	7,34	-0,70	0,48
70	7,83	-0,21	0,04
71	8,11	0,07	0,01
72	7,63	-0,41	0,16
73	8,28	0,24	0,06
74	7,37	-0,67	0,44
75	7,37	-0,67	0,44

76	7,99	-0,05	0,00
77	7,66	-0,38	0,14
78	7,33	-0,71	0,50
79	7,06	-0,98	0,95
80	8,36	0,32	0,11
81	7,66	-0,38	0,14
82	7,99	-0,05	0,00
83	8,70	0,66	0,44
84	8,96	0,92	0,85
85	7,52	-0,52	0,27
86	7,99	-0,05	0,00
87	7,63	-0,41	0,16
88	8,89	0,85	0,73
89	8,24	0,20	0,04
90	8,89	0,85	0,73
91	7,38	-0,66	0,43
92	7,37	-0,67	0,44
93	8,96	0,92	0,85
94	7,66	-0,38	0,14
95	7,66	-0,38	0,14
96	8,64	0,60	0,36
97	7,63	-0,41	0,16
98	7,99	-0,05	0,00
99	7,99	-0,05	0,00
100	7,66	-0,38	0,14
101	8,08	0,04	0,00
102	8,96	0,92	0,85
103	8,70	0,66	0,44
104	8,00	-0,04	0,00
105	8,05	0,01	0,00
106	8,52	0,48	0,23
107	8,26	0,22	0,05
108	8,70	0,66	0,44
109	7,63	-0,41	0,16
110	8,54	0,50	0,25
Sumatoria	883,95		30,04
Media	8,04		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{883,95}{110}$$

$$\bar{t} = 8,04 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{30,04}{110 \cdot (110-1)}}$$

$$E_a = 0,050 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 8,04 \text{ s} \pm 0,050 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 7,99 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,050}{8,04}$$

$$E_r = 0,0062$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100 = 0,0062 \cdot 100$$

$$E_p = 0,62 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0375 \text{ m}^3/\text{s} = 37,57 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,157 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,263$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,263 \rightarrow \phi = 0,223 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,223 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,60$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,60$$

$$\phi = 0,223 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0373 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 37,31 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0377 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 37,76 \text{ l/s}$$

Caudal N°15

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-43 Tiempos cronometrados en segundos para Q₁₅

5,83	5,55	6,50	5,82	6,42	6,27	6,18
7,20	5,56	7,04	6,59	6,93	6,08	6,04
6,92	7,32	6,84	6,59	6,67	5,74	7,41
5,56	7,04	6,59	6,28	6,41	6,59	6,67
6,59	6,15	5,74	6,59	6,67	5,74	6,22
6,84	6,34	6,31	5,74	6,59	6,67	5,74
6,84	6,78	6,08	6,04	6,20	6,59	6,67
6,67	6,08	6,04	6,54	7,04	6,59	5,74
6,59	6,43	6,56	6,56	6,17	5,74	6,59
5,82	6,42	6,27	6,88	6,24	5,81	6,33
5,89	6,49	6,34	6,95	5,74	6,59	5,74
6,33	6,95	6,84	6,67	6,08	6,84	6,45
6,00	5,74	7,04	6,59	5,74	7,41	6,67
6,67	6,59	6,84	6,67	7,41	6,59	6,75
5,74	6,59	6,67	6,17	6,84	6,84	6,84
7,04	6,77	6,59	6,43	6,67		

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 110 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 46,5 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-44 Datos de la práctica para el caudal 15

Geometría del tanque		
Indicador	Valor	Unidad
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
Indicador	Valor	Unidad
Lectura inicial mira (L _i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L _f) =	25,20	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-45 Obtención de la media y desviación

Nº de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	5,83	-0,61	0,38
2	7,20	0,76	0,57
3	6,92	0,48	0,23
4	5,56	-0,88	0,78
5	6,59	0,15	0,02
6	6,84	0,40	0,16
7	6,84	0,40	0,16
8	6,67	0,23	0,05
9	6,59	0,15	0,02
10	5,82	-0,62	0,39
11	5,89	-0,55	0,31
12	5,55	-0,89	0,80
13	5,56	-0,88	0,78
14	7,32	0,88	0,77
15	7,04	0,60	0,36
16	6,15	-0,29	0,09
17	6,34	-0,10	0,01
18	6,78	0,34	0,11
19	6,08	-0,36	0,13
20	6,43	-0,01	0,00
21	6,42	-0,02	0,00
22	6,49	0,05	0,00
23	6,50	0,06	0,00
24	7,04	0,60	0,36
25	6,84	0,40	0,16
26	6,59	0,15	0,02
27	5,74	-0,70	0,49
28	6,31	-0,13	0,02
29	6,08	-0,36	0,13
30	6,04	-0,40	0,16
31	6,56	0,12	0,01
32	6,27	-0,17	0,03
33	6,34	-0,10	0,01
34	5,82	-0,62	0,39

35	6,59	0,15	0,02
36	6,59	0,15	0,02
37	6,28	-0,16	0,03
38	6,59	0,15	0,02
39	5,74	-0,70	0,49
40	6,04	-0,40	0,16
41	6,54	0,10	0,01
42	6,56	0,12	0,01
43	6,88	0,44	0,19
44	6,95	0,51	0,26
45	6,42	-0,02	0,00
46	6,93	0,49	0,24
47	6,67	0,23	0,05
48	6,41	-0,03	0,00
49	6,67	0,23	0,05
50	6,59	0,15	0,02
51	6,20	-0,24	0,06
52	7,04	0,60	0,36
53	6,17	-0,27	0,07
54	6,24	-0,20	0,04
55	5,74	-0,70	0,49
56	6,27	-0,17	0,03
57	6,08	-0,36	0,13
58	5,74	-0,70	0,49
59	6,59	0,15	0,02
60	5,74	-0,70	0,49
61	6,67	0,23	0,05
62	6,59	0,15	0,02
63	6,59	0,15	0,02
64	5,74	-0,70	0,49
65	5,81	-0,63	0,40
66	6,59	0,15	0,02
67	6,18	-0,26	0,07
68	6,04	-0,40	0,16
69	7,41	0,97	0,94
70	6,67	0,23	0,05
71	6,22	-0,22	0,05
72	5,74	-0,70	0,49
73	6,67	0,23	0,05
74	5,74	-0,70	0,49
75	6,59	0,15	0,02

76	6,33	-0,11	0,01
77	5,74	-0,70	0,49
78	6,33	-0,11	0,01
79	6,00	-0,44	0,20
80	6,67	0,23	0,05
81	5,74	-0,70	0,49
82	7,04	0,60	0,36
83	6,95	0,51	0,26
84	5,74	-0,70	0,49
85	6,59	0,15	0,02
86	6,59	0,15	0,02
87	6,77	0,33	0,11
88	6,45	0,01	0,00
89	6,84	0,40	0,16
90	7,04	0,60	0,36
91	6,84	0,40	0,16
92	6,67	0,23	0,05
93	6,59	0,15	0,02
94	6,67	0,23	0,05
95	6,59	0,15	0,02
96	6,67	0,23	0,05
97	6,17	-0,27	0,07
98	6,43	-0,01	0,00
99	6,67	0,23	0,05
100	6,08	-0,36	0,13
101	5,74	-0,70	0,49
102	7,41	0,97	0,94
103	6,84	0,40	0,16
104	6,67	0,23	0,05
105	6,84	0,40	0,16
106	7,41	0,97	0,94
107	6,59	0,15	0,02
108	6,84	0,40	0,16
109	6,75	0,31	0,09
110	6,84	0,40	0,16
Sumatoria	708,68		21,82
Media	6,44		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{708,68}{110}$$

$$\bar{t} = 6,44 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{21,82}{110 \cdot (110-1)}}$$

$$E_a = 0,043 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 6,44 \text{ s} \pm 0,043 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 6,49 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,043}{6,44}$$

$$E_r = 0,0066$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100 = 0,0066 \cdot 100$$

$$E_p = 0,66 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0462 \text{ m}^3/\text{s} = 46,26 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,177 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,295$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,295 \rightarrow \phi = 0,280 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,279 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,60$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,60$$

$$\phi = 0,279 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0465 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 46,52 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0466 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 46,62 \text{ l/s}$$

Caudal N°16

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-46 Tiempos cronometrados en segundos para Q₁₆

5,31	4,97	6,18	5,63	6,57	5,36	5,77
6,50	5,95	6,13	5,28	5,84	5,75	6,62
6,15	5,60	5,78	5,63	5,64	5,55	6,42
6,10	5,55	5,98	5,58	5,61	5,76	6,16
6,05	6,04	5,93	5,53	5,58	5,61	5,90
5,95	6,13	5,28	5,84	5,36	5,77	6,25
5,90	6,08	6,15	5,79	5,93	5,62	5,99
5,60	6,18	5,63	6,57	5,78	5,36	5,97
5,55	6,13	5,58	6,52	5,75	5,87	5,71
5,50	6,08	6,01	6,47	5,72	5,83	5,70
5,22	5,64	5,64	5,43	5,68	5,61	5,64
5,88	5,62	5,54	5,48	5,48	5,59	5,69
5,68	5,67	5,59	6,50	5,55	5,62	5,63
5,66	5,65	5,64	6,55	5,58	5,95	6,60
5,98	6,01					

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 100 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 50,5 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-47 Datos de la práctica para el caudal 16

Geometría del tanque		
Indicador	Valor	Unidad
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
Indicador	Valor	Unidad
Lectura inicial mira (L _i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L _f) =	26,00	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-48 Obtención de la media y desviación

Nº de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	5,31	-0,51	0,26
2	6,50	0,68	0,47
3	6,15	0,33	0,11
4	6,10	0,28	0,08
5	6,05	0,23	0,05
6	5,95	0,13	0,02
7	5,90	0,08	0,01
8	5,60	-0,22	0,05
9	5,55	-0,27	0,07
10	5,50	-0,32	0,10
11	4,97	-0,85	0,72
12	5,95	0,13	0,02
13	5,60	-0,22	0,05
14	5,55	-0,27	0,07
15	6,04	0,22	0,05
16	6,13	0,31	0,10
17	6,08	0,26	0,07
18	6,18	0,36	0,13
19	6,13	0,31	0,10
20	6,08	0,26	0,07
21	6,18	0,36	0,13
22	6,13	0,31	0,10
23	5,78	-0,04	0,00
24	5,98	0,16	0,03
25	5,93	0,11	0,01
26	5,28	-0,54	0,29
27	6,15	0,33	0,11
28	5,63	-0,19	0,03
29	5,58	-0,24	0,06
30	6,01	0,19	0,04
31	5,63	-0,19	0,03
32	5,28	-0,54	0,29
33	5,63	-0,19	0,03
34	5,58	-0,24	0,06

35	5,53	-0,29	0,08
36	5,84	0,02	0,00
37	5,79	-0,03	0,00
38	6,57	0,75	0,57
39	6,52	0,70	0,50
40	6,47	0,65	0,43
41	6,57	0,75	0,57
42	5,84	0,02	0,00
43	5,64	-0,18	0,03
44	5,61	-0,21	0,04
45	5,58	-0,24	0,06
46	5,36	-0,46	0,21
47	5,93	0,11	0,01
48	5,78	-0,04	0,00
49	5,75	-0,07	0,00
50	5,72	-0,10	0,01
51	5,36	-0,46	0,21
52	5,75	-0,07	0,00
53	5,55	-0,27	0,07
54	5,76	-0,06	0,00
55	5,61	-0,21	0,04
56	5,77	-0,05	0,00
57	5,62	-0,20	0,04
58	5,36	-0,46	0,21
59	5,87	0,05	0,00
60	5,83	0,01	0,00
61	5,77	-0,05	0,00
62	6,62	0,80	0,65
63	6,42	0,60	0,37
64	6,16	0,34	0,12
65	5,90	0,08	0,01
66	6,25	0,43	0,19
67	5,99	0,17	0,03
68	5,97	0,15	0,02
69	5,71	-0,11	0,01
70	5,70	-0,12	0,01
71	5,22	-0,60	0,35
72	5,88	0,06	0,00
73	5,68	-0,14	0,02
74	5,66	-0,16	0,02
75	5,64	-0,18	0,03

76	5,64	-0,18	0,03
77	5,62	-0,20	0,04
78	5,67	-0,15	0,02
79	5,65	-0,17	0,03
80	5,63	-0,19	0,03
81	5,64	-0,18	0,03
82	5,54	-0,28	0,08
83	5,59	-0,23	0,05
84	5,64	-0,18	0,03
85	5,69	-0,13	0,02
86	5,43	-0,39	0,15
87	5,48	-0,34	0,11
88	6,50	0,68	0,47
89	6,55	0,73	0,54
90	6,60	0,78	0,62
91	5,68	-0,14	0,02
92	5,48	-0,34	0,11
93	5,55	-0,27	0,07
94	5,58	-0,24	0,06
95	5,61	-0,21	0,04
96	5,59	-0,23	0,05
97	5,62	-0,20	0,04
98	5,95	0,13	0,02
99	5,98	0,16	0,03
100	6,01	0,19	0,04
Sumatoria	581,56		11,44
Media	5,82		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{581,56}{100}$$

$$\bar{t} = 5,82 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{11,44}{100 \cdot (100-1)}}$$

$$E_a = 0,034 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 5,82 \text{ s} \pm 0,034 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 5,78 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{t} = \frac{0,034}{5,82}$$

$$E_r = 0,0058$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{t} \cdot 100 = 0,0058 \cdot 100$$

$$E_p = 0,58 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0518 \text{ m}^3/\text{s} = 51,89 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = Lf - Li$$

$$H = 0,185 \text{ m}$$

Lf = lectura de la mira mecánica final

Li = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,308$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,308 \rightarrow \phi = 0,304 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,304 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,60$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,60$$

$$\phi = 0,304 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0505 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 50,58 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0505 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 50,50 \text{ l/s}$$

Caudal N°17

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-49 Tiempos cronometrados en segundos para Q₁₇

8,97	8,64	9,33	8,88	9,31	8,06	8,95
8,13	8,96	8,55	9,01	8,12	8,79	9,29
8,18	8,88	8,58	8,95	8,21	8,66	9,23
8,88	8,77	8,06	8,13	8,88	8,55	8,64
8,93	8,69	8,09	8,07	8,97	8,42	8,58
8,89	8,71	8,14	7,99	9,00	8,51	8,45
8,98	8,58	8,08	9,02	8,81	8,97	8,88
9,03	8,50	8,11	8,96	8,90	8,84	8,82
8,97	8,46	8,13	8,91	8,95	8,76	8,76
9,00	8,40	8,22	8,78	8,64	8,66	8,59
8,59	8,71	9,43	8,61	8,57	8,94	8,18
9,02	8,65	8,81	8,66	8,99	8,86	8,12
8,98	8,13	8,83	8,62	8,94	8,88	8,51
8,75	8,09	8,59	8,64	8,99	8,83	8,60
8,77	8,64					

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 100 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 33,9 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-50 Datos de la práctica para el caudal 17

Geometría del tanque		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]

Datos de la práctica		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Lectura inicial mira (L_i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L_f) =	22,50	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-51 Obtención de la media y desviación

N° de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	8,97	0,29	0,09
2	8,13	-0,55	0,30
3	8,18	-0,50	0,25
4	8,88	0,20	0,04
5	8,93	0,25	0,06
6	8,89	0,21	0,05
7	8,98	0,30	0,09
8	9,03	0,35	0,12
9	8,97	0,29	0,09
10	9,00	0,32	0,10
11	8,64	-0,04	0,00
12	8,96	0,28	0,08
13	8,88	0,20	0,04
14	8,77	0,09	0,01
15	8,69	0,01	0,00
16	8,71	0,03	0,00
17	8,58	-0,10	0,01
18	8,50	-0,18	0,03
19	8,46	-0,22	0,05

20	8,40	-0,28	0,08
21	9,33	0,65	0,43
22	8,55	-0,13	0,02
23	8,58	-0,10	0,01
24	8,06	-0,62	0,38
25	8,09	-0,59	0,34
26	8,14	-0,54	0,29
27	8,08	-0,60	0,36
28	8,11	-0,57	0,32
29	8,13	-0,55	0,30
30	8,22	-0,46	0,21
31	8,88	0,20	0,04
32	9,01	0,33	0,11
33	8,95	0,27	0,07
34	8,13	-0,55	0,30
35	8,07	-0,61	0,37
36	7,99	-0,69	0,47
37	9,02	0,34	0,12
38	8,96	0,28	0,08
39	8,91	0,23	0,05
40	8,78	0,10	0,01
41	9,31	0,63	0,40
42	8,12	-0,56	0,31
43	8,21	-0,47	0,22
44	8,88	0,20	0,04
45	8,97	0,29	0,09
46	9,00	0,32	0,10
47	8,81	0,13	0,02
48	8,90	0,22	0,05
49	8,95	0,27	0,07
50	8,64	-0,04	0,00
51	8,06	-0,62	0,38
52	8,79	0,11	0,01
53	8,66	-0,02	0,00
54	8,55	-0,13	0,02
55	8,42	-0,26	0,07
56	8,51	-0,17	0,03
57	8,97	0,29	0,09
58	8,84	0,16	0,03
59	8,76	0,08	0,01
60	8,66	-0,02	0,00

61	8,95	0,27	0,07
62	9,29	0,61	0,38
63	9,23	0,55	0,31
64	8,64	-0,04	0,00
65	8,58	-0,10	0,01
66	8,45	-0,23	0,05
67	8,88	0,20	0,04
68	8,82	0,14	0,02
69	8,76	0,08	0,01
70	8,59	-0,09	0,01
71	8,59	-0,09	0,01
72	9,02	0,34	0,12
73	8,98	0,30	0,09
74	8,75	0,07	0,01
75	8,71	0,03	0,00
76	8,65	-0,03	0,00
77	8,13	-0,55	0,30
78	8,09	-0,59	0,34
79	8,18	-0,50	0,25
80	8,12	-0,56	0,31
81	9,43	0,75	0,57
82	8,81	0,13	0,02
83	8,83	0,15	0,02
84	8,59	-0,09	0,01
85	8,61	-0,07	0,00
86	8,66	-0,02	0,00
87	8,62	-0,06	0,00
88	8,64	-0,04	0,00
89	8,51	-0,17	0,03
90	8,60	-0,08	0,01
91	8,57	-0,11	0,01
92	8,99	0,31	0,10
93	8,94	0,26	0,07
94	8,99	0,31	0,10
95	8,94	0,26	0,07

96	8,86	0,18	0,03
97	8,88	0,20	0,04
98	8,83	0,15	0,02
99	8,77	0,09	0,01
100	8,64	-0,04	0,00
Sumatoria	867,67		11,13
Media	8,68		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{867,67}{100}$$

$$\bar{t} = 8,68 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{11,13}{100 \cdot (100-1)}}$$

$$E_a = 0,034 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 8,68 \text{ s} \pm 0,034 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 8,64 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,034}{8,68}$$

$$E_r = 0,0039$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{t} \cdot 100 = 0,0039 \cdot 100$$

$$E_p = 0,39 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V/t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0347 \text{ m}^3/\text{s} = 34,71 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta *H*, por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,15 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación *H/D* en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,250$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D.

Método de la tabla.

$$H/D = 0,250 \rightarrow \phi = 0,203 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,203 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,60$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,60$$

$$\phi = 0,203 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,034 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 34,02 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0345 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 34,57 \text{ l/s}$$

Caudal N°18

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-52 Tiempos cronometrados en segundos para Q₁₈

18,35	17,95	17,99	19,20	21,15	18,27	18,13
18,16	18,21	17,76	18,88	21,16	18,33	18,19
18,23	18,26	17,80	18,81	21,12	18,40	18,26
17,76	18,88	21,16	18,87	18,27	18,13	18,30
17,83	18,93	21,20	18,80	19,06	19,00	18,37
17,87	18,86	21,16	18,87	19,15	19,13	18,11
18,13	19,03	18,35	17,95	19,08	19,09	18,88
18,21	17,76	21,16	18,76	18,27	18,13	18,95
18,13	17,72	21,23	18,83	19,32	18,19	19,08
18,35	17,95	17,99	17,95	19,25	18,15	19,12
18,30	18,32	18,22	18,64	20,49	17,92	20,64
18,39	18,39	18,35	18,69	20,23	17,96	20,57
18,36	21,16	18,42	18,75	20,16	18,03	18,89
18,35	20,90	17,95	18,82	17,99	18,08	18,85
18,13	18,20					

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 100 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 16,3 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-53 Datos de la práctica para el caudal 18

Geometría del tanque		
Indicador	Valor	Unidad
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
Indicador	Valor	Unidad
Lectura inicial mira (L _i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L _f) =	17,70	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-54 Obtención de la media y desviación

Nº de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	18,35	-0,44	0,20
2	18,16	-0,63	0,40
3	18,23	-0,56	0,32
4	17,76	-1,03	1,07
5	17,83	-0,96	0,93
6	17,87	-0,92	0,86
7	18,13	-0,66	0,44
8	18,21	-0,58	0,34
9	18,13	-0,66	0,44
10	18,35	-0,44	0,20
11	17,95	-0,84	0,71
12	18,21	-0,58	0,34
13	18,26	-0,53	0,29
14	18,88	0,09	0,01
15	18,93	0,14	0,02
16	18,86	0,07	0,00
17	19,03	0,24	0,06
18	17,76	-1,03	1,07
19	17,72	-1,07	1,16
20	17,95	-0,84	0,71
21	17,99	-0,80	0,65
22	17,76	-1,03	1,07
23	17,80	-0,99	0,99
24	21,16	2,37	5,59
25	21,20	2,41	5,78
26	21,16	2,37	5,59
27	18,35	-0,44	0,20
28	21,16	2,37	5,59
29	21,23	2,44	5,93
30	17,99	-0,80	0,65
31	19,20	0,41	0,16
32	18,88	0,09	0,01
33	18,81	0,02	0,00
34	18,87	0,08	0,01

35	18,80	0,01	0,00
36	18,87	0,08	0,01
37	17,95	-0,84	0,71
38	18,76	-0,03	0,00
39	18,83	0,04	0,00
40	17,95	-0,84	0,71
41	21,15	2,36	5,55
42	21,16	2,37	5,59
43	21,12	2,33	5,41
44	18,27	-0,52	0,28
45	19,06	0,27	0,07
46	19,15	0,36	0,13
47	19,08	0,29	0,08
48	18,27	-0,52	0,28
49	19,32	0,53	0,28
50	19,25	0,46	0,21
51	18,27	-0,52	0,28
52	18,33	-0,46	0,22
53	18,40	-0,39	0,16
54	18,13	-0,66	0,44
55	19,00	0,21	0,04
56	19,13	0,34	0,11
57	19,09	0,30	0,09
58	18,13	-0,66	0,44
59	18,19	-0,60	0,37
60	18,15	-0,64	0,42
61	18,13	-0,66	0,44
62	18,19	-0,60	0,37
63	18,26	-0,53	0,29
64	18,30	-0,49	0,24
65	18,37	-0,42	0,18
66	18,11	-0,68	0,47
67	18,88	0,09	0,01
68	18,95	0,16	0,02
69	19,08	0,29	0,08
70	19,12	0,33	0,11
71	18,30	-0,49	0,24
72	18,39	-0,40	0,16
73	18,36	-0,43	0,19
74	18,35	-0,44	0,20
75	18,32	-0,47	0,23

76	18,39	-0,40	0,16
77	21,16	2,37	5,59
78	20,90	2,11	4,43
79	20,64	1,85	3,40
80	20,57	1,78	3,15
81	18,22	-0,57	0,33
82	18,35	-0,44	0,20
83	18,42	-0,37	0,14
84	17,95	-0,84	0,71
85	18,64	-0,15	0,02
86	18,69	-0,10	0,01
87	18,75	-0,04	0,00
88	18,82	0,03	0,00
89	18,89	0,10	0,01
90	18,85	0,06	0,00
91	20,49	1,70	2,87
92	20,23	1,44	2,06
93	20,16	1,37	1,86
94	17,99	-0,80	0,65
95	17,92	-0,87	0,77
96	17,96	-0,83	0,70
97	18,03	-0,76	0,58
98	18,08	-0,71	0,51
99	18,13	-0,66	0,44
100	18,20	-0,59	0,35
Sumatoria	1879,48		95,85
Media	18,79		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{1879,48}{100}$$

$$\bar{t} = 18,79 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{95,85}{100 \cdot (100-1)}}$$

$$E_a = 0,098 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 18,79 \text{ s} \pm 0,098 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 18,89 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{t} = \frac{0,098}{18,79}$$

$$E_r = 0,0052$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{t} \cdot 100 = 0,0052 \cdot 100$$

$$E_p = 0,52 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0158 \text{ m}^3/\text{s} = 15,88 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = Lf - Li$$

$$H = 0,102 \text{ m}$$

Lf = lectura de la mira mecánica final

Li = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,170$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,170 \rightarrow \phi = 0,097 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,096 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,62$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,62$$

$$\phi = 0,096 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0164 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 16,43 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0172 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 17,22 \text{ l/s}$$

Caudal N°19

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-55 Tiempos cronometrados en segundos para Q₁₉

14,39	15,23	14,98	15,63	16,04	14,69	15,64
14,77	14,83	14,96	15,75	16,18	14,89	15,21
14,85	14,91	15,04	14,23	16,10	14,97	15,13
14,90	15,94	15,09	14,28	16,15	15,02	15,18
14,98	14,76	14,96	15,75	14,78	14,89	15,21
14,33	14,57	15,04	14,05	15,81	14,81	14,00
14,89	15,21	14,30	14,13	15,89	14,73	13,92
14,94	15,26	14,35	14,18	15,94	14,78	13,97
15,02	15,75	16,18	14,89	15,99	14,83	14,39
14,83	15,83	16,10	14,81	15,21	14,91	14,96
14,98	15,46	15,29	16,06	16,57	16,48	15,23
14,30	14,77	16,01	14,83	16,59	14,96	15,75
14,38	14,82	16,09	14,88	16,51	15,01	14,98
14,43	15,75	16,14	16,18	16,56	14,89	15,55
14,81	14,89					

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 100 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 19,8 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-56 Datos de la práctica para el caudal 19

Geometría del tanque		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Lectura inicial mira (L_i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L_f) =	18,75	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-57 Obtención de la media y desviación

N° de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	14,39	-0,77	0,60
2	14,77	-0,39	0,15
3	14,85	-0,31	0,10
4	14,90	-0,26	0,07
5	14,98	-0,18	0,03
6	14,33	-0,83	0,69
7	14,89	-0,27	0,07
8	14,94	-0,22	0,05
9	15,02	-0,14	0,02
10	14,83	-0,33	0,11
11	15,23	0,07	0,00
12	14,83	-0,33	0,11
13	14,91	-0,25	0,06
14	15,94	0,78	0,60
15	14,76	-0,40	0,16
16	14,57	-0,59	0,35
17	15,21	0,05	0,00
18	15,26	0,10	0,01

19	15,75	0,59	0,35
20	15,83	0,67	0,45
21	14,98	-0,18	0,03
22	14,96	-0,20	0,04
23	15,04	-0,12	0,02
24	15,09	-0,07	0,01
25	14,96	-0,20	0,04
26	15,04	-0,12	0,02
27	14,30	-0,86	0,74
28	14,35	-0,81	0,66
29	16,18	1,02	1,04
30	16,10	0,94	0,88
31	15,63	0,47	0,22
32	15,75	0,59	0,35
33	14,23	-0,93	0,87
34	14,28	-0,88	0,78
35	15,75	0,59	0,35
36	14,05	-1,11	1,24
37	14,13	-1,03	1,07
38	14,18	-0,98	0,97
39	14,89	-0,27	0,07
40	14,81	-0,35	0,12
41	16,04	0,88	0,77
42	16,18	1,02	1,04
43	16,10	0,94	0,88
44	16,15	0,99	0,97
45	14,78	-0,38	0,15
46	15,81	0,65	0,42
47	15,89	0,73	0,53
48	15,94	0,78	0,60
49	15,99	0,83	0,68
50	15,21	0,05	0,00
51	14,69	-0,47	0,22
52	14,89	-0,27	0,07
53	14,97	-0,19	0,04
54	15,02	-0,14	0,02
55	14,89	-0,27	0,07
56	14,81	-0,35	0,12
57	14,73	-0,43	0,19
58	14,78	-0,38	0,15
59	14,83	-0,33	0,11

60	14,91	-0,25	0,06
61	15,64	0,48	0,23
62	15,21	0,05	0,00
63	15,13	-0,03	0,00
64	15,18	0,02	0,00
65	15,21	0,05	0,00
66	14,00	-1,16	1,35
67	13,92	-1,24	1,54
68	13,97	-1,19	1,42
69	14,39	-0,77	0,60
70	14,96	-0,20	0,04
71	14,98	-0,18	0,03
72	14,30	-0,86	0,74
73	14,38	-0,78	0,61
74	14,43	-0,73	0,54
75	15,46	0,30	0,09
76	14,77	-0,39	0,15
77	14,82	-0,34	0,12
78	15,75	0,59	0,35
79	15,23	0,07	0,00
80	15,75	0,59	0,35
81	15,29	0,13	0,02
82	16,01	0,85	0,72
83	16,09	0,93	0,86
84	16,14	0,98	0,96
85	16,06	0,90	0,81
86	14,83	-0,33	0,11
87	14,88	-0,28	0,08
88	16,18	1,02	1,04
89	14,98	-0,18	0,03
90	15,55	0,39	0,15
91	16,57	1,41	1,98
92	16,59	1,43	2,04
93	16,51	1,35	1,82
94	16,56	1,40	1,95
95	16,48	1,32	1,74
96	14,96	-0,20	0,04

97	15,01	-0,15	0,02
98	14,89	-0,27	0,07
99	14,81	-0,35	0,12
100	14,89	-0,27	0,07
Sumatoria	1516,26		43,39
Media	15,16		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{1516,26}{100}$$

$$\bar{t} = 15,16 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{43,39}{100 \cdot (100-1)}}$$

$$E_a = 0,066 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 15,16 \text{ s} \pm 0,066 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 15,23 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,066}{15,16}$$

$$E_r = 0,0044$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{t} \cdot 100 = 0,0044 \cdot 100$$

$$E_p = 0,44 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V/t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0197 \text{ m}^3/\text{s} = 19,70 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta *H*, por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,112 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación *H/D* en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,188$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D.

Método de la tabla.

$$H/D = 0,188 \rightarrow \phi = 0,117 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,116 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,61$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,61$$

$$\phi = 0,116 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0197 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 19,76 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0205 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 20,56 \text{ l/s}$$

Caudal N°20

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-58 Tiempos cronometrados en segundos para Q₂₀

9,07	9,48	9,67	9,26	9,23	9,56	9,68
9,73	10,11	9,93	9,53	9,72	9,00	9,65
9,79	10,05	9,27	9,59	9,80	9,02	9,68
9,82	9,56	9,68	9,76	10,11	9,35	9,53
9,88	9,50	9,02	9,35	10,19	9,37	9,56
9,84	9,56	9,08	9,43	9,23	9,56	9,68
9,16	8,89	9,17	9,20	8,57	10,11	9,93
9,14	8,74	9,48	9,26	8,65	10,13	9,98
9,93	9,69	9,53	9,72	8,71	8,99	10,06
9,87	9,03	9,23	9,56	9,04	8,93	9,40
10,17	9,68	9,69	9,98	9,07	9,72	9,23
9,66	9,25	9,65	9,32	9,13	9,78	8,95
9,75	9,69	9,70	9,37	9,16	9,80	9,56
9,59	9,72	9,93	9,68	9,69	9,74	9,43
9,83	9,93					

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 100 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 31,5 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-59 Datos de la práctica para el caudal 20

Geometría del tanque		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]

Datos de la práctica		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Lectura inicial mira (L_i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L_f) =	21,90	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-60 Obtención de la media y desviación

N° de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	9,07	-0,45	0,20
2	9,73	0,21	0,04
3	9,79	0,27	0,07
4	9,82	0,30	0,09
5	9,88	0,36	0,13
6	9,84	0,32	0,10
7	9,16	-0,36	0,13
8	9,14	-0,38	0,14
9	9,93	0,41	0,17
10	9,87	0,35	0,12
11	9,48	-0,04	0,00
12	10,11	0,59	0,35
13	10,05	0,53	0,28
14	9,56	0,04	0,00
15	9,50	-0,02	0,00
16	9,56	0,04	0,00
17	8,89	-0,63	0,39
18	8,74	-0,78	0,61
19	9,69	0,17	0,03
20	9,03	-0,49	0,24
21	9,67	0,15	0,02
22	9,93	0,41	0,17
23	9,27	-0,25	0,06
24	9,68	0,16	0,03
25	9,02	-0,50	0,25
26	9,08	-0,44	0,19
27	9,17	-0,35	0,12
28	9,48	-0,04	0,00
29	9,53	0,01	0,00
30	9,23	-0,29	0,08
31	9,26	-0,26	0,07
32	9,53	0,01	0,00
33	9,59	0,07	0,01
34	9,76	0,24	0,06

35	9,35	-0,17	0,03
36	9,43	-0,09	0,01
37	9,20	-0,32	0,10
38	9,26	-0,26	0,07
39	9,72	0,20	0,04
40	9,56	0,04	0,00
41	9,23	-0,29	0,08
42	9,72	0,20	0,04
43	9,80	0,28	0,08
44	10,11	0,59	0,35
45	10,19	0,67	0,45
46	9,23	-0,29	0,08
47	8,57	-0,95	0,90
48	8,65	-0,87	0,75
49	8,71	-0,81	0,65
50	9,04	-0,48	0,23
51	9,56	0,04	0,00
52	9,00	-0,52	0,27
53	9,02	-0,50	0,25
54	9,35	-0,17	0,03
55	9,37	-0,15	0,02
56	9,56	0,04	0,00
57	10,11	0,59	0,35
58	10,13	0,61	0,37
59	8,99	-0,53	0,28
60	8,93	-0,59	0,35
61	9,68	0,16	0,03
62	9,65	0,13	0,02
63	9,68	0,16	0,03
64	9,53	0,01	0,00
65	9,56	0,04	0,00
66	9,68	0,16	0,03
67	9,93	0,41	0,17
68	9,98	0,46	0,21
69	10,06	0,54	0,29
70	9,40	-0,12	0,01
71	10,17	0,65	0,42
72	9,66	0,14	0,02
73	9,75	0,23	0,05
74	9,59	0,07	0,01
75	9,68	0,16	0,03

76	9,25	-0,27	0,07
77	9,69	0,17	0,03
78	9,72	0,20	0,04
79	9,23	-0,29	0,08
80	8,95	-0,57	0,32
81	9,69	0,17	0,03
82	9,65	0,13	0,02
83	9,70	0,18	0,03
84	9,93	0,41	0,17
85	9,98	0,46	0,21
86	9,32	-0,20	0,04
87	9,37	-0,15	0,02
88	9,68	0,16	0,03
89	9,56	0,04	0,00
90	9,43	-0,09	0,01
91	9,07	-0,45	0,20
92	9,13	-0,39	0,15
93	9,16	-0,36	0,13
94	9,69	0,17	0,03
95	9,72	0,20	0,04
96	9,78	0,26	0,07
97	9,80	0,28	0,08
98	9,74	0,22	0,05
99	9,83	0,31	0,10
100	9,93	0,41	0,17
Sumatoria	951,83		13,40
Media	9,52		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{951,83}{100}$$

$$\bar{t} = 9,52 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{13,40}{100 \cdot (100-1)}}$$

$$E_a = 0,037 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 9,52 \text{ s} \pm 0,037 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 9,56 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{t} = \frac{0,037}{9,52}$$

$$E_r = 0,0039$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{t} \cdot 100 = 0,0039 \cdot 100$$

$$E_p = 0,39 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0314 \text{ m}^3/\text{s} = 31,40 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = Lf - Li$$

$$H = 0,144 \text{ m}$$

Lf = lectura de la mira mecánica final

Li = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,240$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,240 \rightarrow \phi = 0,188 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,187 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,60$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,60$$

$$\phi = 0,187 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0314 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 31,49 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0321 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 32,11 \text{ l/s}$$

Caudal N°21

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-61 Tiempos cronometrados en segundos para Q₂₁

8,50	8,19	8,12	8,30	7,98	8,87	8,20
8,25	8,75	8,16	8,65	8,89	7,95	8,15
8,69	8,80	8,78	8,70	8,48	8,73	8,20
8,76	8,73	8,83	8,68	8,56	8,68	8,55
8,81	8,65	8,86	7,95	8,77	8,34	8,60
8,87	8,96	8,81	8,53	8,22	8,39	8,65
7,95	8,88	8,65	8,79	7,95	8,44	8,70
8,20	8,81	8,70	8,45	8,73	8,49	8,75
8,81	8,86	8,75	8,38	8,78	8,47	8,83
8,73	8,65	8,96	8,15	8,19	8,81	8,88
8,81	8,36	8,32	8,88	8,62	8,65	8,36
8,34	8,29	8,47	8,93	8,52	8,57	8,41
8,39	8,34	8,52	8,98	8,57	8,62	8,67
8,31	7,95	8,59	8,74	8,64	8,67	8,72
8,72	8,65					

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 100 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 34,9 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-62 Datos de la práctica para el caudal 21

Geometría del tanque		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Lectura inicial mira (L_i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L_f) =	22,70	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-63 Obtención de la media y desviación

N° de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	8,50	-0,06	0,00
2	8,25	-0,31	0,10
3	8,69	0,13	0,02
4	8,76	0,20	0,04
5	8,81	0,25	0,06
6	8,87	0,31	0,10
7	7,95	-0,61	0,37
8	8,20	-0,36	0,13
9	8,81	0,25	0,06
10	8,73	0,17	0,03
11	8,19	-0,37	0,14
12	8,75	0,19	0,04
13	8,80	0,24	0,06
14	8,73	0,17	0,03
15	8,65	0,09	0,01
16	8,96	0,40	0,16
17	8,88	0,32	0,10
18	8,81	0,25	0,06

19	8,86	0,30	0,09
20	8,65	0,09	0,01
21	8,12	-0,44	0,19
22	8,16	-0,40	0,16
23	8,78	0,22	0,05
24	8,83	0,27	0,07
25	8,86	0,30	0,09
26	8,81	0,25	0,06
27	8,65	0,09	0,01
28	8,70	0,14	0,02
29	8,75	0,19	0,04
30	8,96	0,40	0,16
31	8,30	-0,26	0,07
32	8,65	0,09	0,01
33	8,70	0,14	0,02
34	8,68	0,12	0,01
35	7,95	-0,61	0,37
36	8,53	-0,03	0,00
37	8,79	0,23	0,05
38	8,45	-0,11	0,01
39	8,38	-0,18	0,03
40	8,15	-0,41	0,17
41	7,98	-0,58	0,34
42	8,89	0,33	0,11
43	8,48	-0,08	0,01
44	8,56	0,00	0,00
45	8,77	0,21	0,04
46	8,22	-0,34	0,11
47	7,95	-0,61	0,37
48	8,73	0,17	0,03
49	8,78	0,22	0,05
50	8,19	-0,37	0,14
51	8,87	0,31	0,10
52	7,95	-0,61	0,37
53	8,73	0,17	0,03
54	8,68	0,12	0,01
55	8,34	-0,22	0,05
56	8,39	-0,17	0,03
57	8,44	-0,12	0,01
58	8,49	-0,07	0,00
59	8,47	-0,09	0,01

60	8,81	0,25	0,06
61	8,20	-0,36	0,13
62	8,15	-0,41	0,17
63	8,20	-0,36	0,13
64	8,55	-0,01	0,00
65	8,60	0,04	0,00
66	8,65	0,09	0,01
67	8,70	0,14	0,02
68	8,75	0,19	0,04
69	8,83	0,27	0,07
70	8,88	0,32	0,10
71	8,81	0,25	0,06
72	8,34	-0,22	0,05
73	8,39	-0,17	0,03
74	8,31	-0,25	0,06
75	8,36	-0,20	0,04
76	8,29	-0,27	0,07
77	8,34	-0,22	0,05
78	7,95	-0,61	0,37
79	8,36	-0,20	0,04
80	8,41	-0,15	0,02
81	8,32	-0,24	0,06
82	8,47	-0,09	0,01
83	8,52	-0,04	0,00
84	8,59	0,03	0,00
85	8,88	0,32	0,10
86	8,93	0,37	0,14
87	8,98	0,42	0,18
88	8,74	0,18	0,03
89	8,67	0,11	0,01
90	8,72	0,16	0,03
91	8,62	0,06	0,00
92	8,52	-0,04	0,00
93	8,57	0,01	0,00
94	8,64	0,08	0,01
95	8,65	0,09	0,01
96	8,57	0,01	0,00

97	8,62	0,06	0,00
98	8,67	0,11	0,01
99	8,72	0,16	0,03
100	8,65	0,09	0,01
Sumatoria	855,89		7,16
Media	8,56		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{855,89}{100}$$

$$\bar{t} = 8,56 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{7,16}{100 \cdot (100-1)}}$$

$$E_a = 0,027 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 8,56 \text{ s} \pm 0,027 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 8,53 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,027}{8,56}$$

$$E_r = 0,0031$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{t} \cdot 100 = 0,0031 \cdot 100$$

$$E_p = 0,31 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V/t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0351 \text{ m}^3/\text{s} = 35,16 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H, por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,152 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,253$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D.

Método de la tabla.

$$H/D = 0,253 \rightarrow \phi = 0,208 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,208 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,60$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,60$$

$$\phi = 0,208 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0348 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 34,88 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0354 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 35,41 \text{ l/s}$$

Caudal N°22

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-64 Tiempos cronometrados en segundos para Q₂₂

7,26	7,98	8,04	8,42	8,05	8,76	7,78
8,25	7,79	8,16	8,25	8,89	7,95	8,15
8,32	7,84	7,89	8,30	8,48	8,73	8,20
8,39	7,77	7,87	8,16	8,56	8,37	8,43
8,44	8,13	8,23	7,95	8,77	8,34	7,89
7,99	8,06	8,32	8,53	8,22	8,39	7,94
7,58	7,98	8,65	8,24	7,95	8,44	7,99
8,20	8,31	8,05	8,45	8,42	8,49	8,04
8,03	8,36	8,10	8,38	8,47	8,47	8,12
7,95	8,35	8,13	8,15	8,19	8,46	8,17
7,70	8,36	8,02	8,35	8,11	8,24	8,36
8,34	8,29	8,21	8,12	7,87	8,16	8,41
8,39	8,34	8,26	8,17	7,92	8,21	8,27
8,31	7,95	8,33	8,34	7,99	8,26	8,32
8,31	8,24					

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 100 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 36,6 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-65 Datos de la práctica para el caudal 22

Geometría del tanque		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Lectura inicial mira (L_i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L_f) =	23,10	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-66 Obtención de la media y desviación

N° de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	7,26	-0,95	0,89
2	8,25	0,04	0,00
3	8,32	0,11	0,01
4	8,39	0,18	0,03
5	8,44	0,23	0,06
6	7,99	-0,22	0,05
7	7,58	-0,63	0,39
8	8,20	-0,01	0,00
9	8,03	-0,18	0,03
10	7,95	-0,26	0,07
11	7,98	-0,23	0,05
12	7,79	-0,42	0,17
13	7,84	-0,37	0,13
14	7,77	-0,44	0,19
15	8,13	-0,08	0,01
16	8,06	-0,15	0,02
17	7,98	-0,23	0,05
18	8,31	0,10	0,01
19	8,36	0,15	0,02
20	8,35	0,14	0,02
21	8,04	-0,17	0,03
22	8,16	-0,05	0,00
23	7,89	-0,32	0,10
24	7,87	-0,34	0,11
25	8,23	0,02	0,00
26	8,32	0,11	0,01
27	8,65	0,44	0,20
28	8,05	-0,16	0,02
29	8,10	-0,11	0,01
30	8,13	-0,08	0,01
31	8,42	0,21	0,05
32	8,25	0,04	0,00
33	8,30	0,09	0,01
34	8,16	-0,05	0,00

35	7,95	-0,26	0,07
36	8,53	0,32	0,11
37	8,24	0,03	0,00
38	8,45	0,24	0,06
39	8,38	0,17	0,03
40	8,15	-0,06	0,00
41	8,05	-0,16	0,02
42	8,89	0,68	0,47
43	8,48	0,27	0,08
44	8,56	0,35	0,13
45	8,77	0,56	0,32
46	8,22	0,01	0,00
47	7,95	-0,26	0,07
48	8,42	0,21	0,05
49	8,47	0,26	0,07
50	8,19	-0,02	0,00
51	8,76	0,55	0,31
52	7,95	-0,26	0,07
53	8,73	0,52	0,28
54	8,37	0,16	0,03
55	8,34	0,13	0,02
56	8,39	0,18	0,03
57	8,44	0,23	0,06
58	8,49	0,28	0,08
59	8,47	0,26	0,07
60	8,46	0,25	0,06
61	7,78	-0,43	0,18
62	8,15	-0,06	0,00
63	8,20	-0,01	0,00
64	8,43	0,22	0,05
65	7,89	-0,32	0,10
66	7,94	-0,27	0,07
67	7,99	-0,22	0,05
68	8,04	-0,17	0,03
69	8,12	-0,09	0,01
70	8,17	-0,04	0,00
71	7,70	-0,51	0,26
72	8,34	0,13	0,02
73	8,39	0,18	0,03
74	8,31	0,10	0,01
75	8,36	0,15	0,02

76	8,29	0,08	0,01
77	8,34	0,13	0,02
78	7,95	-0,26	0,07
79	8,36	0,15	0,02
80	8,41	0,20	0,04
81	8,02	-0,19	0,03
82	8,21	0,00	0,00
83	8,26	0,05	0,00
84	8,33	0,12	0,02
85	8,35	0,14	0,02
86	8,12	-0,09	0,01
87	8,17	-0,04	0,00
88	8,34	0,13	0,02
89	8,27	0,06	0,00
90	8,32	0,11	0,01
91	8,11	-0,10	0,01
92	7,87	-0,34	0,11
93	7,92	-0,29	0,08
94	7,99	-0,22	0,05
95	8,24	0,03	0,00
96	8,16	-0,05	0,00
97	8,21	0,00	0,00
98	8,26	0,05	0,00
99	8,31	0,10	0,01
100	8,24	0,03	0,00
Sumatoria	820,51		6,59
Media	8,21		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{820,51}{100}$$

$$\bar{t} = 8,21 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{6,59}{100 \cdot (100-1)}}$$

$$E_a = 0,026 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 8,21 \text{ s} \pm 0,026 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 8,23 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{t} = \frac{0,026}{8,21}$$

$$E_r = 0,0031$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{t} \cdot 100 = 0,0031 \cdot 100$$

$$E_p = 0,31 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0364 \text{ m}^3/\text{s} = 36,45 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = Lf - Li$$

$$H = 0,156 \text{ m}$$

Lf = lectura de la mira mecánica final

Li = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,260$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,260 \rightarrow \phi = 0,219 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,219 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,60$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,60$$

$$\phi = 0,219 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0366 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 36,64 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0371 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 37,11 \text{ l/s}$$

Caudal N°23

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-67 Tiempos cronometrados en segundos para Q₂₃

7,26	7,98	8,04	8,42	8,05	8,76	7,78
8,25	7,79	8,16	8,25	8,89	7,95	8,15
8,32	7,84	7,89	8,30	8,48	8,73	8,20
8,39	7,77	7,87	8,16	8,56	8,37	8,43
8,44	8,13	8,23	7,95	8,77	8,34	7,89
7,99	8,06	8,32	8,53	8,22	8,39	7,94
7,58	7,98	8,65	8,24	7,95	8,44	7,99
8,20	8,31	8,05	8,45	8,42	8,49	8,04
8,03	8,36	8,10	8,38	8,47	8,47	8,12
7,95	8,35	8,13	8,15	8,19	8,46	8,17
7,70	8,36	8,02	8,35	8,11	8,24	8,36
8,34	8,29	8,21	8,12	7,87	8,16	8,41
8,39	8,34	8,26	8,17	7,92	8,21	8,27
8,31	7,95	8,33	8,34	7,99	8,26	8,32
8,31	8,24					

Elaboración: Propio

Se obtuvieron una cantidad de 100 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 37,5 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-68 Datos de la práctica para el caudal 23

Geometría del tanque		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]

Datos de la práctica		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Lectura inicial mira (L_i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L_f) =	23,25	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-69 Obtención de la media y desviación

N° de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	8,32	0,34	0,12
2	7,95	-0,03	0,00
3	8,21	0,23	0,05
4	8,17	0,19	0,04
5	8,06	0,08	0,01
6	8,09	0,11	0,01
7	7,91	-0,07	0,00
8	8,23	0,25	0,06
9	8,43	0,45	0,20
10	7,98	0,00	0,00
11	8,14	0,16	0,03
12	8,16	0,18	0,03
13	8,12	0,14	0,02
14	7,89	-0,09	0,01
15	8,24	0,26	0,07
16	8,31	0,33	0,11
17	7,96	-0,02	0,00
18	8,01	0,03	0,00

19	7,85	-0,13	0,02
20	7,93	-0,05	0,00
21	8,09	0,11	0,01
22	8,54	0,56	0,31
23	8,10	0,12	0,01
24	8,13	0,15	0,02
25	7,79	-0,19	0,04
26	8,32	0,34	0,12
27	7,85	-0,13	0,02
28	7,88	-0,10	0,01
29	7,93	-0,05	0,00
30	8,00	0,02	0,00
31	8,32	0,34	0,12
32	7,80	-0,18	0,03
33	7,96	-0,02	0,00
34	8,03	0,05	0,00
35	8,01	0,03	0,00
36	8,06	0,08	0,01
37	7,93	-0,05	0,00
38	7,93	-0,05	0,00
39	7,87	-0,11	0,01
40	8,04	0,06	0,00
41	8,08	0,10	0,01
42	8,23	0,25	0,06
43	7,85	-0,13	0,02
44	7,80	-0,18	0,03
45	7,96	-0,02	0,00
46	7,99	0,01	0,00
47	8,15	0,17	0,03
48	8,20	0,22	0,05
49	8,10	0,12	0,01
50	7,73	-0,25	0,06
51	8,42	0,44	0,19
52	6,67	-1,31	1,72
53	7,93	-0,05	0,00
54	8,21	0,23	0,05
55	7,85	-0,13	0,02
56	7,92	-0,06	0,00
57	7,85	-0,13	0,02
58	8,16	0,18	0,03
59	8,04	0,06	0,00

60	7,79	-0,19	0,04
61	7,85	-0,13	0,02
62	7,78	-0,20	0,04
63	7,73	-0,25	0,06
64	8,46	0,48	0,23
65	7,93	-0,05	0,00
66	7,96	-0,02	0,00
67	7,93	-0,05	0,00
68	7,96	-0,02	0,00
69	7,91	-0,07	0,00
70	7,83	-0,15	0,02
71	7,70	-0,28	0,08
72	8,29	0,31	0,10
73	7,79	-0,19	0,04
74	7,69	-0,29	0,08
75	7,52	-0,46	0,21
76	7,59	-0,39	0,15
77	8,13	0,15	0,02
78	7,91	-0,07	0,00
79	8,34	0,36	0,13
80	7,96	-0,02	0,00
81	8,02	0,04	0,00
82	8,04	0,06	0,00
83	7,83	-0,15	0,02
84	8,32	0,34	0,12
85	7,80	-0,18	0,03
86	8,04	0,06	0,00
87	7,97	-0,01	0,00
88	7,99	0,01	0,00
89	7,83	-0,15	0,02
90	7,85	-0,13	0,02
91	7,65	-0,33	0,11
92	7,63	-0,35	0,12
93	7,79	-0,19	0,04
94	7,69	-0,29	0,08
95	8,02	0,04	0,00
96	8,29	0,31	0,10

97	7,83	-0,15	0,02
98	7,85	-0,13	0,02
99	7,96	-0,02	0,00
100	7,93	-0,05	0,00
Sumatoria	798,06		5,76
Media	7,98		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{798,06}{100}$$

$$\bar{t} = 7,98 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{5,76}{100 \cdot (100-1)}}$$

$$E_a = 0,024 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 7,98 \text{ s} \pm 0,024 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 7,96 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,024}{7,98}$$

$$E_r = 0,0030$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{t} \cdot 100 = 0,0030 \cdot 100$$

$$E_p = 0,30 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V/t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0377 \text{ m}^3/\text{s} = 37,71 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta *H*, por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,157 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación *H/D* en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,263$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D.

Método de la tabla.

$$H/D = 0,263 \rightarrow \phi = 0,223 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,223 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,60$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,60$$

$$\phi = 0,223 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0373 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 37,31 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0377 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 37,76 \text{ l/s}$$

Caudal N°24

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-70 Tiempos cronometrados en segundos para Q₂₄

5,98	5,70	6,65	5,97	6,57	6,42	6,33
7,35	5,71	7,19	6,74	7,08	6,23	6,19
7,07	7,47	6,99	6,74	6,82	5,89	7,56
5,71	7,19	6,74	6,43	6,56	6,74	6,82
6,74	6,30	5,89	6,74	6,82	5,89	6,37
6,99	6,49	6,46	5,89	6,74	6,82	5,89
6,99	6,93	6,23	6,19	6,35	6,74	6,82
6,82	6,23	6,19	6,69	7,19	6,74	5,89
6,74	6,58	6,71	6,71	6,32	5,89	6,74
5,97	6,57	6,42	7,03	6,39	5,96	6,48
6,04	6,64	6,49	7,10	5,89	6,74	5,89
6,48	7,19	6,99	6,82	6,23	6,99	6,60
6,15	7,10	7,19	6,74	5,89	7,56	6,82
6,82	5,89	6,99	6,82	7,56	6,74	6,90
5,89	6,74	6,82	6,32	6,99	6,99	6,99
6,74	6,92	6,74	6,58	6,82		

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 110 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 45,6 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-71 Datos de la práctica para el caudal 24

Geometría del tanque		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Lectura inicial mira (L_i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L_f) =	25,00	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-72 Obtención de la media y desviación

Nº de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	5,98	-0,61	0,38
2	7,35	0,76	0,57
3	7,07	0,48	0,23
4	5,71	-0,88	0,78
5	6,74	0,15	0,02
6	6,99	0,40	0,16
7	6,99	0,40	0,16
8	6,82	0,23	0,05
9	6,74	0,15	0,02
10	5,97	-0,62	0,39
11	6,04	-0,55	0,31
12	5,70	-0,89	0,80
13	5,71	-0,88	0,78
14	7,47	0,88	0,77
15	7,19	0,60	0,36
16	6,30	-0,29	0,09
17	6,49	-0,10	0,01
18	6,93	0,34	0,11
19	6,23	-0,36	0,13
20	6,58	-0,01	0,00
21	6,57	-0,02	0,00
22	6,64	0,05	0,00
23	6,65	0,06	0,00
24	7,19	0,60	0,36
25	6,99	0,40	0,16
26	6,74	0,15	0,02
27	5,89	-0,70	0,49
28	6,46	-0,13	0,02
29	6,23	-0,36	0,13
30	6,19	-0,40	0,16
31	6,71	0,12	0,01
32	6,42	-0,17	0,03
33	6,49	-0,10	0,01
34	5,97	-0,62	0,39

35	6,74	0,15	0,02
36	6,74	0,15	0,02
37	6,43	-0,16	0,03
38	6,74	0,15	0,02
39	5,89	-0,70	0,49
40	6,19	-0,40	0,16
41	6,69	0,10	0,01
42	6,71	0,12	0,01
43	7,03	0,44	0,19
44	7,10	0,51	0,26
45	6,57	-0,02	0,00
46	7,08	0,49	0,24
47	6,82	0,23	0,05
48	6,56	-0,03	0,00
49	6,82	0,23	0,05
50	6,74	0,15	0,02
51	6,35	-0,24	0,06
52	7,19	0,60	0,36
53	6,32	-0,27	0,07
54	6,39	-0,20	0,04
55	5,89	-0,70	0,49
56	6,42	-0,17	0,03
57	6,23	-0,36	0,13
58	5,89	-0,70	0,49
59	6,74	0,15	0,02
60	5,89	-0,70	0,49
61	6,82	0,23	0,05
62	6,74	0,15	0,02
63	6,74	0,15	0,02
64	5,89	-0,70	0,49
65	5,96	-0,63	0,40
66	6,74	0,15	0,02
67	6,33	-0,26	0,07
68	6,19	-0,40	0,16
69	7,56	0,97	0,94
70	6,82	0,23	0,05
71	6,37	-0,22	0,05
72	5,89	-0,70	0,49
73	6,82	0,23	0,05
74	5,89	-0,70	0,49
75	6,74	0,15	0,02

76	6,48	-0,11	0,01
77	5,89	-0,70	0,49
78	6,48	-0,11	0,01
79	6,15	-0,44	0,20
80	6,82	0,23	0,05
81	5,89	-0,70	0,49
82	7,19	0,60	0,36
83	7,10	0,51	0,26
84	5,89	-0,70	0,49
85	6,74	0,15	0,02
86	6,74	0,15	0,02
87	6,92	0,33	0,11
88	6,60	0,01	0,00
89	6,99	0,40	0,16
90	7,19	0,60	0,36
91	6,99	0,40	0,16
92	6,82	0,23	0,05
93	6,74	0,15	0,02
94	6,82	0,23	0,05
95	6,74	0,15	0,02
96	6,82	0,23	0,05
97	6,32	-0,27	0,07
98	6,58	-0,01	0,00
99	6,82	0,23	0,05
100	6,23	-0,36	0,13
101	5,89	-0,70	0,49
102	7,56	0,97	0,94
103	6,99	0,40	0,16
104	6,82	0,23	0,05
105	6,99	0,40	0,16
106	7,56	0,97	0,94
107	6,74	0,15	0,02
108	6,99	0,40	0,16
109	6,90	0,31	0,09
110	6,99	0,40	0,16
Sumatoria	725,18		21,82
Media	6,59		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{725,18}{110}$$

$$\bar{t} = 6,59 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{21,82}{110 \cdot (110-1)}}$$

$$E_a = 0,043 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 6,59 \text{ s} \pm 0,043 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 6,64 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,043}{6,59}$$

$$E_r = 0,0065$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100 = 0,0065 \cdot 100$$

$$E_p = 0,65 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

$a =$ lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0452 \text{ m}^3/\text{s} = 45,21 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,175 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,292$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,292 \rightarrow \phi = 0,273 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,273 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,60$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,60$$

$$\phi = 0,273 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0455 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 45,54 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0456 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 45,68 \text{ l/s}$$

Caudal N°25

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-73 Tiempos cronometrados en segundos para Q₂₅

12,61	12,25	12,62	12,24	12,48	12,61	11,96
12,76	12,16	12,60	12,69	12,42	12,22	12,92
11,92	12,16	11,84	12,49	12,23	12,33	12,55
12,74	12,65	12,63	12,52	12,26	12,34	12,35
12,16	12,75	12,69	12,42	12,92	12,22	12,55
12,16	12,37	12,63	12,52	12,26	12,34	12,92
12,63	12,52	12,22	12,11	12,22	12,34	11,92
12,22	12,92	12,33	12,55	11,99	12,16	12,69
12,65	12,63	12,52	12,49	12,23	12,04	12,55
12,16	11,84	13,52	12,69	12,42	12,33	12,55
12,22	12,26	12,34	11,84	12,49	12,23	12,33
13,25	12,34	12,57	12,35	12,62	12,53	12,55
12,22	12,16	12,55	11,84	12,47	11,84	12,42
11,99	12,23	12,30	12,33	12,43	12,55	12,52
12,53	11,99	12,35	12,52	12,53	12,26	12,92
12,47	11,78	12,49	12,30	12,23		

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 110 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 24,2 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-74 Datos de la práctica para el caudal 25

Geometría del tanque		
Indicador	Valor	Unidad
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
Indicador	Valor	Unidad
Lectura inicial mira (L _i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L _f) =	20,00	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-75 Obtención de la media y desviación

Nº de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	12,61	0,21	0,04
2	12,76	0,36	0,13
3	11,92	-0,48	0,23
4	12,74	0,34	0,12
5	12,16	-0,24	0,06
6	12,16	-0,24	0,06
7	12,63	0,23	0,05
8	12,22	-0,18	0,03
9	12,65	0,25	0,06
10	12,16	-0,24	0,06
11	12,22	-0,18	0,03
12	12,25	-0,15	0,02
13	12,16	-0,24	0,06
14	12,16	-0,24	0,06
15	12,65	0,25	0,06
16	12,75	0,35	0,12
17	12,37	-0,03	0,00
18	12,52	0,12	0,01
19	12,92	0,52	0,27
20	12,63	0,23	0,05
21	11,84	-0,56	0,31
22	12,26	-0,14	0,02
23	12,62	0,22	0,05
24	12,60	0,20	0,04
25	11,84	-0,56	0,31
26	12,63	0,23	0,05
27	12,69	0,29	0,08
28	12,63	0,23	0,05
29	12,22	-0,18	0,03
30	12,33	-0,07	0,00
31	12,52	0,12	0,01
32	13,52	1,12	1,25
33	12,34	-0,06	0,00
34	12,24	-0,16	0,03

35	12,69	0,29	0,08
36	12,49	0,09	0,01
37	12,52	0,12	0,01
38	12,42	0,02	0,00
39	12,52	0,12	0,01
40	12,11	-0,29	0,08
41	12,55	0,15	0,02
42	12,49	0,09	0,01
43	12,69	0,29	0,08
44	11,84	-0,56	0,31
45	12,48	0,08	0,01
46	12,42	0,02	0,00
47	12,23	-0,17	0,03
48	12,26	-0,14	0,02
49	12,92	0,52	0,27
50	12,26	-0,14	0,02
51	12,22	-0,18	0,03
52	11,99	-0,41	0,17
53	12,23	-0,17	0,03
54	12,42	0,02	0,00
55	12,49	0,09	0,01
56	12,61	0,21	0,04
57	12,22	-0,18	0,03
58	12,33	-0,07	0,00
59	12,34	-0,06	0,00
60	12,22	-0,18	0,03
61	12,34	-0,06	0,00
62	12,34	-0,06	0,00
63	12,16	-0,24	0,06
64	12,04	-0,36	0,13
65	12,33	-0,07	0,00
66	12,23	-0,17	0,03
67	11,96	-0,44	0,19
68	12,92	0,52	0,27
69	12,55	0,15	0,02
70	12,35	-0,05	0,00
71	12,55	0,15	0,02
72	12,92	0,52	0,27
73	11,92	-0,48	0,23
74	12,69	0,29	0,08
75	12,55	0,15	0,02

76	12,55	0,15	0,02
77	12,33	-0,07	0,00
78	13,25	0,85	0,72
79	12,22	-0,18	0,03
80	11,99	-0,41	0,17
81	12,53	0,13	0,02
82	12,47	0,07	0,00
83	12,34	-0,06	0,00
84	12,16	-0,24	0,06
85	12,23	-0,17	0,03
86	11,99	-0,41	0,17
87	11,78	-0,62	0,38
88	12,55	0,15	0,02
89	12,57	0,17	0,03
90	12,55	0,15	0,02
91	12,30	-0,10	0,01
92	12,35	-0,05	0,00
93	12,49	0,09	0,01
94	12,35	-0,05	0,00
95	11,84	-0,56	0,31
96	12,33	-0,07	0,00
97	12,52	0,12	0,01
98	12,30	-0,10	0,01
99	12,42	0,02	0,00
100	12,62	0,22	0,05
101	12,47	0,07	0,00
102	12,43	0,03	0,00
103	12,53	0,13	0,02
104	12,23	-0,17	0,03
105	12,53	0,13	0,02
106	11,84	-0,56	0,31
107	12,55	0,15	0,02
108	12,26	-0,14	0,02
109	12,52	0,12	0,01
110	12,92	0,52	0,27
Sumatoria	1364,04		9,29
Media	12,40		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{1364,04}{110}$$

$$\bar{t} = 12,40 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{9,29}{110 \cdot (110-1)}}$$

$$E_a = 0,028 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 12,40 \text{ s} \pm 0,028 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 12,43 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,028}{12,40}$$

$$E_r = 0,0022$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100 = 0,0022 \cdot 100$$

$$E_p = 0,22 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0241 \text{ m}^3/\text{s} = 24,14 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,125 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,208$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,208 \rightarrow \phi = 0,143 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,142 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,61$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,61$$

$$\phi = 0,142 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0241 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 24,10 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0248 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 24,87 \text{ l/s}$$

Caudal N°26

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-76 Tiempos cronometrados en segundos para Q₂₆

12,36	12,00	12,37	11,99	12,23	12,36	11,71
12,51	11,91	12,35	12,44	12,17	11,97	12,67
11,67	11,91	11,59	12,24	11,98	12,08	12,30
12,49	12,40	12,38	12,27	12,01	12,09	12,10
11,91	12,53	12,44	12,17	12,67	11,97	12,30
11,91	12,38	12,38	12,27	12,01	12,09	12,67
12,38	12,27	11,97	11,86	11,97	12,09	11,67
11,97	12,67	12,08	12,30	11,74	11,91	13,27
12,40	12,38	12,27	12,24	11,98	11,79	12,30
11,91	11,59	13,27	12,44	12,17	12,08	12,30
11,97	12,01	12,09	11,59	12,24	11,98	12,08
12,43	12,09	12,32	12,10	12,37	12,28	12,30
11,97	11,91	12,30	11,59	12,22	11,59	12,17
11,74	11,98	12,05	12,08	12,18	12,30	12,27
12,28	11,74	12,10	12,27	12,28	12,01	12,67
12,22	11,53	12,24	12,05	11,98		

Elaboración: Propio

Se obtuvieron una cantidad de 110 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 24,6 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-77 Datos de la práctica para el caudal 26

Geometría del tanque		
Indicador	Valor	Unidad
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
Indicador	Valor	Unidad
Lectura inicial mira (L _i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L _f) =	20,15	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-78 Obtención de la media y desviación

Nº de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	12,36	0,20	0,04
2	12,51	0,35	0,13
3	11,67	-0,49	0,24
4	12,49	0,33	0,11
5	11,91	-0,25	0,06
6	11,91	-0,25	0,06
7	12,38	0,22	0,05
8	11,97	-0,19	0,03
9	12,40	0,24	0,06
10	11,91	-0,25	0,06
11	11,97	-0,19	0,03
12	12,00	-0,16	0,02
13	11,91	-0,25	0,06
14	11,91	-0,25	0,06
15	12,40	0,24	0,06
16	12,53	0,37	0,14
17	12,38	0,22	0,05
18	12,27	0,11	0,01
19	12,67	0,51	0,26
20	12,38	0,22	0,05
21	11,59	-0,57	0,32
22	12,01	-0,15	0,02
23	12,37	0,21	0,05
24	12,35	0,19	0,04
25	11,59	-0,57	0,32
26	12,38	0,22	0,05
27	12,44	0,28	0,08
28	12,38	0,22	0,05
29	11,97	-0,19	0,03
30	12,08	-0,08	0,01
31	12,27	0,11	0,01
32	13,27	1,11	1,24
33	12,09	-0,07	0,00
34	11,99	-0,17	0,03

35	12,44	0,28	0,08
36	12,24	0,08	0,01
37	12,27	0,11	0,01
38	12,17	0,01	0,00
39	12,27	0,11	0,01
40	11,86	-0,30	0,09
41	12,30	0,14	0,02
42	12,24	0,08	0,01
43	12,44	0,28	0,08
44	11,59	-0,57	0,32
45	12,23	0,07	0,01
46	12,17	0,01	0,00
47	11,98	-0,18	0,03
48	12,01	-0,15	0,02
49	12,67	0,51	0,26
50	12,01	-0,15	0,02
51	11,97	-0,19	0,03
52	11,74	-0,42	0,17
53	11,98	-0,18	0,03
54	12,17	0,01	0,00
55	12,24	0,08	0,01
56	12,36	0,20	0,04
57	11,97	-0,19	0,03
58	12,08	-0,08	0,01
59	12,09	-0,07	0,00
60	11,97	-0,19	0,03
61	12,09	-0,07	0,00
62	12,09	-0,07	0,00
63	11,91	-0,25	0,06
64	11,79	-0,37	0,13
65	12,08	-0,08	0,01
66	11,98	-0,18	0,03
67	11,71	-0,45	0,20
68	12,67	0,51	0,26
69	12,30	0,14	0,02
70	12,10	-0,06	0,00
71	12,30	0,14	0,02
72	12,67	0,51	0,26
73	11,67	-0,49	0,24
74	13,27	1,11	1,24
75	12,30	0,14	0,02

76	12,30	0,14	0,02
77	12,08	-0,08	0,01
78	12,43	0,27	0,08
79	11,97	-0,19	0,03
80	11,74	-0,42	0,17
81	12,28	0,12	0,02
82	12,22	0,06	0,00
83	12,09	-0,07	0,00
84	11,91	-0,25	0,06
85	11,98	-0,18	0,03
86	11,74	-0,42	0,17
87	11,53	-0,63	0,39
88	12,30	0,14	0,02
89	12,32	0,16	0,03
90	12,30	0,14	0,02
91	12,05	-0,11	0,01
92	12,10	-0,06	0,00
93	12,24	0,08	0,01
94	12,10	-0,06	0,00
95	11,59	-0,57	0,32
96	12,08	-0,08	0,01
97	12,27	0,11	0,01
98	12,05	-0,11	0,01
99	12,17	0,01	0,00
100	12,37	0,21	0,05
101	12,22	0,06	0,00
102	12,18	0,02	0,00
103	12,28	0,12	0,02
104	11,98	-0,18	0,03
105	12,28	0,12	0,02
106	11,59	-0,57	0,32
107	12,30	0,14	0,02
108	12,01	-0,15	0,02
109	12,27	0,11	0,01
110	12,67	0,51	0,26
Sumatoria	1337,09		9,89
Media	12,16		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{1337,09}{110}$$

$$\bar{t} = 12,16 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{9,89}{110 \cdot (110-1)}}$$

$$E_a = 0,029 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 12,16 \text{ s} \pm 0,029 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 12,18 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,029}{12,16}$$

$$E_r = 0,0024$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100 = 0,0024 \cdot 100$$

$$E_p = 0,24 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0246 \text{ m}^3/\text{s} = 24,62 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,126 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,211$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,211 \rightarrow \phi = 0,146 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,146 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,61$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,61$$

$$\phi = 0,146 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0246 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 24,65 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0254 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 25,41 \text{ l/s}$$

Caudal N°27

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-79 Tiempos cronometrados en segundos para Q₂₇

19,46	19,28	18,62	19,21	18,87	18,89	19,61
19,26	19,45	19,41	19,01	19,02	19,20	19,43
19,36	19,48	19,25	19,57	19,73	19,28	19,53
19,64	19,65	19,61	19,74	19,69	19,35	19,28
19,21	19,41	19,36	19,48	19,25	19,04	18,96
19,25	19,57	19,73	19,28	19,48	19,53	19,54
19,61	19,74	19,69	19,35	19,43	19,25	19,61
19,21	19,54	19,28	19,48	19,56	19,65	19,41
19,15	19,36	19,48	19,43	19,25	19,54	19,73
19,34	19,28	19,69	19,35	19,28	19,57	19,12
19,16	18,89	19,14	19,16	19,00	19,07	18,79
19,52	19,43	19,13	19,25	19,44	19,48	19,14
19,54	19,74	19,43	19,69	19,25	19,25	19,16
19,48	19,06	19,56	19,20	19,57	19,20	19,42
19,03	19,43					

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 100 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 15,6 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-80 Datos de la práctica para el caudal 27

Geometría del tanque		
Indicador	Valor	Unidad
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
Indicador	Valor	Unidad
Lectura inicial mira (L _i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L _f) =	17,45	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-81 Obtención de la media y desviación

Nº de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	19,46	0,10	0,01
2	19,26	-0,10	0,01
3	19,36	0,00	0,00
4	19,64	0,28	0,08
5	19,21	-0,15	0,02
6	19,25	-0,11	0,01
7	19,61	0,25	0,06
8	19,21	-0,15	0,02
9	19,15	-0,21	0,04
10	19,34	-0,02	0,00
11	19,28	-0,08	0,01
12	19,45	0,09	0,01
13	19,48	0,12	0,01
14	19,65	0,29	0,08
15	19,41	0,05	0,00
16	19,57	0,21	0,04
17	19,74	0,38	0,14
18	19,54	0,18	0,03
19	19,36	0,00	0,00
20	19,28	-0,08	0,01
21	18,62	-0,74	0,55
22	19,41	0,05	0,00
23	19,25	-0,11	0,01
24	19,61	0,25	0,06
25	19,36	0,00	0,00
26	19,73	0,37	0,14
27	19,69	0,33	0,11
28	19,28	-0,08	0,01
29	19,48	0,12	0,01
30	19,69	0,33	0,11
31	19,21	-0,15	0,02
32	19,01	-0,35	0,12
33	19,57	0,21	0,04
34	19,74	0,38	0,14

35	19,48	0,12	0,01
36	19,28	-0,08	0,01
37	19,35	-0,01	0,00
38	19,48	0,12	0,01
39	19,43	0,07	0,00
40	19,35	-0,01	0,00
41	18,87	-0,49	0,24
42	19,02	-0,34	0,12
43	19,73	0,37	0,14
44	19,69	0,33	0,11
45	19,25	-0,11	0,01
46	19,48	0,12	0,01
47	19,43	0,07	0,00
48	19,56	0,20	0,04
49	19,25	-0,11	0,01
50	19,28	-0,08	0,01
51	18,89	-0,47	0,22
52	19,20	-0,16	0,03
53	19,28	-0,08	0,01
54	19,35	-0,01	0,00
55	19,04	-0,32	0,10
56	19,53	0,17	0,03
57	19,25	-0,11	0,01
58	19,65	0,29	0,08
59	19,54	0,18	0,03
60	19,57	0,21	0,04
61	19,61	0,25	0,06
62	19,43	0,07	0,00
63	19,53	0,17	0,03
64	19,28	-0,08	0,01
65	18,96	-0,40	0,16
66	19,54	0,18	0,03
67	19,61	0,25	0,06
68	19,41	0,05	0,00
69	19,73	0,37	0,14
70	19,12	-0,24	0,06
71	19,16	-0,20	0,04
72	19,52	0,16	0,03
73	19,54	0,18	0,03
74	19,48	0,12	0,01
75	18,89	-0,47	0,22

76	19,43	0,07	0,00
77	19,74	0,38	0,14
78	19,06	-0,30	0,09
79	18,79	-0,57	0,32
80	19,14	-0,22	0,05
81	19,14	-0,22	0,05
82	19,13	-0,23	0,05
83	19,43	0,07	0,00
84	19,56	0,20	0,04
85	19,16	-0,20	0,04
86	19,25	-0,11	0,01
87	19,69	0,33	0,11
88	19,20	-0,16	0,03
89	19,16	-0,20	0,04
90	19,42	0,06	0,00
91	19,00	-0,36	0,13
92	19,44	0,08	0,01
93	19,25	-0,11	0,01
94	19,57	0,21	0,04
95	19,07	-0,29	0,08
96	19,48	0,12	0,01
97	19,25	-0,11	0,01
98	19,20	-0,16	0,03
99	19,03	-0,33	0,11
100	19,43	0,07	0,00
Sumatoria	1935,96		5,55
Media	19,36		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{1935,96}{100}$$

$$\bar{t} = 19,36 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{5,55}{100 \cdot (100-1)}}$$

$$E_a = 0,024 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 19,36 \text{ s} \pm 0,024 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 19,34 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{t} = \frac{0,024}{19,36}$$

$$E_r = 0,0012$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{t} \cdot 100 = 0,0012 \cdot 100$$

$$E_p = 0,12 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0155 \text{ m}^3/\text{s} = 15,52 \text{ l/s}$$

$Q =$ caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = Lf - Li$$

$$H = 0,099 \text{ m}$$

$Lf =$ lectura de la mira mecánica final

$Li =$ lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,166$$

$H =$ Altura de carga sobre el vertedero

$D =$ diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,166 \rightarrow \phi = 0,092 \text{ m}^{1/2}/s$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,091 \text{ m}^{1/2}/s$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,62$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,62$$

$$\phi = 0,091 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0156 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 15,68 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0164 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 16,46 \text{ l/s}$$

Caudal N°28

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-82 Tiempos cronometrados en segundos para Q₂₈

17,96	18,30	17,87	18,65	18,05	18,00	17,66
17,11	18,09	17,94	18,75	18,10	17,86	17,57
17,36	17,76	17,87	17,96	17,63	17,85	17,56
17,93	17,56	17,58	17,63	17,85	17,56	18,75
17,56	17,65	17,56	17,86	17,57	17,57	17,93
17,62	17,73	17,54	17,56	18,75	17,37	17,88
17,57	17,68	17,49	17,96	18,70	18,05	17,83
17,65	17,86	17,86	17,57	17,58	17,56	18,75
17,60	17,55	17,81	17,52	17,53	17,51	18,70
17,56	17,65	19,47	17,86	17,56	18,75	17,58
17,44	17,56	18,09	17,58	19,12	17,76	17,51
17,93	17,51	17,56	17,53	17,65	17,71	17,63
17,67	17,46	17,74	17,48	17,73	17,66	18,70
17,36	17,56	17,86	18,75	17,57	17,63	17,85
17,58	17,93					

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 100 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 16,8 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-83 Datos de la práctica para el caudal 28

Geometría del tanque		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]

Datos de la práctica		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Lectura inicial mira (L_i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L_f) =	17,80	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-84 Obtención de la media y desviación

N° de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	17,96	0,13	0,02
2	17,11	-0,72	0,52
3	17,36	-0,47	0,22
4	17,93	0,10	0,01
5	17,56	-0,27	0,07
6	17,62	-0,21	0,04
7	17,57	-0,26	0,07
8	17,65	-0,18	0,03
9	17,60	-0,23	0,05
10	17,56	-0,27	0,07
11	18,30	0,47	0,22
12	18,09	0,26	0,07
13	17,76	-0,07	0,00
14	17,56	-0,27	0,07
15	17,65	-0,18	0,03
16	17,73	-0,10	0,01
17	17,68	-0,15	0,02
18	17,86	0,03	0,00

19	17,55	-0,28	0,08
20	17,65	-0,18	0,03
21	17,87	0,04	0,00
22	17,94	0,11	0,01
23	17,87	0,04	0,00
24	17,58	-0,25	0,06
25	17,56	-0,27	0,07
26	17,54	-0,29	0,08
27	17,49	-0,34	0,11
28	17,86	0,03	0,00
29	17,81	-0,02	0,00
30	19,47	1,64	2,70
31	18,65	0,82	0,68
32	18,75	0,92	0,85
33	17,96	0,13	0,02
34	17,63	-0,20	0,04
35	17,86	0,03	0,00
36	17,56	-0,27	0,07
37	17,96	0,13	0,02
38	17,57	-0,26	0,07
39	17,52	-0,31	0,09
40	17,86	0,03	0,00
41	18,05	0,22	0,05
42	18,10	0,27	0,07
43	17,63	-0,20	0,04
44	17,85	0,02	0,00
45	17,57	-0,26	0,07
46	18,75	0,92	0,85
47	18,70	0,87	0,76
48	17,58	-0,25	0,06
49	17,53	-0,30	0,09
50	17,56	-0,27	0,07
51	18,00	0,17	0,03
52	17,86	0,03	0,00
53	17,85	0,02	0,00
54	17,56	-0,27	0,07
55	17,57	-0,26	0,07
56	17,37	-0,46	0,21
57	18,05	0,22	0,05
58	17,56	-0,27	0,07
59	17,51	-0,32	0,10

60	18,75	0,92	0,85
61	17,66	-0,17	0,03
62	17,57	-0,26	0,07
63	17,56	-0,27	0,07
64	18,75	0,92	0,85
65	17,93	0,10	0,01
66	17,88	0,05	0,00
67	17,83	0,00	0,00
68	18,75	0,92	0,85
69	18,70	0,87	0,76
70	17,58	-0,25	0,06
71	17,44	-0,39	0,15
72	17,93	0,10	0,01
73	17,67	-0,16	0,02
74	17,36	-0,47	0,22
75	17,56	-0,27	0,07
76	17,51	-0,32	0,10
77	17,46	-0,37	0,14
78	17,56	-0,27	0,07
79	17,51	-0,32	0,10
80	17,63	-0,20	0,04
81	18,09	0,26	0,07
82	17,56	-0,27	0,07
83	17,74	-0,09	0,01
84	17,86	0,03	0,00
85	17,58	-0,25	0,06
86	17,53	-0,30	0,09
87	17,48	-0,35	0,12
88	18,75	0,92	0,85
89	18,70	0,87	0,76
90	17,85	0,02	0,00
91	19,12	1,29	1,67
92	17,65	-0,18	0,03
93	17,73	-0,10	0,01
94	17,57	-0,26	0,07
95	17,76	-0,07	0,00
96	17,71	-0,12	0,01
97	17,66	-0,17	0,03

98	17,63	-0,20	0,04
99	17,58	-0,25	0,06
100	17,93	0,10	0,01
Sumatoria	1782,78		17,63
Media	17,83		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{1782,78}{100}$$

$$\bar{t} = 17,83 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{17,63}{100 \cdot (100-1)}}$$

$$E_a = 0,042 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 17,83 \text{ s} \pm 0,042 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 17,87 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,042}{17,83}$$

$$E_r = 0,0024$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{t} \cdot 100 = 0,0024 \cdot 100$$

$$E_p = 0,24 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V/t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0167 \text{ m}^3/\text{s} = 16,79 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta *H*, por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,103 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación *H/D* en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,172$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D.

Método de la tabla.

$$H/D = 0,172 \rightarrow \phi = 0,099 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,098 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,61$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,61$$

$$\phi = 0,098 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0167 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 16,73 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0175 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 17,53 \text{ l/s}$$

Caudal N°29

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-85 Tiempos cronometrados en segundos para Q₂₉

5,68	5,40	6,35	5,67	6,27	6,12	6,03
7,05	5,41	6,89	6,44	6,78	5,93	5,89
6,77	7,17	6,69	6,44	6,52	5,59	7,26
5,41	6,89	6,44	6,13	6,26	6,44	6,52
6,44	6,00	5,59	6,44	6,52	5,59	6,07
6,69	6,19	6,16	5,59	6,44	6,52	5,59
6,69	6,63	5,93	5,89	6,05	6,44	6,52
6,52	5,93	5,89	6,39	6,89	6,44	5,59
6,44	6,28	6,41	6,41	6,02	5,59	6,44
5,67	6,27	6,12	6,73	6,09	5,66	6,18
5,74	6,34	6,19	6,80	5,59	6,44	5,59
6,18	6,80	6,69	6,52	5,93	6,69	6,30
5,85	5,59	6,89	6,44	5,59	7,26	6,52
6,52	6,44	6,69	6,52	7,26	6,44	6,60
5,59	6,44	6,52	6,02	6,69	6,69	6,69
6,89	6,62	6,44	6,28	6,52		

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 110 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 47,7 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-86 Datos de la práctica para el caudal 29

Geometría del tanque		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]

Datos de la práctica		
<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Lectura inicial mira (L_i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L_f) =	25,45	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-87 Obtención de la media y desviación

N° de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	5,68	-0,61	0,38
2	7,05	0,76	0,57
3	6,77	0,48	0,23
4	5,41	-0,88	0,78
5	6,44	0,15	0,02
6	6,69	0,40	0,16
7	6,69	0,40	0,16
8	6,52	0,23	0,05
9	6,44	0,15	0,02
10	5,67	-0,62	0,39
11	5,74	-0,55	0,31
12	5,40	-0,89	0,80
13	5,41	-0,88	0,78
14	7,17	0,88	0,77
15	6,89	0,60	0,36
16	6,00	-0,29	0,09
17	6,19	-0,10	0,01
18	6,63	0,34	0,11
19	5,93	-0,36	0,13
20	6,28	-0,01	0,00
21	6,27	-0,02	0,00
22	6,34	0,05	0,00
23	6,35	0,06	0,00
24	6,89	0,60	0,36
25	6,69	0,40	0,16
26	6,44	0,15	0,02
27	5,59	-0,70	0,49
28	6,16	-0,13	0,02
29	5,93	-0,36	0,13
30	5,89	-0,40	0,16
31	6,41	0,12	0,01
32	6,12	-0,17	0,03
33	6,19	-0,10	0,01
34	5,67	-0,62	0,39

35	6,44	0,15	0,02
36	6,44	0,15	0,02
37	6,13	-0,16	0,03
38	6,44	0,15	0,02
39	5,59	-0,70	0,49
40	5,89	-0,40	0,16
41	6,39	0,10	0,01
42	6,41	0,12	0,01
43	6,73	0,44	0,19
44	6,80	0,51	0,26
45	6,27	-0,02	0,00
46	6,78	0,49	0,24
47	6,52	0,23	0,05
48	6,26	-0,03	0,00
49	6,52	0,23	0,05
50	6,44	0,15	0,02
51	6,05	-0,24	0,06
52	6,89	0,60	0,36
53	6,02	-0,27	0,07
54	6,09	-0,20	0,04
55	5,59	-0,70	0,49
56	6,12	-0,17	0,03
57	5,93	-0,36	0,13
58	5,59	-0,70	0,49
59	6,44	0,15	0,02
60	5,59	-0,70	0,49
61	6,52	0,23	0,05
62	6,44	0,15	0,02
63	6,44	0,15	0,02
64	5,59	-0,70	0,49
65	5,66	-0,63	0,40
66	6,44	0,15	0,02
67	6,03	-0,26	0,07
68	5,89	-0,40	0,16
69	7,26	0,97	0,94
70	6,52	0,23	0,05
71	6,07	-0,22	0,05
72	5,59	-0,70	0,49
73	6,52	0,23	0,05
74	5,59	-0,70	0,49
75	6,44	0,15	0,02

76	6,18	-0,11	0,01
77	5,59	-0,70	0,49
78	6,18	-0,11	0,01
79	5,85	-0,44	0,20
80	6,52	0,23	0,05
81	5,59	-0,70	0,49
82	6,89	0,60	0,36
83	6,80	0,51	0,26
84	5,59	-0,70	0,49
85	6,44	0,15	0,02
86	6,44	0,15	0,02
87	6,62	0,33	0,11
88	6,30	0,01	0,00
89	6,69	0,40	0,16
90	6,89	0,60	0,36
91	6,69	0,40	0,16
92	6,52	0,23	0,05
93	6,44	0,15	0,02
94	6,52	0,23	0,05
95	6,44	0,15	0,02
96	6,52	0,23	0,05
97	6,02	-0,27	0,07
98	6,28	-0,01	0,00
99	6,52	0,23	0,05
100	5,93	-0,36	0,13
101	5,59	-0,70	0,49
102	7,26	0,97	0,94
103	6,69	0,40	0,16
104	6,52	0,23	0,05
105	6,69	0,40	0,16
106	7,26	0,97	0,94
107	6,44	0,15	0,02
108	6,69	0,40	0,16
109	6,60	0,31	0,09
110	6,69	0,40	0,16
Sumatoria	692,18		21,82
Media	6,29		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{692,18}{110}$$

$$\bar{t} = 6,29 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{21,82}{110 \cdot (110-1)}}$$

$$E_a = 0,043 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 6,29 \text{ s} \pm 0,043 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 6,34 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,043}{6,29}$$

$$E_r = 0,0068$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100 = 0,0068 \cdot 100$$

$$E_p = 0,68 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0473 \text{ m}^3/\text{s} = 47,35 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,179 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,299$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,299 \rightarrow \phi = 0,287 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,287 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,60$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,60$$

$$\phi = 0,287 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0477 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 47,77 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0478 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 47,82 \text{ l/s}$$

Caudal N°30

Se cronometraron los tiempos para una altura de 10 cm en el tanque.

Tabla 3-88 Tiempos cronometrados en segundos para Q₃₀

6,15	6,87	6,82	6,14	6,74	6,59	6,50
6,70	6,56	6,89	6,91	7,25	6,40	6,36
7,04	6,97	7,16	6,75	6,99	6,06	6,43
6,76	7,00	6,91	6,60	6,73	6,60	6,99
6,58	6,47	6,06	6,91	6,58	6,06	6,54
6,87	6,66	6,63	6,06	6,91	6,99	6,06
7,03	7,10	6,40	6,36	6,52	6,85	6,99
6,99	6,40	6,36	6,86	6,55	6,91	6,06
6,91	6,75	6,88	6,88	6,49	6,06	6,91
6,14	6,74	6,59	7,20	6,56	6,13	6,65
6,21	6,81	6,66	7,27	6,06	6,91	6,06
6,65	6,75	6,59	6,87	6,40	7,16	6,77
6,32	6,06	6,87	6,91	6,06	6,75	6,99
6,99	6,56	6,74	6,64	6,67	6,91	7,07
6,06	6,91	6,99	6,49	7,16	6,77	7,16
6,69	7,09	6,75	6,75	6,75		

Elaboración: Propia

Se obtuvieron una cantidad de 110 datos para la siguiente práctica.

Se registró un caudal según el caudalímetro en la bomba el cual está en litros segundo:

$$Q = 44,4 \text{ l/s}$$

Según la tabla 2,2 se debe tener todos los datos en la siguiente tabla para la práctica:

Tabla 3-89 Datos de la práctica para el caudal 30

Geometría del tanque		
Indicador	Valor	Unidad
Largo del tanque (b) =	2,00	[m]
Ancho del tanque (a) =	1,50	[m]
Altura del tanque (h) =	0,10	[m]
Datos de la práctica		
Indicador	Valor	Unidad
Lectura inicial mira (L _i) =	7,50	[cm]
Lectura final mira (L _f) =	24,80	[cm]
Paramento aguas arriba (P) =	0,30	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	1,00	[m]
Diametro del semicirculo (D) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

Aplicando las ecuaciones de teoría de errores se obtiene el tiempo, el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-90 Obtención de la media y desviación

Nº de mediciones	t (s)	$\delta = t - \bar{t}$ (s)	δ^2 (s ²)
1	6,15	-0,52	0,27
2	6,70	0,03	0,00
3	7,04	0,37	0,14
4	6,76	0,09	0,01
5	6,58	-0,09	0,01
6	6,87	0,20	0,04
7	7,03	0,36	0,13
8	6,99	0,32	0,10
9	6,91	0,24	0,06
10	6,14	-0,53	0,28
11	6,21	-0,46	0,21
12	6,87	0,20	0,04
13	6,56	-0,11	0,01
14	6,97	0,30	0,09
15	7,00	0,33	0,11
16	6,47	-0,20	0,04
17	6,66	-0,01	0,00
18	7,10	0,43	0,18
19	6,40	-0,27	0,07
20	6,75	0,08	0,01
21	6,74	0,07	0,00
22	6,81	0,14	0,02
23	6,82	0,15	0,02
24	6,89	0,22	0,05
25	7,16	0,49	0,24
26	6,91	0,24	0,06
27	6,06	-0,61	0,37
28	6,63	-0,04	0,00
29	6,40	-0,27	0,07
30	6,36	-0,31	0,10
31	6,88	0,21	0,04
32	6,59	-0,08	0,01
33	6,66	-0,01	0,00
34	6,14	-0,53	0,28

35	6,91	0,24	0,06
36	6,75	0,08	0,01
37	6,60	-0,07	0,01
38	6,91	0,24	0,06
39	6,06	-0,61	0,37
40	6,36	-0,31	0,10
41	6,86	0,19	0,04
42	6,88	0,21	0,04
43	7,20	0,53	0,28
44	7,27	0,60	0,36
45	6,74	0,07	0,00
46	7,25	0,58	0,34
47	6,99	0,32	0,10
48	6,73	0,06	0,00
49	6,58	-0,09	0,01
50	6,91	0,24	0,06
51	6,52	-0,15	0,02
52	6,55	-0,12	0,01
53	6,49	-0,18	0,03
54	6,56	-0,11	0,01
55	6,06	-0,61	0,37
56	6,59	-0,08	0,01
57	6,40	-0,27	0,07
58	6,06	-0,61	0,37
59	6,60	-0,07	0,01
60	6,06	-0,61	0,37
61	6,99	0,32	0,10
62	6,85	0,18	0,03
63	6,91	0,24	0,06
64	6,06	-0,61	0,37
65	6,13	-0,54	0,29
66	6,91	0,24	0,06
67	6,50	-0,17	0,03
68	6,36	-0,31	0,10
69	6,43	-0,24	0,06
70	6,99	0,32	0,10
71	6,54	-0,13	0,02
72	6,06	-0,61	0,37
73	6,99	0,32	0,10
74	6,06	-0,61	0,37
75	6,91	0,24	0,06

76	6,65	-0,02	0,00
77	6,06	-0,61	0,37
78	6,65	-0,02	0,00
79	6,32	-0,35	0,12
80	6,99	0,32	0,10
81	6,06	-0,61	0,37
82	6,69	0,02	0,00
83	6,75	0,08	0,01
84	6,06	-0,61	0,37
85	6,56	-0,11	0,01
86	6,91	0,24	0,06
87	7,09	0,42	0,18
88	6,77	0,10	0,01
89	6,59	-0,08	0,01
90	6,87	0,20	0,04
91	6,74	0,07	0,00
92	6,99	0,32	0,10
93	6,75	0,08	0,01
94	6,87	0,20	0,04
95	6,91	0,24	0,06
96	6,64	-0,03	0,00
97	6,49	-0,18	0,03
98	6,75	0,08	0,01
99	6,99	0,32	0,10
100	6,40	-0,27	0,07
101	6,06	-0,61	0,37
102	6,67	0,00	0,00
103	7,16	0,49	0,24
104	6,75	0,08	0,01
105	7,16	0,49	0,24
106	6,75	0,08	0,01
107	6,91	0,24	0,06
108	6,77	0,10	0,01
109	7,07	0,40	0,16
110	7,16	0,49	0,24
Sumatoria	733,80		11,71
Media	6,67		

Elaboración: Propia

Estimación del valor medio

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{N} = \frac{733,80}{110}$$

$$\bar{t} = 6,67 \text{ s}$$

Estimación del error accidental del tiempo E_a

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{11,71}{110 \cdot (110-1)}}$$

$$E_a = 0,031 \text{ s}$$

Error sistemático del cronometro es: 0,005 s

Para hallar el error en la práctica se debe tomar el mayor valor del error accidental y el error del cronometro.

Cálculo del valor verdadero del tiempo

$$t = 6,67 \text{ s} \pm 0,031 \text{ s}$$

Se suma y se resta el error obtenido al valor medio, luego se busca el valor más próximo de toda la serie de datos obtenida para el posterior cálculo del caudal el cual es:

$$t = 6,64 \text{ s}$$

Calculo del error relativo

$$E_r = \frac{E}{\bar{t}} = \frac{0,031}{6,67}$$

$$E_r = 0,0047$$

Calculo del error porcentual

$$E_p = E_r \cdot 100 = \frac{E}{\bar{t}} \cdot 100 = 0,0047 \cdot 100$$

$$E_p = 0,47 \%$$

Se calculará el volumen del tanque con las dimensiones y la altura de 10 cm, y el tiempo anteriormente calculado.

$$V = a \cdot b \cdot h$$

a = lado perpendicular al canal

b = lado paralelo al canal

h = altura del tanque para el tiempo cronometrado

$$V = 0,30 \text{ m}^3$$

$$Q = V / t$$

V = volumen del tanque

t = tiempo medio de los datos obtenidos

$$Q = 0,0451 \text{ m}^3/\text{s} = 45,18 \text{ l/s}$$

Q = caudal representada en metros cúbicos segundo y litros segundo.

Cálculo del caudal según fórmulas empíricas y expuestas en el presente trabajo:

Se obtiene la carga sobre la cresta H , por el medidor de niveles que se encuentra a lado lateral del canal, o se mide desde la base de la cresta hasta la altura del nivel de agua que surca el flujo.

$$H = L_f - L_i$$

$$H = 0,173 \text{ m}$$

L_f = lectura de la mira mecánica final

L_i = lectura de la mira mecánica inicial

Con el diámetro y la altura de carga se obtiene la relación H/D en cual nos permite obtener el valor característico de ϕ .

$$H/D = 0,288$$

H = Altura de carga sobre el vertedero

D = diámetro el vertedero semicircular

Para la obtención del valor característico se utilizó la ecuación 2-2 y la tabla 2-1, en la tabla no se tienen algunos valores los cuales se deberá interpolar y para la ecuación se utiliza cualquier valor obtenido de la relación H/D .

Método de la tabla.

$$H/D = 0,288 \rightarrow \phi = 0,267 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Método de la ecuación.

$$\phi = 3,203 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$\phi = 0,267 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Se observa los parámetros de las dos ecuaciones 2-30 y 2-31, el cual según las características se utilizará la ecuación 2-30.

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110H} + 0,041 \frac{H}{D}$$

$$C_d = 0,60$$

Teniendo todos los datos para el caudal se podrá realizar el cálculo y se representará en metros cúbicos segundo y litros segundo

$$C_d = 0,60$$

$$\phi = 0,267 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot \phi \cdot D^{5/2}$$

$$Q = 0,0445 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 44,56 \text{ l/s}$$

La ecuación típica de patronamiento, planteada por Azevedo y Acosta (1976) es:

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

$$Q = 0,0447 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 44,74 \text{ l/s}$$

Para poder calibrar la ecuación del vertedero se utilizará los caudales experimentales en litros segundo (l/s) y la altura de carga sobre el vertedero en centímetros (cm).

Tabla 3-91 Caudales y altura de carga

Q (l/s)	H (cm)
21,82	11,50
36,17	15,50
51,66	18,90
7,41	6,75
22,25	11,95
16,97	10,40
22,57	12,10
27,83	13,50
29,23	13,80
16,09	10,15
10,15	8,10
16,10	10,20

22,71	12,15
37,57	15,75
46,26	17,70
51,89	18,50
34,71	15,00
15,88	10,20
19,70	11,25
31,40	14,40
35,16	15,20
36,45	15,60
37,71	15,75
45,21	17,50
24,14	12,50
24,62	12,65
15,52	9,95
16,79	10,30
47,35	17,95
45,18	17,30

Elaboración: Propia

La ecuación para este tipo de medidores de caudal experimentalmente es del tipo exponencial, representada por:

$$Q = KH^n$$

Donde:

Q = Caudal

K = Constante de calibración

H = Carga hidráulica con relación a la cresta del vertedero

n = Exponente

En la cual se conoce los valores de **H** y se necesita encontrar los de **K** y **n**, los cuales se aplican logaritmos a la ecuación:

$$\log Q = \log K + n \log H$$

Sustituyendo en la ecuación de la recta:

$$Y = mX + b$$

Donde:

$$Y = \log Q$$

$$m = n$$

$$X = \log H$$

$$b = \log K$$

Aplicando logaritmos a los caudales Q y las alturas de carga H:

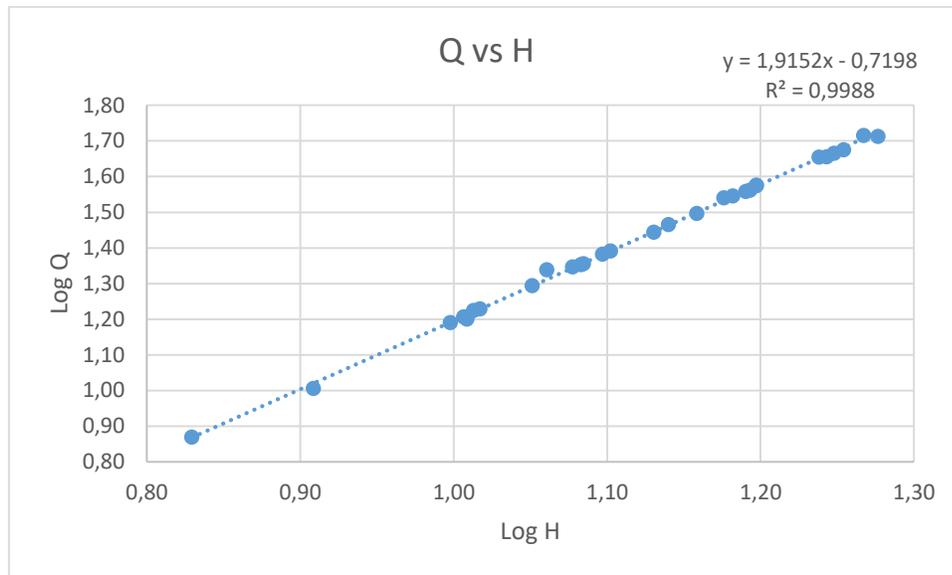
Tabla 3-92 Logaritmos de caudales y alturas de carga

Q (l/s)	Log Q	H (cm)	Log H
21,82	1,3390	11,50	1,0607
36,17	1,5584	15,50	1,1903
51,66	1,7131	18,90	1,2765
7,41	0,8701	6,75	0,8293
22,25	1,3473	11,95	1,0774
16,97	1,2296	10,40	1,0170
22,57	1,3536	12,10	1,0828
27,83	1,4445	13,50	1,1303
29,23	1,4658	13,80	1,1399
16,09	1,2066	10,15	1,0065
10,15	1,0063	8,10	0,9085
16,10	1,2067	10,20	1,0086
22,71	1,3563	12,15	1,0846
37,57	1,5748	15,75	1,1973
46,26	1,6652	17,70	1,2480
51,89	1,7151	18,50	1,2672
34,71	1,5404	15,00	1,1761
15,88	1,2008	10,20	1,0086
19,70	1,2945	11,25	1,0512
31,40	1,4969	14,40	1,1584
35,16	1,5461	15,20	1,1818
36,45	1,5617	15,60	1,1931
37,71	1,5764	15,75	1,1973
45,21	1,6553	17,50	1,2430
24,14	1,3827	12,50	1,0969
24,62	1,3913	12,65	1,1021
15,52	1,1908	9,95	0,9978
16,79	1,2250	10,30	1,0128
47,35	1,6754	17,95	1,2541
45,18	1,6550	17,30	1,2380

Elaboración: Propia

Luego de genera la gráfica de logaritmos, en el cual se agrega una línea de tendencia que brindará la ecuación de la recta, obteniendo de ella el valor de **n**.

Figura 3-1 Gráfica de logaritmos de caudales y carga hidráulica



Elaboración: Propia

De la ecuación de la recta:

$$n = 1,915$$

Entonces:

$$K = \log^{-1}(-$$

$$0,719) = 0,190$$

Al encontrar los valores de **K** y **n** se tiene la ecuación general específica para el vertedero semicircular estudiado

Ecuación de calibración

$$Q = 0,190 \cdot H^{1,915}$$

Dónde: Q (l/s), H (cm).

Y calculando caudales con la ecuación generada, se comparan con los reales experimentales.

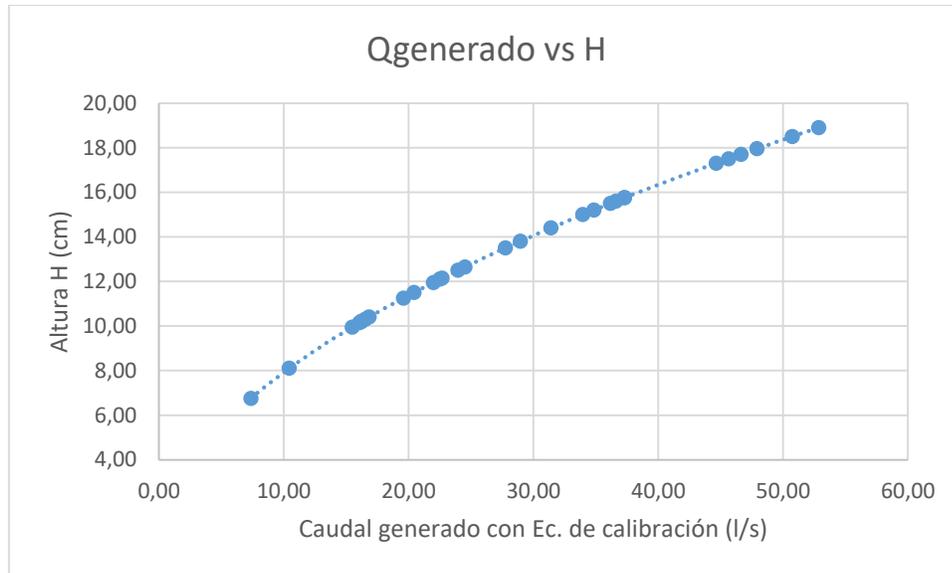
Tabla 3-93 Caudales generados con la ecuación de calibración

H (cm)	Q (l/s)	Qgenerado Ec. Calibrada (l/s)
11,50	21,82	20,42
15,50	36,17	36,16
18,90	51,66	52,87
6,75	7,41	7,36
11,95	22,25	21,97
10,40	16,97	16,84
12,10	22,57	22,51
13,50	27,83	27,76
13,80	29,23	28,95
10,15	16,09	16,07
8,10	10,15	10,44
10,20	16,10	16,23
12,15	22,71	22,68
15,75	37,57	37,29
17,70	46,26	46,63
18,50	51,89	50,74
15,00	34,71	33,96
10,20	15,88	16,23
11,25	19,70	19,58
14,40	31,40	31,41
15,20	35,16	34,83
15,60	36,45	36,61
15,75	37,71	37,29
17,50	45,21	45,62
12,50	24,14	23,95
12,65	24,62	24,51
9,95	15,52	15,47
10,30	16,79	16,53
17,95	47,35	47,89
17,30	45,18	44,63

Elaboración: Propia

Luego se grafica la curva de calibración para este vertedero:

Figura 3-2 Gráfica de curva de calibración



Elaboración: Propia

Calibración del coeficiente de descarga: para el vertedero semicircular de la fórmula de Azevedo y Acosta es la siguiente:

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

Donde:

$$Q = \text{m}^3/\text{s}, D = \text{m}, H = \text{m}$$

Realizando conversión:

$$Q = 0,01518D^{0,693}H^{1,807}$$

Donde:

$$Q = \text{l/s}, D = \text{cm}, H = \text{cm}$$

Sabiendo que:

$$= C_d Q_{\text{teórico}}$$

Q_{real}

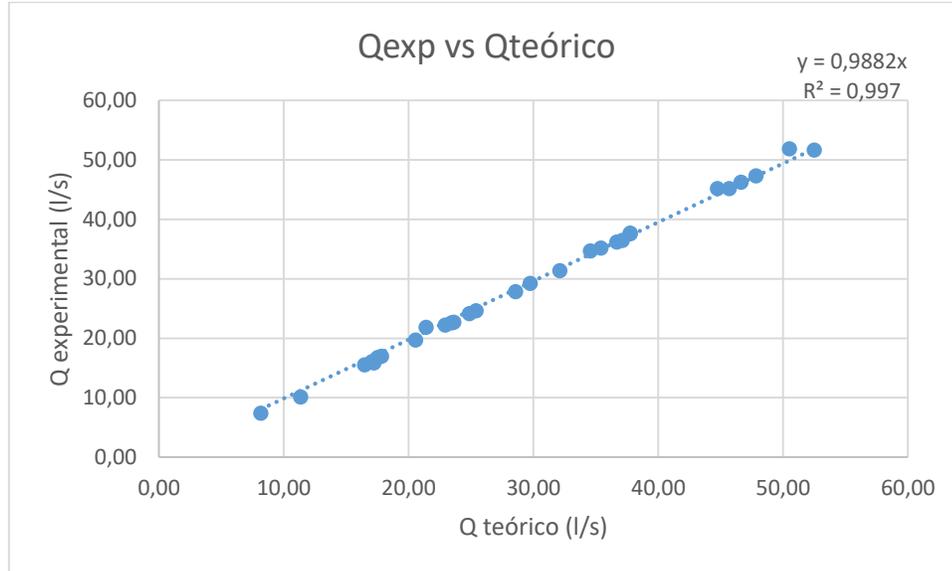
Se calculan los caudales teóricos, se grafican la relación entre este y el caudal real y se agrega una línea de tendencia para hallar el coeficiente de descarga:

Tabla 3-94 Caudal experimental y teórico 1

Q (l/s)	Q _{teórico1} (l/s)
21,82	21,39
36,17	36,68
51,66	52,49
7,41	8,17
22,25	22,93
16,97	17,84
22,57	23,45
27,83	28,58
29,23	29,74
16,09	17,07
10,15	11,35
16,10	17,22
22,71	23,62
37,57	37,76
46,26	46,62
51,89	50,50
34,71	34,57
15,88	17,22
19,70	20,56
31,40	32,11
35,16	35,41
36,45	37,11
37,71	37,76
45,21	45,68
24,14	24,87
24,62	25,41
15,52	16,47
16,79	17,53
47,35	47,82
45,18	44,74

Elaboración: Propia

Figura 3-3 Gráfica de determinación del coeficiente de descarga



Elaboración: Propia

Por último se obtiene el valor del coeficiente de descarga $C_d = 0,988$, completando la ecuación.

$$Q = 0,988 \cdot 0,01518 \cdot D^{0,693} H^{1,807}$$

Calibración del coeficiente de descarga: para el vertedero semicircular para la siguiente fórmula:

$$Q = \phi \cdot C_d \cdot D^{\frac{5}{2}}$$

Sabiendo que:

$$= C_d Q_{\text{teórico}}$$

Q_{real}

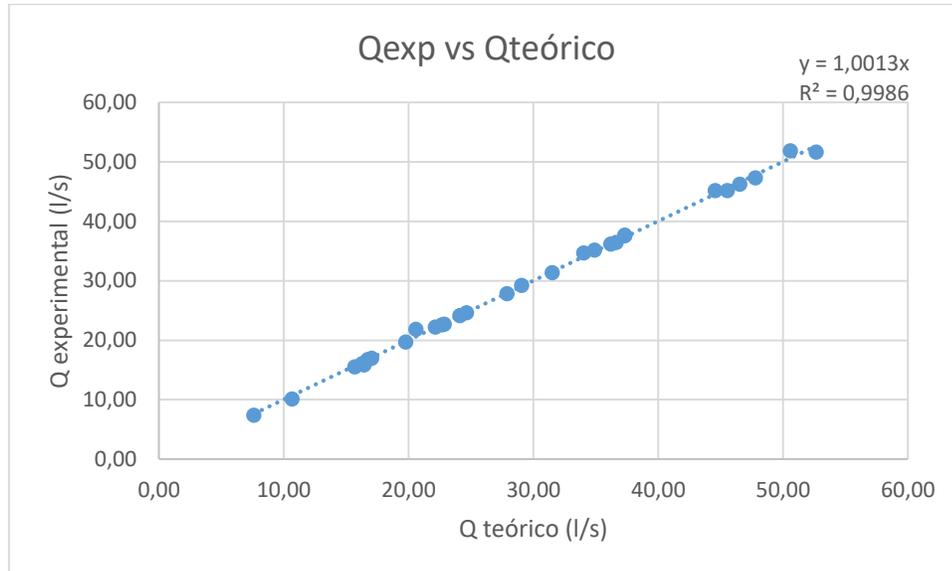
Se calculan los caudales teóricos, se grafican la relación entre este y el caudal real y se agrega una línea de tendencia para hallar el coeficiente de descarga:

Tabla 3-95 Caudal experimental y teórico 2

Q (l/s)	Q _{teórico2} (l/s)
21,82	20,59
36,17	36,20
51,66	52,66
7,41	7,61
22,25	22,14
16,97	17,04
22,57	22,66
27,83	27,87
29,23	29,06
16,09	16,28
10,15	10,67
16,10	16,43
22,71	22,84
37,57	37,31
46,26	46,52
51,89	50,58
34,71	34,02
15,88	16,43
19,70	19,76
31,40	31,49
35,16	34,88
36,45	36,64
37,71	37,31
45,21	45,54
24,14	24,10
24,62	24,65
15,52	15,68
16,79	16,73
47,35	47,77
45,18	44,56

Elaboración: Propia

Figura 3-4 Gráfica de determinación del coeficiente de descarga



Elaboración: Propia

Por último se obtiene el factor de corrección $FC = 1,001$, completando la ecuación se tiene la nueva fórmula

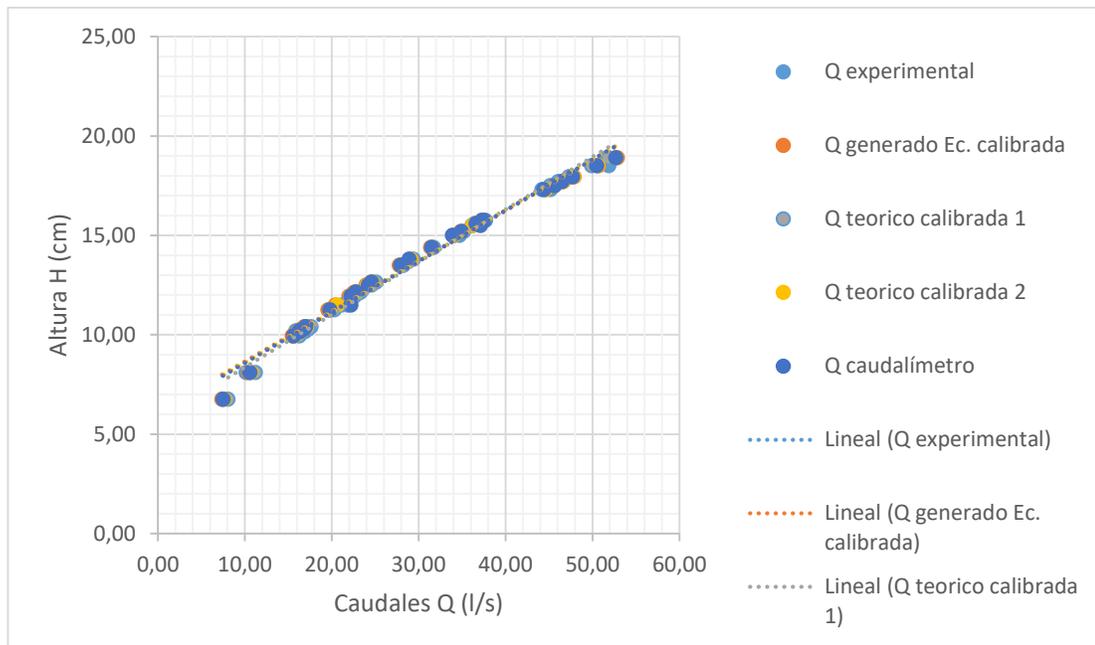
$$Q = 1,001 \cdot \phi \cdot C_d \cdot D^{\frac{5}{2}}$$

Se realiza una tabla de comparación de los resultados obtenidos de todos los caudales calibrados: caudal generado a partir de los caudales experimentales, caudales teóricos 1 calibrados para un coeficiente de descarga obtenidos, caudales teóricos 2 calibrados por un factor de corrección al coeficiente de descarga y caudalímetro para luego generar una gráfica.

Tabla 3-96 Comparación de caudales

Q (l/s)	Qgenerado Ec. Calibrada (l/s)	Qteorico Calibrada1 (l/s)	Qteorico Calibrada2 (l/s)	Q caudalimetro (l/s)
21,82	20,42	21,13	20,61	22,20
36,17	36,16	36,24	36,23	37,10
51,66	52,87	51,86	52,71	52,70
7,41	7,36	8,07	7,61	7,50
22,25	21,97	22,65	22,16	22,20
16,97	16,84	17,62	17,06	17,00
22,57	22,51	23,17	22,69	22,70
27,83	27,76	28,24	27,90	27,90
29,23	28,95	29,38	29,08	28,90
16,09	16,07	16,86	16,29	16,30
10,15	10,44	11,22	10,68	10,60
16,10	16,23	17,01	16,44	16,30
22,71	22,68	23,34	22,86	22,80
37,57	37,29	37,31	37,35	37,30
46,26	46,63	46,07	46,57	46,50
51,89	50,74	49,90	50,63	50,50
34,71	33,96	34,16	34,05	33,90
15,88	16,23	17,01	16,44	16,30
19,70	19,58	20,31	19,77	19,80
31,40	31,41	31,73	31,52	31,50
35,16	34,83	34,98	34,92	34,90
36,45	36,61	36,67	36,68	36,60
37,71	37,29	37,31	37,35	37,50
45,21	45,62	45,13	45,58	45,60
24,14	23,95	24,57	24,12	24,20
24,62	24,51	25,11	24,67	24,60
15,52	15,47	16,27	15,69	15,60
16,79	16,53	17,32	16,75	16,80
47,35	47,89	47,25	47,82	47,70
45,18	44,63	44,20	44,60	44,40

Figura 3-5 Gráfica de comparación de caudales



3.3. Vertedero de pared gruesa (triangular)

Se realizaron las mediciones para una serie de caudales, para el vertedero de pared gruesa de cresta triangular, para tal situación se debe tomar los datos utilizando las tablas propuestas en el presente trabajo.

Los caudales se calcularán por las ecuaciones expuestas y obtenidas por estudios realizados.

Caudal 1

Se tiene un registro en el caudalímetro un caudal de:

$$Q = 21,90 \text{ l/s}$$

Cálculo del caudal por las ecuaciones expuestas en este trabajo

Tabla 3-97 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 1

<i>Datos de la practica</i>		
Carga aguas arriba (h1) =	0,07	[m]
Carga aguas arriba (h2) =	0,056	[m]
Altura de cresta aguas arriba y aguas abajo (P) =	0,20	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

El cálculo se lo realiza por aproximaciones sucesivas de la siguiente manera:

La altura H_1 es la sumatoria del tirante h_1 sobre la carga del vertedor más la carga de velocidad $v^2/2g$.

Para realizar el cálculo mediante aproximaciones sucesivas se toma h_2 igual al H_1 , se obtiene el área hidráulica agua arriba del vertedor.

Según las ecuaciones 2-10a, y 2-10b el cual determinar el factor de minoración f sigue una relación según los tirantes aguas arriba y aguas abajo (limite modular) del vertedero para luego utilizar la ecuación 2-9 en la obtención del caudal

$$h_2 = H_1 = 0,056 \text{ m}$$

$$A = 0,042 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,07 \text{ m}$$

Limite modular

$$\frac{h_2}{h_1} = 0,8$$

Según el valor obtenido se utiliza la ecuación 2-10a, para el factor f

$$1,035 \left[0,817 - \left[\frac{h_2}{h_1} \right]^4 \right]^{0,0647}$$

$$f = 0,976$$

Caudal modular

$$Q = bfC_d \sqrt{g} h_2^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,976 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,056^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,0154 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 15,39 \text{ l/s}$$

Con el caudal obtenido se recalcula según la ecuación 2-7 en función de caudal y área

$$H_1 = h_2 + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$$H_1 = 0,056 + \frac{0,0154^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,042^2}$$

$$H_1 = 0,056 + 0,0154^2 / (2 \cdot 9,81 \cdot 0,042^2)$$

$$\mathbf{H_1 = 0,0628 m}$$

Con la carga obtenida reemplaza en la ecuación del caudal modular.

$$Q = bfC_d \sqrt{g} H_1^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,976 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,063^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,0183 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\mathbf{Q = 18,30 l/s}$$

El procedimiento se continúa en esa secuencia hasta obtener una precisión deseada para el caudal Q y carga hidráulica H₁, donde el valor decimal tiene a ser próximo o igual.

Para no realizar reiterativamente el mismo procedimiento ya explicado se realizara una tabla con los valores de caudales y altura de carga en una planilla Excel.

Tabla 3-98 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H₁ del caudal 1

$H_1 =$	0,066	m
$Q =$	0,020	m^3/s
	19,555	l/s
$H_1 =$	0,067	m
$Q =$	0,020	m^3/s
	20,169	l/s
$H_1 =$	0,068	m
$Q =$	0,020	m^3/s
	20,488	l/s
$H_1 =$	0,068	m
$Q =$	0,021	m^3/s
	20,658	l/s
$H_1 =$	0,068	m
$Q =$	0,021	m^3/s
	20,750	l/s
$H_1 =$	0,068	m
$Q =$	0,021	m^3/s
	20,800	l/s
$H_1 =$	0,069	m
$Q =$	0,021	m^3/s
	20,828	l/s
$H_1 =$	0,069	m
$Q =$	0,021	m^3/s
	20,843	l/s
$H_1 =$	0,069	m
$Q =$	0,021	m^3/s
	20,851	l/s

$H_1 =$	0,069	m
$Q =$	0,021	m^3/s
	20,856	l/s
$H_1 =$	0,069	m
$Q =$	0,021	m^3/s
	20,858	l/s
$H_1 =$	0,069	m
$Q =$	0,021	m^3/s
	20,860	l/s
$H_1 =$	0,069	m
$Q =$	0,021	m^3/s
	20,860	l/s
$H_1 =$	0,069	m
$Q =$	0,021	m^3/s
	20,861	l/s
$H_1 =$	0,069	m
$Q =$	0,021	m^3/s
	20,861	l/s

Elaboración: Propia

Con el caudal obtenido se puede calcular el tirante crítico en el vertedero

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

$$y_c = 4,97 \text{ cm}$$

Los caudales obtenidos por los métodos mencionados

Tabla 3-99 Resultados del caudal 1

	Experimental teórico	Caudalímetro
Caudal - Q (l/s)	20,86	21,90

Elaboración: Propia

Caudal 2

Se tiene un registro en el caudalímetro un caudal de:

$$Q = 34,20 \text{ l/s}$$

Cálculo del caudal por las ecuaciones expuestas en este trabajo

Tabla 3-100 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 2

<i>Datos de la practica</i>		
Carga aguas arriba (h1) =	0,10	[m]
Carga aguas arriba (h2) =	0,078	[m]
Altura de cresta aguas arriba y aguas abajo (P) =	0,20	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

El cálculo se lo realiza por aproximaciones sucesivas de la siguiente manera:

La altura H_1 es la sumatoria del tirante h_1 sobre la carga del vertedor más la carga de velocidad $v^2/2g$.

Para realizar el cálculo mediante aproximaciones sucesivas se toma h_2 igual al H_1 , se obtiene el área hidráulica agua arriba del vertedor.

Según las ecuaciones 2-10a, y 2-10b el cual determinar el factor de minoración f sigue una relación según los tirantes aguas arriba y aguas abajo (limite modular) del vertedero para luego utilizar la ecuación 2-9 en la obtención del caudal

$$h_2 = H_1 = 0,078 \text{ m}$$

$$A = 0,060 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,10 \text{ m}$$

Limite modular

$$\frac{h_2}{h_1} = 0,78$$

Según el valor obtenido se utiliza la ecuación 2-10a, para el factor f

$$1,035 \left[0,817 - \left[\frac{h_2}{h_1} \right]^4 \right]^{0,0647}$$

$$f = 0,982$$

Caudal modular

$$Q = bfC_d \sqrt{g} h_2^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,982 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,078^{3/2}$$

$$Q = 0,0254 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 25,46 \text{ l/s}$$

Con el caudal obtenido se recalcula según la ecuación 2-7 en función de caudal y área

$$H_1 = h_2 + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$$H_1 = 0,078 + \frac{0,0154^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,042^2}$$

$$H_1 = 0,0872 \text{ m}$$

Con la carga obtenida reemplaza en la ecuación del caudal modular.

$$Q = bfC_d \sqrt{g} H_1^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,982 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,087^{3/2}$$

$$Q = 0,0300 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 30,08 \text{ l/s}$$

El procedimiento se continúa en esa secuencia hasta obtener una precisión deseada para el caudal Q y carga hidráulica H₁, donde el valor decimal tiene a ser próximo o igual.

Para no realizar reiterativamente el mismo procedimiento ya explicado se realizara una tabla con los valores de caudales y altura de carga en una planilla Excel.

Tabla 3-101 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H₁ del caudal 2

$H_1 =$	0.091	m
$Q =$	0.032	m^3/s
	31.982	l/s
$H_1 =$	0.092	m
$Q =$	0.033	m^3/s
	32.868	l/s
$H_1 =$	0.093	m
$Q =$	0.033	m^3/s
	33.303	l/s
$H_1 =$	0.094	m
$Q =$	0.034	m^3/s
	33.521	l/s
$H_1 =$	0.094	m
$Q =$	0.034	m^3/s
	33.632	l/s
$H_1 =$	0.094	m
$Q =$	0.034	m^3/s
	33.689	l/s
$H_1 =$	0.094	m
$Q =$	0.034	m^3/s
	33.718	l/s
$H_1 =$	0.094	m
$Q =$	0.034	m^3/s
	33.733	l/s
$H_1 =$	0.094	m
$Q =$	0.034	m^3/s
	33.740	l/s
$H_1 =$	0.094	m
$Q =$	0.034	m^3/s
	33.744	l/s
$H_1 =$	0.094	m
$Q =$	0.034	m^3/s
	33.746	l/s

$H_1 =$	0.094	m
$Q =$	0.034	m^3/s
	33.747	l/s
$H_1 =$	0.094	m
$Q =$	0.034	m^3/s
	33.748	l/s
$H_1 =$	0.094	m
$Q =$	0.034	m^3/s
	33.748	l/s
$H_1 =$	0.094	m
$Q =$	0.034	m^3/s
	33.748	l/s

Elaboración: Propia

Con el caudal obtenido se puede calcular el tirante crítico en el vertedero

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

$$y_c = 6,86 \text{ cm}$$

Los caudales obtenidos por los métodos mencionados

Tabla 3-102 Resultados del caudal 2

	Experimental teórico	Caudalímetro
Caudal - Q (l/s)	33,75	34,20

Elaboración: Propia

Caudal 3

Se tiene un registro en el caudalímetro un caudal de:

$$Q = 11,40 \text{ l/s}$$

Cálculo del caudal por las ecuaciones expuestas en este trabajo

Tabla 3-103 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 3

<i>Datos de la practica</i>		
Carga aguas arriba (h1) =	0,048	[m]
Carga aguas arriba (h2) =	0,038	[m]
Altura de cresta aguas arriba y aguas abajo (P) =	0,20	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

El cálculo se lo realiza por aproximaciones sucesivas de la siguiente manera:

La altura H_1 es la sumatoria del tirante h_1 sobre la carga del vertedor más la carga de velocidad $v^2/2g$.

Para realizar el cálculo mediante aproximaciones sucesivas se toma h_2 igual al H_1 , se obtiene el área hidráulica agua arriba del vertedor.

Según las ecuaciones 2-10a, y 2-10b el cual determinar el factor de minoración f sigue una relación según los tirantes aguas arriba y aguas abajo (limite modular) del vertedero para luego utilizar la ecuación 2-9 en la obtención del caudal

$$h_2 = H_1 = 0,038 \text{ m}$$

$$A = 0,0288 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,048 \text{ m}$$

Limite modular

$$\frac{h_2}{h_1} = 0,79$$

Según el valor obtenido se utiliza la ecuación 2-10a, para el factor f

$$1,035 \left[0,817 - \left[\frac{h_2}{h_1} \right]^4 \right]^{0,0647}$$

$$**f = 0,979**$$

Caudal modular

$$Q = bfC_d \sqrt{g} h_2^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,979 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,038^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,0086 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$**Q = 8,63 \text{ l/s}**$$

Con el caudal obtenido se recalcula según la ecuación 2-7 en función de caudal y área

$$H_1 = h_2 + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$$H_1 = 0,038 + \frac{0,0086^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,028^2}$$

$$**H_1 = 0,0425 \text{ m}**$$

Con la carga obtenida reemplaza en la ecuación del caudal modular.

$$Q = bfC_d \sqrt{g} H_1^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,979 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,042^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,0102 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$**Q = 10,23 \text{ l/s}**$$

El procedimiento se continúa en esa secuencia hasta obtener una precisión deseada para el caudal Q y carga hidráulica H_1 , donde el valor decimal tiene a ser próximo o igual.

Para no realizar reiterativamente el mismo procedimiento ya explicado se realizara una tabla con los valores de caudales y altura de carga en una planilla Excel.

Tabla 3-104 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H_1 del caudal 3

$H_1 =$	0,044	m
$Q =$	0,011	m^3/s
	10,909	l/s
$H_1 =$	0,045	m
$Q =$	0,011	m^3/s
	11,235	l/s
$H_1 =$	0,046	m
$Q =$	0,011	m^3/s
	11,400	l/s
$H_1 =$	0,046	m
$Q =$	0,011	m^3/s
	11,486	l/s
$H_1 =$	0,046	m
$Q =$	0,012	m^3/s
	11,531	l/s
$H_1 =$	0,046	m
$Q =$	0,012	m^3/s
	11,556	l/s
$H_1 =$	0,046	m
$Q =$	0,012	m^3/s
	11,568	l/s
$H_1 =$	0,046	m
$Q =$	0,012	m^3/s
	11,575	l/s
$H_1 =$	0,046	m
$Q =$	0,012	m^3/s
	11,579	l/s
$H_1 =$	0,046	m
$Q =$	0,012	m^3/s
	11,581	l/s

$H_1 =$	0,046	m
$Q =$	0,012	m^3/s
	11,582	l/s
$H_1 =$	0,046	m
$Q =$	0,012	m^3/s
	11,582	l/s
$H_1 =$	0,046	m
$Q =$	0,012	m^3/s
	11,583	l/s

Elaboración: Propia

Con el caudal obtenido se puede calcular el tirante crítico en el vertedero

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

$$y_c = 3,36 \text{ cm}$$

Los caudales obtenidos por los métodos mencionados

Tabla 3-105 Resultados del caudal 3

	Experimental teórico	Caudalímetro
Caudal - Q (l/s)	11,58	11,40

Elaboración: Propia

Caudal 4

Se tiene un registro en el caudalímetro un caudal de:

$$Q = 12,30 \text{ l/s}$$

Cálculo del caudal por las ecuaciones expuestas en este trabajo

Tabla 3-106 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 4

<i>Datos de la practica</i>		
Carga aguas arriba (h1) =	0,05	[m]
Carga aguas arriba (h2) =	0,04	[m]
Altura de cresta aguas arriba y aguas abajo (P) =	0,20	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

El cálculo se lo realiza por aproximaciones sucesivas de la siguiente manera:

La altura H_1 es la sumatoria del tirante h_1 sobre la carga del vertedor más la carga de velocidad $v^2/2g$.

Para realizar el cálculo mediante aproximaciones sucesivas se toma h_2 igual al H_1 , se obtiene el área hidráulica agua arriba del vertedor.

Según las ecuaciones 2-10a, y 2-10b el cual determinar el factor de minoración f sigue una relación según los tirantes aguas arriba y aguas abajo (limite modular) del vertedero para luego utilizar la ecuación 2-9 en la obtención del caudal

$$h_2 = H_1 = 0,04 \text{ m}$$

$$A = 0,030 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,05 \text{ m}$$

Limite modular

$$\frac{h_2}{h_1} = 0,80$$

Según el valor obtenido se utiliza la ecuación 2-10a, para el factor f

$$1,035 \left[0,817 - \left[\frac{h_2}{h_1} \right]^4 \right]^{0,0647}$$

$$f = 0,976$$

Caudal modular

$$Q = bfC_d \sqrt{g} h_2^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,976 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,04^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,0092 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 9,29 \text{ l/s}$$

Con el caudal obtenido se recalcula según la ecuación 2-7 en función de caudal y área

$$H_1 = h_2 + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$$H_1 = 0,04 + \frac{0,0092^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,03^2}$$

$$H_1 = 0,0448 \text{ m}$$

Con la carga obtenida reemplaza en la ecuación del caudal modular.

$$Q = bfC_d \sqrt{g} H_1^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,976 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,045^{3/2}$$

$$Q = 0,0110 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 11,05 \text{ l/s}$$

El procedimiento se continúa en esa secuencia hasta obtener una precisión deseada para el caudal Q y carga hidráulica H_1 , donde el valor decimal tiene a ser próximo o igual.

Para no realizar reiterativamente el mismo procedimiento ya explicado se realizara una tabla con los valores de caudales y altura de carga en una planilla Excel.

Tabla 3-107 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H_1 del caudal 4

$H_1 =$	0,047	m
$Q =$	0,012	m^3/s
	11,805	l/s
$H_1 =$	0,048	m
$Q =$	0,012	m^3/s
	12,176	l/s
$H_1 =$	0,048	m
$Q =$	0,012	m^3/s
	12,368	l/s

$H_1 =$	0,049	m
$Q =$	0,012	m^3/s
	12,471	l/s
$H_1 =$	0,049	m
$Q =$	0,013	m^3/s
	12,526	l/s
$H_1 =$	0,049	m
$Q =$	0,013	m^3/s
	12,557	l/s
$H_1 =$	0,049	m
$Q =$	0,013	m^3/s
	12,573	l/s
$H_1 =$	0,049	m
$Q =$	0,013	m^3/s
	12,582	l/s
$H_1 =$	0,049	m
$Q =$	0,013	m^3/s
	12,587	l/s
$H_1 =$	0,049	m
$Q =$	0,013	m^3/s
	12,590	l/s
$H_1 =$	0,049	m
$Q =$	0,013	m^3/s
	12,592	l/s
$H_1 =$	0,049	m
$Q =$	0,013	m^3/s
	12,593	l/s
$H_1 =$	0,049	m
$Q =$	0,013	m^3/s
	12,593	l/s

Elaboración: Propia

Con el caudal obtenido se puede calcular el tirante crítico en el vertedero

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

$$y_c = 3,55 \text{ cm}$$

Los caudales obtenidos por los métodos mencionados

Tabla 3-108 Resultados del caudal 4

	Experimental teórico	Caudalímetro
Caudal - Q (l/s)	12,59	12,30

Elaboración: Propia

Caudal 5

Se tiene un registro en el caudalímetro un caudal de:

$$Q = 15,80 \text{ l/s}$$

Cálculo del caudal por las ecuaciones expuestas en este trabajo

Tabla 3-109 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 5

<i>Datos de la practica</i>		
Carga aguas arriba (h1) =	0,06	[m]
Carga aguas arriba (h2) =	0,047	[m]
Altura de cresta aguas arriba y aguas abajo (P) =	0,20	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

El cálculo se lo realiza por aproximaciones sucesivas de la siguiente manera:

La altura H_1 es la sumatoria del tirante h_1 sobre la carga del vertedor más la carga de velocidad $v^2/2g$.

Para realizar el cálculo mediante aproximaciones sucesivas se toma h_2 igual al H_1 , se obtiene el área hidráulica agua arriba del vertedor.

Según las ecuaciones 2-10a, y 2-10b el cual determinar el factor de minoración f sigue una relación según los tirantes aguas arriba y aguas abajo (limite modular) del vertedero para luego utilizar la ecuación 2-9 en la obtención del caudal

$$h_2 = H_1 = 0,047 \text{ m}$$

$$A = 0,036 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,06 \text{ m}$$

Limite modular

$$\frac{h_2}{h_1} = 0,78$$

Según el valor obtenido se utiliza la ecuación 2-10a, para el factor f

$$1,035 \left[0,817 - \left[\frac{h_2}{h_1} \right]^4 \right]^{0,0647}$$

$$**f = 0,981**$$

Caudal modular

$$Q = bfC_d \sqrt{g} h_2^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,981 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,045^{3/2}$$

$$Q = 0,0118 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$**Q = 11,89 \text{ l/s}**$$

Con el caudal obtenido se recalcula según la ecuación 2-7 en función de caudal y área

$$H_1 = h_2 + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$$H_1 = 0,04 + \frac{0,0118^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,036^2}$$

$$**H_1 = 0,0525 \text{ m}**$$

Con la carga obtenida reemplaza en la ecuación del caudal modular.

$$Q = bfC_d \sqrt{g} H_1^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,976 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,052^{3/2}$$

$$Q = 0,0140 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 14,07 \text{ l/s}$$

El procedimiento se continúa en esa secuencia hasta obtener una precisión deseada para el caudal Q y carga hidráulica H_1 , donde el valor decimal tiene a ser próximo o igual.

Para no realizar reiterativamente el mismo procedimiento ya explicado se realizara una tabla con los valores de caudales y altura de carga en una planilla Excel.

Tabla 3-110 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H_1 del caudal 5

$H_1 =$	0,055	m
$Q =$	0,015	m^3/s
	14,973	l/s
$H_1 =$	0,056	m
$Q =$	0,015	m^3/s
	15,397	l/s
$H_1 =$	0,056	m
$Q =$	0,016	m^3/s
	15,607	l/s
$H_1 =$	0,057	m
$Q =$	0,016	m^3/s
	15,714	l/s
$H_1 =$	0,057	m
$Q =$	0,016	m^3/s
	15,769	l/s
$H_1 =$	0,057	m
$Q =$	0,016	m^3/s
	15,797	l/s
$H_1 =$	0,057	m
$Q =$	0,016	m^3/s
	15,811	l/s
$H_1 =$	0,057	m
$Q =$	0,016	m^3/s
	15,819	l/s
$H_1 =$	0,057	m
$Q =$	0,016	m^3/s
	15,823	l/s

$H_1 =$	0,057	m
$Q =$	0,016	m^3/s
	15,825	l/s
$H_1 =$	0,057	m
$Q =$	0,016	m^3/s
	15,826	l/s
$H_1 =$	0,057	m
$Q =$	0,016	m^3/s
	15,827	l/s
$H_1 =$	0,057	m
$Q =$	0,016	m^3/s
	15,827	l/s

Elaboración: Propia

Con el caudal obtenido se puede calcular el tirante crítico en el vertedero

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

$$y_c = 4,14 \text{ cm}$$

Los caudales obtenidos por los métodos mencionados

Tabla 3-111 Resultados del caudal 5

	Experimental teórico	Caudalímetro
Caudal - Q (l/s)	15,83	15,80

Elaboración: Propia

Caudal 6

Se tiene un registro en el caudalímetro un caudal de:

$$Q = 22,00 \text{ l/s}$$

Cálculo del caudal por las ecuaciones expuestas en este trabajo

Tabla 3-112 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 6

<i>Datos de la practica</i>		
Carga aguas arriba (h1) =	0,073	[m]
Carga aguas arriba (h2) =	0,058	[m]
Altura de cresta aguas arriba y aguas abajo (P) =	0,20	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

El cálculo se lo realiza por aproximaciones sucesivas de la siguiente manera:

La altura H_1 es la sumatoria del tirante h_1 sobre la carga del vertedor más la carga de velocidad $v^2/2g$.

Para realizar el cálculo mediante aproximaciones sucesivas se toma h_2 igual al H_1 , se obtiene el área hidráulica agua arriba del vertedor.

Según las ecuaciones 2-10a, y 2-10b el cual determinar el factor de minoración f sigue una relación según los tirantes aguas arriba y aguas abajo (limite modular) del vertedero para luego utilizar la ecuación 2-9 en la obtención del caudal

$$h_2 = H_1 = 0,058 \text{ m}$$

$$A = 0,044 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,073 \text{ m}$$

Limite modular

$$\frac{h_2}{h_1} = 0,79$$

Según el valor obtenido se utiliza la ecuación 2-10a, para el factor f

$$1,035 \left[0,817 - \left[\frac{h_2}{h_1} \right]^4 \right]^{0,0647}$$

$$f = 0,978$$

Caudal modular

$$Q = bfC_d \sqrt{g} h_2^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,978 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,058^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,0162 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 16,25 \text{ l/s}$$

Con el caudal obtenido se recalcula según la ecuación 2-7 en función de caudal y área

$$H_1 = h_2 + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$$H_1 = 0,04 + \frac{0,0162^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,043^2}$$

$$H_1 = 0,065 \text{ m}$$

Con la carga obtenida reemplaza en la ecuación del caudal modular.

$$Q = bfC_d \sqrt{g} H_1^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,978 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,065^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,0192 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 19,29 \text{ l/s}$$

El procedimiento se continúa en esa secuencia hasta obtener una precisión deseada para el caudal Q y carga hidráulica H_1 , donde el valor decimal tiene a ser próximo o igual.

Para no realizar reiterativamente el mismo procedimiento ya explicado se realizara una tabla con los valores de caudales y altura de carga en una planilla Excel.

Tabla 3-113 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H_1 del caudal 6

$H_1 =$	0,068	m
$Q =$	0,021	m^3/s
	20,586	l/s
$H_1 =$	0,069	m
$Q =$	0,021	m^3/s
	21,211	l/s
$H_1 =$	0,070	m
$Q =$	0,022	m^3/s
	21,531	l/s
$H_1 =$	0,070	m
$Q =$	0,022	m^3/s
	21,699	l/s
$H_1 =$	0,071	m
$Q =$	0,022	m^3/s
	21,788	l/s
$H_1 =$	0,071	m
$Q =$	0,022	m^3/s
	21,836	l/s
$H_1 =$	0,071	m
$Q =$	0,022	m^3/s
	21,862	l/s
$H_1 =$	0,071	m
$Q =$	0,022	m^3/s
	21,876	l/s
$H_1 =$	0,071	m
$Q =$	0,022	m^3/s
	21,883	l/s
$H_1 =$	0,071	m
$Q =$	0,022	m^3/s
	21,887	l/s
$H_1 =$	0,071	m
$Q =$	0,022	m^3/s
	21,889	l/s

$H_1 =$	0,071	m
$Q =$	0,022	m^3/s
	21,891	l/s
$H_1 =$	0,071	m
$Q =$	0,022	m^3/s
	21,891	l/s
$H_1 =$	0,071	m
$Q =$	0,022	m^3/s
	21,892	l/s
$H_1 =$	0,071	m
$Q =$	0,022	m^3/s
	21,892	l/s

Elaboración: Propia

Con el caudal obtenido se puede calcular el tirante crítico en el vertedero

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

$$y_c = 5,14 \text{ cm}$$

Los caudales obtenidos por los métodos mencionados

Tabla 3-114 Resultados del caudal 6

	Experimental teórico	Caudalímetro
Caudal - Q (l/s)	21,89	22,00

Elaboración: Propia

Caudal 7

Se tiene un registro en el caudalímetro un caudal de:

$$Q = 26,30 \text{ l/s}$$

Cálculo del caudal por las ecuaciones expuestas en este trabajo

Tabla 3-115 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 7

<i>Datos de la practica</i>		
Carga aguas arriba (h1) =	0,084	[m]
Carga aguas arriba (h2) =	0,067	[m]
Altura de cresta aguas arriba y aguas abajo (P) =	0,20	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

El cálculo se lo realiza por aproximaciones sucesivas de la siguiente manera:

La altura H_1 es la sumatoria del tirante h_1 sobre la carga del vertedor más la carga de velocidad $v^2/2g$.

Para realizar el cálculo mediante aproximaciones sucesivas se toma h_2 igual al H_1 , se obtiene el área hidráulica agua arriba del vertedor.

Según las ecuaciones 2-10a, y 2-10b el cual determinar el factor de minoración f sigue una relación según los tirantes aguas arriba y aguas abajo (limite modular) del vertedero para luego utilizar la ecuación 2-9 en la obtención del caudal

$$h_2 = H_1 = 0,067 \text{ m}$$

$$A = 0,050 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,084 \text{ m}$$

Limite modular

$$\frac{h_2}{h_1} = 0,79$$

Según el valor obtenido se utiliza la ecuación 2-10a, para el factor f

$$1,035 \left[0,817 - \left[\frac{h_2}{h_1} \right]^4 \right]^{0,0647}$$

$$f = 0,977$$

Caudal modular

$$Q = bfC_d \sqrt{g} h_2^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,977 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,067^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,0201 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 20,16 \text{ l/s}$$

Con el caudal obtenido se recalcula según la ecuación 2-7 en función de caudal y área

$$H_1 = h_2 + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$$H_1 = 0,04 + \frac{0,0201^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,050^2}$$

$$H_1 = 0,075 \text{ m}$$

Con la carga obtenida reemplaza en la ecuación del caudal modular.

$$Q = bfC_d \sqrt{g} H_1^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,977 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,075^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,0239 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 23,95 \text{ l/s}$$

El procedimiento se continúa en esa secuencia hasta obtener una precisión deseada para el caudal Q y carga hidráulica H_1 , donde el valor decimal tiene a ser próximo o igual.

Para no realizar reiterativamente el mismo procedimiento ya explicado se realizara una tabla con los valores de caudales y altura de carga en una planilla Excel.

Tabla 3-116 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H_1 del caudal 7

$H_1 =$	0,079	m
$Q =$	0,026	m^3/s
	25,577	l/s
$H_1 =$	0,080	m
$Q =$	0,026	m^3/s
	26,369	l/s
$H_1 =$	0,081	m
$Q =$	0,027	m^3/s
	26,777	l/s
$H_1 =$	0,081	m
$Q =$	0,027	m^3/s
	26,994	l/s
$H_1 =$	0,082	m
$Q =$	0,027	m^3/s
	27,110	l/s
$H_1 =$	0,082	m
$Q =$	0,027	m^3/s
	27,173	l/s
$H_1 =$	0,082	m
$Q =$	0,027	m^3/s
	27,207	l/s
$H_1 =$	0,082	m
$Q =$	0,027	m^3/s
	27,226	l/s
$H_1 =$	0,082	m
$Q =$	0,027	m^3/s
	27,236	l/s
$H_1 =$	0,082	m
$Q =$	0,027	m^3/s
	27,242	l/s
$H_1 =$	0,082	m
$Q =$	0,027	m^3/s
	27,245	l/s

$H_1 =$	0,082	m
$Q =$	0,027	m^3/s
	27,246	l/s
$H_1 =$	0,082	m
$Q =$	0,027	m^3/s
	27,247	l/s
$H_1 =$	0,082	m
$Q =$	0,027	m^3/s
	27,248	l/s
$H_1 =$	0,082	m
$Q =$	0,027	m^3/s
	27,248	l/s

Elaboración: Propia

Con el caudal obtenido se puede calcular el tirante crítico en el vertedero

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

$$y_c = 5,95 \text{ cm}$$

Los caudales obtenidos por los métodos mencionados

Tabla 3-117 Resultados del caudal 7

	Experimental teórico	Caudalímetro
Caudal - Q (l/s)	27,25	26,30

Elaboración: Propia

Caudal 8

Se tiene un registro en el caudalímetro un caudal de:

$$Q = 35,10 \text{ l/s}$$

Cálculo del caudal por las ecuaciones expuestas en este trabajo

Tabla 3-118 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 8

<i>Datos de la practica</i>		
Carga aguas arriba (h1) =	0,10	[m]
Carga aguas arriba (h2) =	0,08	[m]
Altura de cresta aguas arriba y aguas abajo (P) =	0,20	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

El cálculo se lo realiza por aproximaciones sucesivas de la siguiente manera:

La altura H_1 es la sumatoria del tirante h_1 sobre la carga del vertedor más la carga de velocidad $v^2/2g$.

Para realizar el cálculo mediante aproximaciones sucesivas se toma h_2 igual al H_1 , se obtiene el área hidráulica agua arriba del vertedor.

Según las ecuaciones 2-10a, y 2-10b el cual determinar el factor de minoración f sigue una relación según los tirantes aguas arriba y aguas abajo (limite modular) del vertedero para luego utilizar la ecuación 2-9 en la obtención del caudal

$$h_2 = H_1 = 0,08 \text{ m}$$

$$A = 0,06 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,10 \text{ m}$$

Limite modular

$$\frac{h_2}{h_1} = 0,80$$

Según el valor obtenido se utiliza la ecuación 2-10a, para el factor f

$$1,035 \left[0,817 - \left[\frac{h_2}{h_1} \right]^4 \right]^{0,0647}$$

$$f = 0,976$$

Caudal modular

$$Q = bfC_d \sqrt{g} h_2^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,976 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,08^{3/2}$$

$$Q = 0,0262 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 26,29 \text{ l/s}$$

Con el caudal obtenido se recalcula según la ecuación 2-7 en función de caudal y área

$$H_1 = h_2 + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$$H_1 = 0,04 + \frac{0,0262^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,06^2}$$

$$H_1 = 0,089 \text{ m}$$

Con la carga obtenida reemplaza en la ecuación del caudal modular.

$$Q = bfC_d \sqrt{g} H_1^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,976 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,089^{3/2}$$

$$Q = 0,0312 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 31,25 \text{ l/s}$$

El procedimiento se continúa en esa secuencia hasta obtener una precisión deseada para el caudal Q y carga hidráulica H_1 , donde el valor decimal tiene a ser próximo o igual.

Para no realizar reiterativamente el mismo procedimiento ya explicado se realizara una tabla con los valores de caudales y altura de carga en una planilla Excel.

Tabla 3-119 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H_1 del caudal 8

$H_1 =$	0,094	m
$Q =$	0,033	m^3/s
	33,389	l/s
$H_1 =$	0,096	m
$Q =$	0,034	m^3/s
	34,438	l/s
$H_1 =$	0,097	m
$Q =$	0,035	m^3/s
	34,982	l/s
$H_1 =$	0,097	m
$Q =$	0,035	m^3/s
	35,273	l/s
$H_1 =$	0,098	m
$Q =$	0,035	m^3/s
	35,430	l/s
$H_1 =$	0,098	m
$Q =$	0,036	m^3/s
	35,516	l/s
$H_1 =$	0,098	m
$Q =$	0,036	m^3/s
	35,563	l/s
$H_1 =$	0,098	m
$Q =$	0,036	m^3/s
	35,588	l/s
$H_1 =$	0,098	m
$Q =$	0,036	m^3/s
	35,603	l/s
$H_1 =$	0,098	m
$Q =$	0,036	m^3/s
	35,610	l/s
$H_1 =$	0,098	m
$Q =$	0,036	m^3/s
	35,615	l/s

$H_1 =$	0,098	m
$Q =$	0,036	m^3/s
	35,617	l/s
$H_1 =$	0,098	m
$Q =$	0,036	m^3/s
	35,618	l/s
$H_1 =$	0,098	m
$Q =$	0,036	m^3/s
	35,619	l/s
$H_1 =$	0,098	m
$Q =$	0,036	m^3/s
	35,619	l/s
$H_1 =$	0,098	m
$Q =$	0,036	m^3/s
	35,620	l/s
$H_1 =$	0,098	m
$Q =$	0,036	m^3/s
	35,620	l/s

Elaboración: Propia

Con el caudal obtenido se puede calcular el tirante crítico en el vertedero

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

$$y_c = 7,11 \text{ cm}$$

Los caudales obtenidos por los métodos mencionados

Tabla 3-120 Resultados del caudal 8

	Experimental teórico	Caudalímetro
Caudal - Q (l/s)	35,62	35,10

Elaboración: Propia

Caudal 9

Se tiene un registro en el caudalímetro un caudal de:

$$Q = 46,10 \text{ l/s}$$

Cálculo del caudal por las ecuaciones expuestas en este trabajo

Tabla 3-121 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 9

<i>Datos de la practica</i>		
Carga aguas arriba (h1) =	0,121	[m]
Carga aguas arriba (h2) =	0,096	[m]
Altura de cresta aguas arriba y aguas abajo (P) =	0,20	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

El cálculo se lo realiza por aproximaciones sucesivas de la siguiente manera:

La altura H_1 es la sumatoria del tirante h_1 sobre la carga del vertedor más la carga de velocidad $v^2/2g$.

Para realizar el cálculo mediante aproximaciones sucesivas se toma h_2 igual al H_1 , se obtiene el área hidráulica agua arriba del vertedor.

Según las ecuaciones 2-10a, y 2-10b el cual determinar el factor de minoración f sigue una relación según los tirantes aguas arriba y aguas abajo (limite modular) del vertedero para luego utilizar la ecuación 2-9 en la obtención del caudal

$$h_2 = H_1 = 0,096 \text{ m}$$

$$A = 0,073 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,121 \text{ m}$$

Limite modular

$$\frac{h_2}{h_1} = 0,79$$

Según el valor obtenido se utiliza la ecuación 2-10a, para el factor f

$$1,035 \left[0,817 - \left[\frac{h_2}{h_1} \right]^4 \right]^{0,0647}$$

$$**f = 0,978**$$

Caudal modular

$$Q = bfC_d \sqrt{g} h_2^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,978 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,096^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,0346 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$**Q = 34,63 \text{ l/s}**$$

Con el caudal obtenido se recalcula según la ecuación 2-7 en función de caudal y área

$$H_1 = h_2 + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$$H_1 = 0,04 + \frac{0,0346^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,072^2}$$

$$**H_1 = 0,107 \text{ m}**$$

Con la carga obtenida reemplaza en la ecuación del caudal modular.

$$Q = bfC_d \sqrt{g} H_1^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,978 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,107^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,0410 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$**Q = 41,08 \text{ l/s}**$$

El procedimiento se continúa en esa secuencia hasta obtener una precisión deseada para el caudal Q y carga hidráulica H_1 , donde el valor decimal tiene a ser próximo o igual.

Para no realizar reiterativamente el mismo procedimiento ya explicado se realizara una tabla con los valores de caudales y altura de carga en una planilla Excel.

Tabla 3-122 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H₁ del caudal 9

$H_1 =$	0,112	m
$Q =$	0,044	m^3/s
	43,824	l/s
$H_1 =$	0,115	m
$Q =$	0,045	m^3/s
	45,146	l/s
$H_1 =$	0,116	m
$Q =$	0,046	m^3/s
	45,820	l/s
$H_1 =$	0,116	m
$Q =$	0,046	m^3/s
	46,173	l/s
$H_1 =$	0,117	m
$Q =$	0,046	m^3/s
	46,360	l/s
$H_1 =$	0,117	m
$Q =$	0,046	m^3/s
	46,460	l/s
$H_1 =$	0,117	m
$Q =$	0,047	m^3/s
	46,513	l/s
$H_1 =$	0,117	m
$Q =$	0,047	m^3/s
	46,542	l/s
$H_1 =$	0,117	m
$Q =$	0,047	m^3/s
	46,557	l/s
$H_1 =$	0,117	m
$Q =$	0,047	m^3/s
	46,566	l/s
$H_1 =$	0,117	m
$Q =$	0,047	m^3/s
	46,570	l/s

$H_1 =$	0,117	m
$Q =$	0,047	m^3/s
	46,572	l/s
$H_1 =$	0,117	m
$Q =$	0,047	m^3/s
	46,574	l/s
$H_1 =$	0,117	m
$Q =$	0,047	m^3/s
	46,574	l/s
$H_1 =$	0,117	m
$Q =$	0,047	m^3/s
	46,575	l/s
$H_1 =$	0,117	m
$Q =$	0,047	m^3/s
	46,575	l/s

Elaboración: Propia

Con el caudal obtenido se puede calcular el tirante crítico en el vertedero

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

$$y_c = 8,50 \text{ cm}$$

Los caudales obtenidos por los métodos mencionados

Tabla 3-123 Resultados del caudal 9

	Experimental teórico	Caudalímetro
Caudal - Q (l/s)	46,57	46,10

Elaboración: Propia

Caudal 10

Se tiene un registro en el caudalímetro un caudal de:

$$Q = 48,10 \text{ l/s}$$

Cálculo del caudal por las ecuaciones expuestas en este trabajo

Tabla 3-124 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 10

<i>Datos de la practica</i>		
Carga aguas arriba (h1) =	0,124	[m]
Carga aguas arriba (h2) =	0,099	[m]
Altura de cresta aguas arriba y aguas abajo (P) =	0,20	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

El cálculo se lo realiza por aproximaciones sucesivas de la siguiente manera:

La altura H_1 es la sumatoria del tirante h_1 sobre la carga del vertedor más la carga de velocidad $v^2/2g$.

Para realizar el cálculo mediante aproximaciones sucesivas se toma h_2 igual al H_1 , se obtiene el área hidráulica agua arriba del vertedor.

Según las ecuaciones 2-10a, y 2-10b el cual determinar el factor de minoración f sigue una relación según los tirantes aguas arriba y aguas abajo (limite modular) del vertedero para luego utilizar la ecuación 2-9 en la obtención del caudal

$$h_2 = H_1 = 0,099 \text{ m}$$

$$A = 0,074 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,124 \text{ m}$$

Limite modular

$$\frac{h_2}{h_1} = 0,79$$

Según el valor obtenido se utiliza la ecuación 2-10a, para el factor f

$$1,035 \left[0,817 - \left[\frac{h_2}{h_1} \right]^4 \right]^{0,0647}$$

$$f = 0,977$$

Caudal modular

$$Q = bfC_d \sqrt{g} h_2^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,977 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,099^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,0362 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 36,20 \text{ l/s}$$

Con el caudal obtenido se recalcula según la ecuación 2-7 en función de caudal y área

$$H_1 = h_2 + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$$H_1 = 0,04 + \frac{0,0362^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,074^2}$$

$$H_1 = 0,111 \text{ m}$$

Con la carga obtenida reemplaza en la ecuación del caudal modular.

$$Q = bfC_d \sqrt{g} H_1^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,978 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,107^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,0430 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 43,02 \text{ l/s}$$

El procedimiento se continúa en esa secuencia hasta obtener una precisión deseada para el caudal Q y carga hidráulica H_1 , donde el valor decimal tiene a ser próximo o igual.

Para no realizar reiterativamente el mismo procedimiento ya explicado se realizara una tabla con los valores de caudales y altura de carga en una planilla Excel.

Tabla 3-125 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H_1 del caudal 10

$H_1 =$	0,116	m
$Q =$	0,046	m^3/s
	45,948	l/s
$H_1 =$	0,118	m
$Q =$	0,047	m^3/s
	47,377	l/s
$H_1 =$	0,120	m
$Q =$	0,048	m^3/s
	48,116	l/s
$H_1 =$	0,120	m
$Q =$	0,049	m^3/s
	48,508	l/s
$H_1 =$	0,121	m
$Q =$	0,049	m^3/s
	48,720	l/s
$H_1 =$	0,121	m
$Q =$	0,049	m^3/s
	48,834	l/s
$H_1 =$	0,121	m
$Q =$	0,049	m^3/s
	48,897	l/s
$H_1 =$	0,121	m
$Q =$	0,049	m^3/s
	48,931	l/s
$H_1 =$	0,121	m
$Q =$	0,049	m^3/s
	48,949	l/s
$H_1 =$	0,121	m
$Q =$	0,049	m^3/s
	48,960	l/s
$H_1 =$	0,121	m
$Q =$	0,049	m^3/s
	48,965	l/s

$H_1 =$	0,121	m
$Q =$	0,049	m^3/s
	48,968	l/s
$H_1 =$	0,121	m
$Q =$	0,049	m^3/s
	48,970	l/s
$H_1 =$	0,121	m
$Q =$	0,049	m^3/s
	48,971	l/s
$H_1 =$	0,121	m
$Q =$	0,049	m^3/s
	48,971	l/s
$H_1 =$	0,121	m
$Q =$	0,049	m^3/s
	48,972	l/s
$H_1 =$	0,121	m
$Q =$	0,049	m^3/s
	48,972	l/s

Elaboración: Propia

Con el caudal obtenido se puede calcular el tirante crítico en el vertedero

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

$$y_c = 8,79 \text{ cm}$$

Los caudales obtenidos por los métodos mencionados

Tabla 3-126 Resultados del caudal 10

	Experimental teórico	Caudalímetro
Caudal - Q (l/s)	48,97	48,10

Elaboración: Propia

Caudal 11

Se tiene un registro en el caudalímetro un caudal de:

$$Q = 53,00 \text{ l/s}$$

Cálculo del caudal por las ecuaciones expuestas en este trabajo

Tabla 3-127 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 11

<i>Datos de la practica</i>		
Carga aguas arriba (h1) =	0,115	[m]
Carga aguas arriba (h2) =	0,105	[m]
Altura de cresta aguas arriba y aguas abajo (P) =	0,20	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

El cálculo se lo realiza por aproximaciones sucesivas de la siguiente manera:

La altura H_1 es la sumatoria del tirante h_1 sobre la carga del vertedor más la carga de velocidad $v^2/2g$.

Para realizar el cálculo mediante aproximaciones sucesivas se toma h_2 igual al H_1 , se obtiene el área hidráulica agua arriba del vertedor.

Según las ecuaciones 2-10a, y 2-10b el cual determinar el factor de minoración f sigue una relación según los tirantes aguas arriba y aguas abajo (limite modular) del vertedero para luego utilizar la ecuación 2-9 en la obtención del caudal

$$h_2 = H_1 = 0,105 \text{ m}$$

$$A = 0,069 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,115 \text{ m}$$

Limite modular

$$\frac{h_2}{h_1} = 0,91$$

Según el valor obtenido se utiliza la ecuación 2-10a, para el factor f

$$1,035 \left[0,817 - \left[\frac{h_2}{h_1} \right]^4 \right]^{0,0647}$$

$$**f = 0,903**$$

Caudal modular

$$Q = bfC_d \sqrt{g} h_2^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,903 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,105^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,0365 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$**Q = 36,56 \text{ l/s}**$$

Con el caudal obtenido se recalcula según la ecuación 2-7 en función de caudal y área

$$H_1 = h_2 + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$$H_1 = 0,04 + \frac{0,0365^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,069^2}$$

$$**H_1 = 0,119 \text{ m}**$$

Con la carga obtenida reemplaza en la ecuación del caudal modular.

$$Q = bfC_d \sqrt{g} H_1^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,903 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,119^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,0442 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$**Q = 44,28 \text{ l/s}**$$

El procedimiento se continúa en esa secuencia hasta obtener una precisión deseada para el caudal Q y carga hidráulica H_1 , donde el valor decimal tiene a ser próximo o igual.

Para no realizar reiterativamente el mismo procedimiento ya explicado se realizara una tabla con los valores de caudales y altura de carga en una planilla Excel.

Tabla 3-128 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H₁ del caudal 11

$H_1 =$	0,126	m
$Q =$	0,048	m^3/s
	48,056	l/s
$H_1 =$	0,130	m
$Q =$	0,050	m^3/s
	50,205	l/s
$H_1 =$	0,132	m
$Q =$	0,052	m^3/s
	51,523	l/s
$H_1 =$	0,133	m
$Q =$	0,052	m^3/s
	52,366	l/s
$H_1 =$	0,134	m
$Q =$	0,053	m^3/s
	52,919	l/s
$H_1 =$	0,135	m
$Q =$	0,053	m^3/s
	53,288	l/s
$H_1 =$	0,135	m
$Q =$	0,054	m^3/s
	53,536	l/s
$H_1 =$	0,136	m
$Q =$	0,054	m^3/s
	53,705	l/s
$H_1 =$	0,136	m
$Q =$	0,054	m^3/s
	53,820	l/s
$H_1 =$	0,136	m
$Q =$	0,054	m^3/s
	53,898	l/s
$H_1 =$	0,136	m
$Q =$	0,054	m^3/s
	53,952	l/s

$H_1 =$	0,136	m
$Q =$	0,054	m^3/s
	53,989	l/s
$H_1 =$	0,136	m
$Q =$	0,054	m^3/s
	54,015	l/s
$H_1 =$	0,136	m
$Q =$	0,054	m^3/s
	54,032	l/s
$H_1 =$	0,136	m
$Q =$	0,054	m^3/s
	54,044	l/s
$H_1 =$	0,136	m
$Q =$	0,054	m^3/s
	54,052	l/s
$H_1 =$	0,136	m
$Q =$	0,054	m^3/s
	54,058	l/s
$H_1 =$	0,136	m
$Q =$	0,054	m^3/s
	54,062	l/s
$H_1 =$	0,136	m
$Q =$	0,054	m^3/s
	54,065	l/s
$H_1 =$	0,136	m
$Q =$	0,054	m^3/s
	54,067	l/s
$H_1 =$	0,136	m
$Q =$	0,054	m^3/s
	54,068	l/s
$H_1 =$	0,136	m
$Q =$	0,054	m^3/s
	54,069	l/s

Elaboración: Propia

Con el caudal obtenido se puede calcular el tirante crítico en el vertedero

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

$$y_c = 9,39 \text{ cm}$$

Los caudales obtenidos por los métodos mencionados

Tabla 3-129 Resultados del caudal 11

	Experimental teórico	Caudalímetro
Caudal - Q (l/s)	54,07	53,00

Elaboración: Propia

Caudal 12

Se tiene un registro en el caudalímetro un caudal de:

$$Q = 49,70 \text{ l/s}$$

Cálculo del caudal por las ecuaciones expuestas en este trabajo

Tabla 3-130 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 12

<i>Datos de la practica</i>		
Carga aguas arriba (h1) =	0,122	[m]
Carga aguas arriba (h2) =	0,10	[m]
Altura de cresta aguas arriba y aguas abajo (P) =	0,20	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

El cálculo se lo realiza por aproximaciones sucesivas de la siguiente manera:

La altura H_1 es la sumatoria del tirante h_1 sobre la carga del vertedor más la carga de velocidad $v^2/2g$.

Para realizar el cálculo mediante aproximaciones sucesivas se toma h_2 igual al H_1 , se obtiene el área hidráulica agua arriba del vertedor.

Según las ecuaciones 2-10a, y 2-10b el cual determinar el factor de minoración f sigue una relación según los tirantes aguas arriba y aguas abajo (limite modular) del vertedero para luego utilizar la ecuación 2-9 en la obtención del caudal

$$h_2 = H_1 = 0,10 \text{ m}$$

$$A = 0,073 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,122 \text{ m}$$

Limite modular

$$\frac{h_2}{h_1} = 0,82$$

Según el valor obtenido se utiliza la ecuación 2-10a, para el factor f

$$1,035 \left[0,817 - \left[\frac{h_2}{h_1} \right]^4 \right]^{0,0647}$$

$$f = 0,969$$

Caudal modular

$$Q = bfC_d \sqrt{g} h_2^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,969 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,10^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,0364 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 36,48 \text{ l/s}$$

Con el caudal obtenido se recalcula según la ecuación 2-7 en función de caudal y área

$$H_1 = h_2 + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$$H_1 = 0,04 + \frac{0,0364^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,073^2}$$

$$H_1 = 0,113 \text{ m}$$

Con la carga obtenida reemplaza en la ecuación del caudal modular.

$$Q = bfC_d \sqrt{g} H_1^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,969 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,113^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,0436 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 43,62 \text{ l/s}$$

El procedimiento se continúa en esa secuencia hasta obtener una precisión deseada para el caudal Q y carga hidráulica H₁, donde el valor decimal tiene a ser próximo o igual.

Para no realizar reiterativamente el mismo procedimiento ya explicado se realizara una tabla con los valores de caudales y altura de carga en una planilla Excel.

Tabla 3-131 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H₁ del caudal 12

H ₁ =	0,118	m
Q =	0,047	m ³ /s
	46,820	l/s
H ₁ =	0,121	m
Q =	0,048	m ³ /s
	48,466	l/s
H ₁ =	0,122	m
Q =	0,049	m ³ /s
	49,366	l/s
H ₁ =	0,123	m
Q =	0,050	m ³ /s
	49,874	l/s
H ₁ =	0,124	m
Q =	0,050	m ³ /s
	50,165	l/s
H ₁ =	0,124	m
Q =	0,050	m ³ /s
	50,334	l/s

$H_1 =$	0,124	m
$Q =$	0,050	m^3/s
	50,432	l/s
$H_1 =$	0,124	m
$Q =$	0,050	m^3/s
	50,490	l/s
$H_1 =$	0,124	m
$Q =$	0,051	m^3/s
	50,524	l/s
$H_1 =$	0,124	m
$Q =$	0,051	m^3/s
	50,543	l/s
$H_1 =$	0,124	m
$Q =$	0,051	m^3/s
	50,555	l/s
$H_1 =$	0,124	m
$Q =$	0,051	m^3/s
	50,562	l/s
$H_1 =$	0,124	m
$Q =$	0,051	m^3/s
	50,566	l/s
$H_1 =$	0,124	m
$Q =$	0,051	m^3/s
	50,568	l/s
$H_1 =$	0,124	m
$Q =$	0,051	m^3/s
	50,569	l/s
$H_1 =$	0,124	m
$Q =$	0,051	m^3/s
	50,570	l/s
$H_1 =$	0,124	m
$Q =$	0,051	m^3/s
	50,571	l/s

Elaboración: Propia

Con el caudal obtenido se puede calcular el tirante crítico en el vertedero

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

$$y_c = 8,98 \text{ cm}$$

Los caudales obtenidos por los métodos mencionados

Tabla 3-132 Resultados del caudal 12

	Experimental teórico	Caudalímetro
Caudal - Q (l/s)	50,57	49,70

Elaboración: Propia

Caudal 13

Se tiene un registro en el caudalímetro un caudal de:

$$Q = 59,30 \text{ l/s}$$

Cálculo del caudal por las ecuaciones expuestas en este trabajo

Tabla 3-133 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 13

<i>Datos de la practica</i>		
Carga aguas arriba (h1) =	0,14	[m]
Carga aguas arriba (h2) =	0,113	[m]
Altura de cresta aguas arriba y aguas abajo (P) =	0,20	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

El cálculo se lo realiza por aproximaciones sucesivas de la siguiente manera:

La altura H_1 es la sumatoria del tirante h_1 sobre la carga del vertedor más la carga de velocidad $v^2/2g$.

Para realizar el cálculo mediante aproximaciones sucesivas se toma h_2 igual al H_1 , se obtiene el área hidráulica agua arriba del vertedor.

Según las ecuaciones 2-10a, y 2-10b el cual determinar el factor de minoración f sigue una relación según los tirantes aguas arriba y aguas abajo (limite modular) del vertedero para luego utilizar la ecuación 2-9 en la obtención del caudal

$$h_2 = H_1 = 0,113 \text{ m}$$

$$A = 0,084 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,14 \text{ m}$$

Limite modular

$$\frac{h_2}{h_1} = 0,81$$

Según el valor obtenido se utiliza la ecuación 2-10a, para el factor f

$$1,035 \left[0,817 - \left[\frac{h_2}{h_1} \right]^4 \right]^{0,0647}$$

$$f = 0,974$$

Caudal modular

$$Q = bfC_d \sqrt{g} h_2^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,974 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,113^{3/2}$$

$$Q = 0,0440 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 44,02 \text{ l/s}$$

Con el caudal obtenido se recalcula según la ecuación 2-7 en función de caudal y área

$$H_1 = h_2 + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$$H_1 = 0,04 + \frac{0,044^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,084^2}$$

$$H_1 = 0,127 \text{ m}$$

Con la carga obtenida reemplaza en la ecuación del caudal modular.

$$Q = bfC_d \sqrt{g} H_1^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,974 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,127^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,0524 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 52,45 \text{ l/s}$$

El procedimiento se continúa en esa secuencia hasta obtener una precisión deseada para el caudal Q y carga hidráulica H₁, donde el valor decimal tiene a ser próximo o igual.

Para no realizar reiterativamente el mismo procedimiento ya explicado se realizara una tabla con los valores de caudales y altura de carga en una planilla Excel.

Tabla 3-134 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H₁ del caudal 13

H ₁ =	0,133	m
Q =	0,056	m ³ /s
	56,132	l/s
H ₁ =	0,136	m
Q =	0,058	m ³ /s
	57,971	l/s
H ₁ =	0,137	m
Q =	0,059	m ³ /s
	58,945	l/s
H ₁ =	0,138	m
Q =	0,059	m ³ /s
	59,475	l/s
H ₁ =	0,139	m
Q =	0,060	m ³ /s
	59,769	l/s
H ₁ =	0,139	m
Q =	0,060	m ³ /s
	59,932	l/s

$H_1 =$	0,139	m
$Q =$	0,060	m^3/s
	60,024	l/s
$H_1 =$	0,139	m
$Q =$	0,060	m^3/s
	60,075	l/s
$H_1 =$	0,139	m
$Q =$	0,060	m^3/s
	60,104	l/s
$H_1 =$	0,139	m
$Q =$	0,060	m^3/s
	60,120	l/s
$H_1 =$	0,139	m
$Q =$	0,060	m^3/s
	60,130	l/s
$H_1 =$	0,139	m
$Q =$	0,060	m^3/s
	60,135	l/s
$H_1 =$	0,139	m
$Q =$	0,060	m^3/s
	60,138	l/s
$H_1 =$	0,139	m
$Q =$	0,060	m^3/s
	60,139	l/s
$H_1 =$	0,139	m
$Q =$	0,060	m^3/s
	60,140	l/s
$H_1 =$	0,139	m
$Q =$	0,060	m^3/s
	60,141	l/s
$H_1 =$	0,139	m
$Q =$	0,060	m^3/s
	60,141	l/s

Elaboración: Propia

Con el caudal obtenido se puede calcular el tirante crítico en el vertedero

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

$$y_c = 10,08 \text{ cm}$$

Los caudales obtenidos por los métodos mencionados

Tabla 3-135 Resultados del caudal 13

	Experimental teórico	Caudalímetro
Caudal - Q (l/s)	60,14	59,30

Elaboración: Propia

Caudal 14

Se tiene un registro en el caudalímetro un caudal de:

$$Q = 60,10 \text{ l/s}$$

Cálculo del caudal por las ecuaciones expuestas en este trabajo

Tabla 3-136 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 14

<i>Datos de la practica</i>		
Carga aguas arriba (h1) =	0,125	[m]
Carga aguas arriba (h2) =	0,114	[m]
Altura de cresta aguas arriba y aguas abajo (P) =	0,20	[m]
Ancho del canal de acceso (B) =	0,60	[m]

Elaboración: Propia

El cálculo se lo realiza por aproximaciones sucesivas de la siguiente manera:

La altura H_1 es la sumatoria del tirante h_1 sobre la carga del vertedor más la carga de velocidad $v^2/2g$.

Para realizar el cálculo mediante aproximaciones sucesivas se toma h_2 igual al H_1 , se obtiene el área hidráulica agua arriba del vertedor.

Según las ecuaciones 2-10a, y 2-10b el cual determinar el factor de minoración f sigue una relación según los tirantes aguas arriba y aguas abajo (limite modular) del vertedero para luego utilizar la ecuación 2-9 en la obtención del caudal

$$h_2 = H_1 = 0,114 \text{ m}$$

$$A = 0,075 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,125 \text{ m}$$

Limite modular

$$\frac{h_2}{h_1} = 0,91$$

Según el valor obtenido se utiliza la ecuación 2-10a, para el factor f

$$1,035 \left[0,817 - \left[\frac{h_2}{h_1} \right]^4 \right]^{0,0647}$$

$$f = 0,905$$

Caudal modular

$$Q = bfC_d \sqrt{g} h_2^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,905 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,114^{3/2}$$

$$Q = 0,0414 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 41,43 \text{ l/s}$$

Con el caudal obtenido se recalcula según la ecuación 2-7 en función de caudal y área

$$H_1 = h_2 + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$$H_1 = 0,04 + \frac{0,0414^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,075^2}$$

$$H_1 = 0,129 \text{ m}$$

Con la carga obtenida reemplaza en la ecuación del caudal modular.

$$Q = bfC_d \sqrt{g} H_1^{3/2}$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,905 \cdot 0,633 \sqrt{9,81} \cdot 0,129^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,0501 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 50,19 \text{ l/s}$$

El procedimiento se continúa en esa secuencia hasta obtener una precisión deseada para el caudal Q y carga hidráulica H_1 , donde el valor decimal tiene a ser próximo o igual.

Para no realizar reiterativamente el mismo procedimiento ya explicado se realizara una tabla con los valores de caudales y altura de carga en una planilla Excel.

Tabla 3-137 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H_1 del caudal 14

$H_1 =$	0,137	m
$Q =$	0,054	m^3/s
	54,474	l/s
$H_1 =$	0,141	m
$Q =$	0,057	m^3/s
	56,919	l/s
$H_1 =$	0,143	m
$Q =$	0,058	m^3/s
	58,421	l/s
$H_1 =$	0,145	m
$Q =$	0,059	m^3/s
	59,383	l/s
$H_1 =$	0,146	m
$Q =$	0,060	m^3/s
	60,015	l/s
$H_1 =$	0,147	m
$Q =$	0,060	m^3/s
	60,438	l/s

$H_1 =$	0,147	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	60,723	l/s
$H_1 =$	0,147	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	60,917	l/s
$H_1 =$	0,148	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	61,050	l/s
$H_1 =$	0,148	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	61,140	l/s
$H_1 =$	0,148	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	61,203	l/s
$H_1 =$	0,148	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	61,246	l/s
$H_1 =$	0,148	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	61,276	l/s
$H_1 =$	0,148	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	61,296	l/s
$H_1 =$	0,148	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	61,310	l/s
$H_1 =$	0,148	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	61,320	l/s
$H_1 =$	0,148	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	61,327	l/s

$H_1 =$	0,148	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	61,331	l/s
$H_1 =$	0,148	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	61,334	l/s
$H_1 =$	0,148	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	61,337	l/s
$H_1 =$	0,148	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	61,338	l/s
$H_1 =$	0,148	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	61,339	l/s
$H_1 =$	0,148	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	61,340	l/s
$H_1 =$	0,148	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	61,340	l/s
$H_1 =$	0,148	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	61,341	l/s
$H_1 =$	0,148	m
$Q =$	0,061	m^3/s
	61,341	l/s

Elaboración: Propia

Con el caudal obtenido se puede calcular el tirante crítico en el vertedero

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

$$y_c = 10,21 \text{ cm}$$

Los caudales obtenidos por los métodos mencionados

Tabla 3-138 Resultados del caudal 14

	Experimental teórico	Caudalímetro
Caudal - Q (l/s)	61,34	60,10

Elaboración: Propia

Para poder calibrar la ecuación del vertedero se utilizara los caudales del caudalímetro en litros segundo (l/s) y la altura de carga sobre el vertedero en centímetros (cm). Para la altura de carga, se debe obtener el tirante crítico sobre el vertedero.

Tabla 3-139 Caudales y altura de carga

H (cm)	Q caudalímetro(l/s)
5,14	21,90
6,92	34,20
3,33	11,40
3,50	12,30
4,13	15,80
5,16	22,00
5,81	26,30
7,04	35,10
8,44	46,10
8,69	48,10
9,27	53,00
8,88	49,70
9,99	59,30
10,08	60,10

Elaboración: Propia

La ecuación para este tipo de medidores de caudal experimentalmente es del tipo exponencial, representada por:

$$Q = KH^n$$

Donde:

Q = Caudal

K = Constante de calibración

H = Carga hidráulica con relación a la cresta del vertedero

n = Exponente

En la cual se conoce los valores de **H** y se necesita encontrar los de **K** y **n**, los cuales se aplican logaritmos a la ecuación:

$$\log Q = \log K + n \log H$$

Sustituyendo en la ecuación de la recta:

$$Y = mX + b$$

Donde:

$$Y = \log Q$$

$$m = n$$

$$X = \log H$$

$$b = \log K$$

Aplicando logaritmos a los caudales Q y las alturas de carga H:

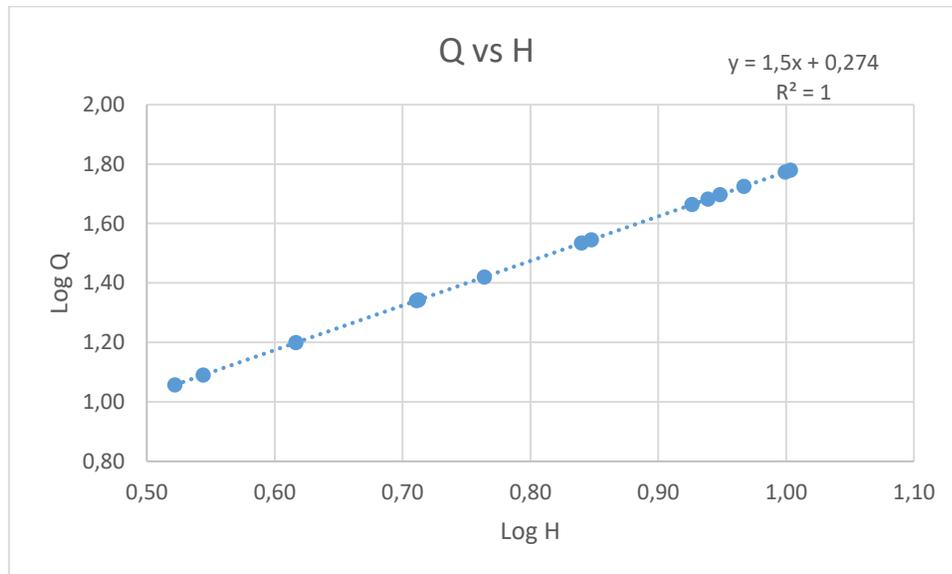
Tabla 3-140 Logaritmos de caudales y alturas de carga

H (cm)	Log H	Q (l/s)	Log Q
5,14	0,7110	21,90	1,3404
6,92	0,8400	34,20	1,5340
3,33	0,5219	11,40	1,0569
3,50	0,5439	12,30	1,0899
4,13	0,6164	15,80	1,1987
5,16	0,7123	22,00	1,3424
5,81	0,7640	26,30	1,4200
7,04	0,8475	35,10	1,5453
8,44	0,9265	46,10	1,6637
8,69	0,9388	48,10	1,6821
9,27	0,9669	53,00	1,7243
8,88	0,9482	49,70	1,6964
9,99	0,9994	59,30	1,7731
10,08	1,0033	60,10	1,7789

Elaboración: Propia

Luego de genera la gráfica de logaritmos, en el cual se agrega una línea de tendencia que brindará la ecuación de la recta, obteniendo de ella el valor de **n**.

Figura 3-6 Gráfica de logaritmos de caudales y carga hidráulica



Elaboración: Propia

De la ecuación de la recta:

$$n = 1,5$$

Entonces:

$$K = \log^{-1}(0,274) = 1,88$$

$$\log^{-1}(0,274) = 1,88$$

Al encontrar los valores de **K** y **n** se tiene la ecuación general específica para el vertedero semicircular estudiado

Ecuación de calibración

$$Q = 1,88 \cdot H^{1,5}$$

Dónde: Q (l/s), H (cm).

Y calculando caudales con la ecuación generada, se comparan con los reales experimentales.

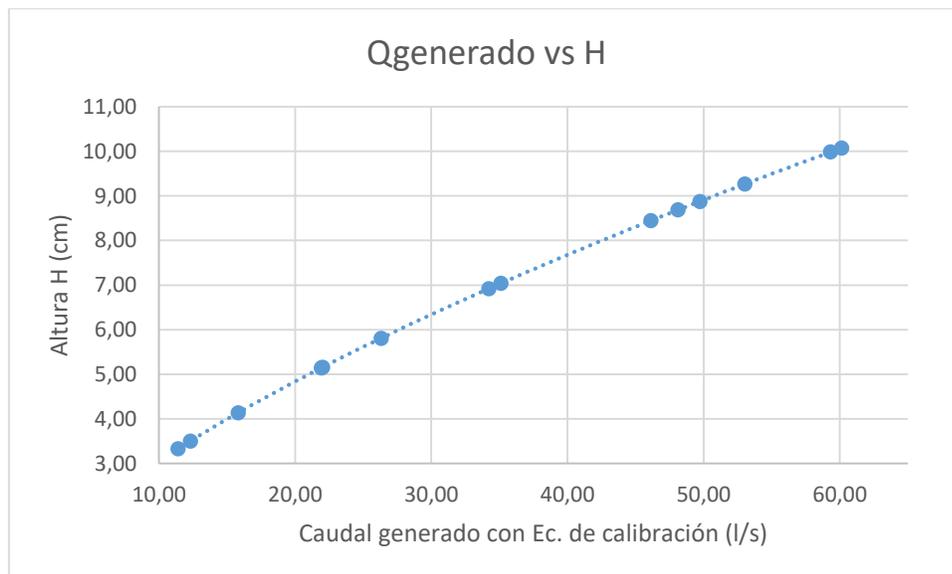
Tabla 3-141 Caudales generados con la ecuación de calibración

H (cm)	Q caudalímetro (l/s)	Qgenerado Ec. Calibrada (l/s)
5,14	21,90	21,91
6,92	34,20	34,21
3,33	11,40	11,40
3,50	12,30	12,30
4,13	15,80	15,81
5,16	22,00	22,01
5,81	26,30	26,31
7,04	35,10	35,11
8,44	46,10	46,12
8,69	48,10	48,12
9,27	53,00	53,02
8,88	49,70	49,72
9,99	59,30	59,32
10,08	60,10	60,12

Elaboración: Propia

Luego se grafica la curva de calibración para este vertedero:

Figura 3-7 Gráfica de curva de calibración



Elaboración: Propia

Calibración del coeficiente de descarga: para el vertedero semicircular su fórmula es:

$$Q = bfC_d \sqrt{g} H^{\frac{3}{2}}$$

Sabiendo que:

Q_{real}

$$= C_d Q_{\text{teórico}}$$

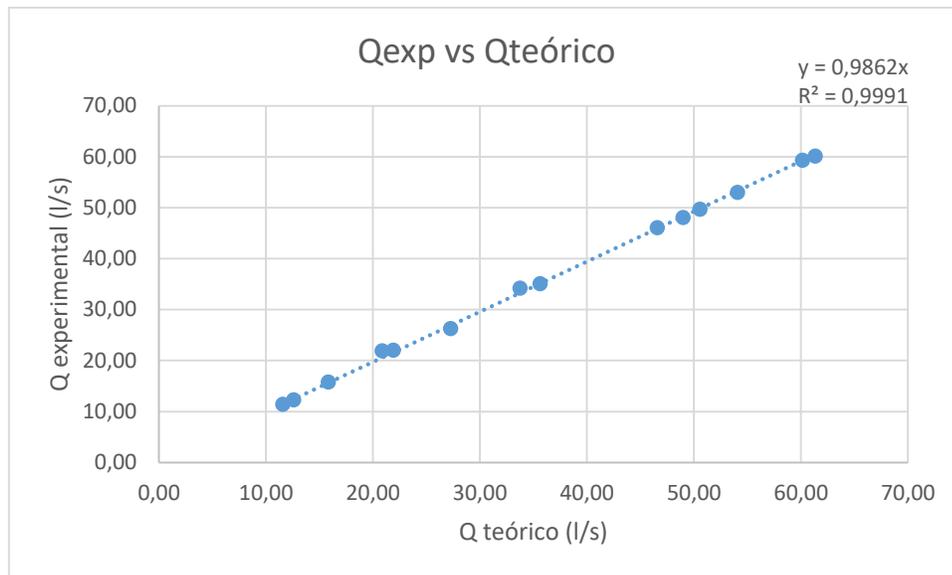
Se calculan los caudales teóricos, se grafican la relación entre este y el caudal real y se agrega una línea de tendencia para hallar el coeficiente de descarga:

Tabla 3-142 Caudal del caudalímetro y teórico

Q caudalímetro (l/s)	Q _{teórico} (l/s)
21,90	20,86
34,20	33,75
11,40	11,58
12,30	12,59
15,80	15,83
22,00	21,89
26,30	27,25
35,10	35,62
46,10	46,57
48,10	48,97
53,00	54,07
49,70	50,57
59,30	60,14
60,10	61,34

Elaboración: Propia

Figura 3-8 Gráfica de determinación del coeficiente de descarga



Elaboración: Propia

El factor de corrección será: F.C. = 0,986

Quedando la ecuación de la siguiente manera.

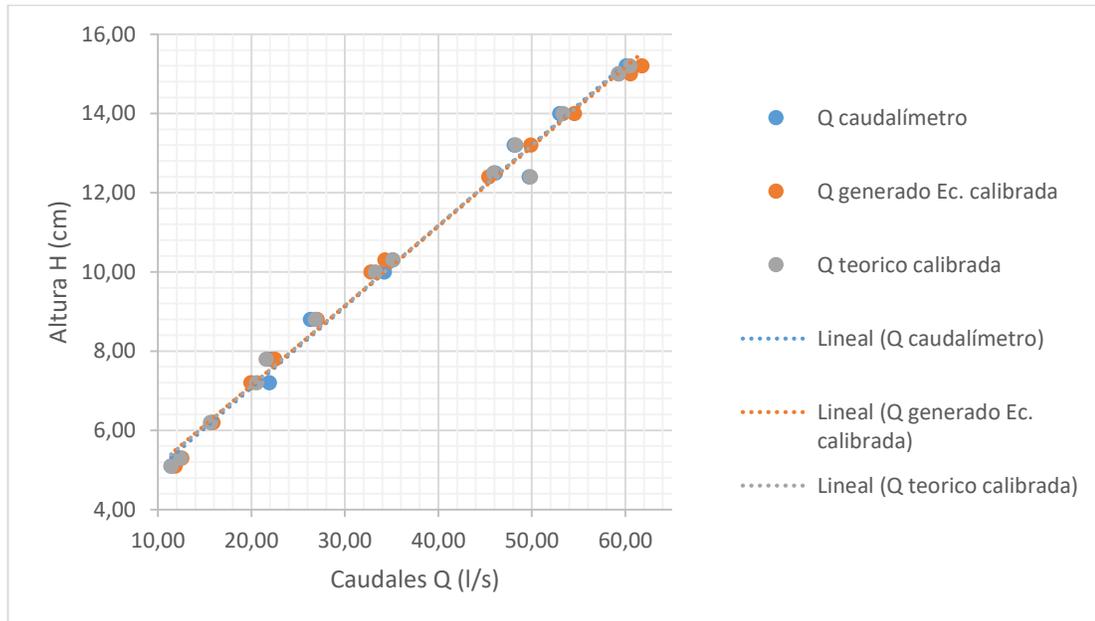
$$Q = 0,986bfC_d \sqrt{gH^{\frac{3}{2}}}$$

Tabla 3-143 Comparación de caudales

Q caudalímetro (l/s)	Qgenerado Ec. Calibrada (l/s)	Qteorico Calibrada (l/s)
21,90	21,91	20,57
34,20	34,21	33,28
11,40	11,40	11,42
12,30	12,30	12,42
15,80	15,81	15,61
22,00	22,01	21,58
26,30	26,31	26,87
35,10	35,11	35,12
46,10	46,12	45,92
48,10	48,12	48,29
53,00	53,02	53,31
49,70	49,72	49,86
59,30	59,32	59,30
60,10	60,12	60,48

Elaboración: Propia

Figura 3-9 Gráfica de comparación de caudales



3.4. Análisis de los resultados

Una vez obtenidos los resultados de las prácticas de vertedero de pared gruesa y pared delgada se realiza un análisis para los distintos caudales obtenidos.

3.4.1. Resultados de vertedero de pared delgada perfil semicircular

Se realizó el estudio para treinta caudales los cuales fueron aforados en el laboratorio de hidráulica y se obtuvieron resultados por varios métodos.

Tales resultados son comparados entre los valores del caudalímetro el cual registra la cantidad de agua que es utilizada al realizar la práctica, por medio del tanque de aforo en función a los tiempos cronometrados y por medio de las ecuaciones que nos brinda los estudios que fueron realizados para el vertedero semicircular de pared delgada.

Q (l/s)	Qgenerado Ec. Calibrada (l/s)	Qteorico Calibrada1 (l/s)	Qteorico Calibrada2 (l/s)	Q caudalimetro (l/s)
21,82	20,42	21,13	20,61	22,20
36,17	36,16	36,24	36,23	37,10
51,66	52,87	51,86	52,71	52,70
7,41	7,36	8,07	7,61	7,50
22,25	21,97	22,65	22,16	22,20
16,97	16,84	17,62	17,06	17,00
22,57	22,51	23,17	22,69	22,70
27,83	27,76	28,24	27,90	27,90
29,23	28,95	29,38	29,08	28,90
16,09	16,07	16,86	16,29	16,30
10,15	10,44	11,22	10,68	10,60
16,10	16,23	17,01	16,44	16,30
22,71	22,68	23,34	22,86	22,80
37,57	37,29	37,31	37,35	37,30
46,26	46,63	46,07	46,57	46,50
51,89	50,74	49,90	50,63	50,50
34,71	33,96	34,16	34,05	33,90
15,88	16,23	17,01	16,44	16,30
19,70	19,58	20,31	19,77	19,80
31,40	31,41	31,73	31,52	31,50
35,16	34,83	34,98	34,92	34,90

36,45	36,61	36,67	36,68	36,60
37,71	37,29	37,31	37,35	37,50
45,21	45,62	45,13	45,58	45,60
24,14	23,95	24,57	24,12	24,20
24,62	24,51	25,11	24,67	24,60
15,52	15,47	16,27	15,69	15,60
16,79	16,53	17,32	16,75	16,80
47,35	47,89	47,25	47,82	47,70
45,18	44,63	44,20	44,60	44,40

Se observa los caudales experimentales, el caudal generado calibrado, el caudal teórico calibrado se encuentran próximos al de caudalímetro, esto hace notar que la practica fue ejecutada satisfactoriamente.

a) Comparación entre tanque y caudalímetro

Q (l/s)	Q caudalímetro (l/s)	Q (l/s)	Q caudalímetro (l/s)
21,82	22,20	51,89	50,50
36,17	37,10	34,71	33,90
51,66	52,70	15,88	16,30
7,41	7,50	19,70	19,80
22,25	22,20	31,40	31,50
16,97	17,00	35,16	34,90
22,57	22,70	36,45	36,60
27,83	27,90	37,71	37,50
29,23	28,90	45,21	45,60
16,09	16,30	24,14	24,20
10,15	10,60	24,62	24,60
16,10	16,30	15,52	15,60
22,71	22,80	16,79	16,80
37,57	37,30	47,35	47,70
46,26	46,50	45,18	44,40

Si el caudal experimental no es muy próximo o igual al del caudalímetro se debe al mal registro y obtención de los tiempos ya que el volumen es un dato exacto y solo se depende del tiempo para la obtención del caudal.

En nuestra práctica se observa que están próximas al del caudalímetro. Se eliminó algunos datos de los tiempos obtenidos debido a ciertos errores accidentales que no afectan al cálculo del caudal ya que se trabajó con una muestra amplia en cuanto a datos, ya que la estadística nos permite realizar estudio con una cantidad mínima de 30 datos, y es aceptable el caudal expuesto y obtenido en nuestra práctica.

Los demás errores que se cometió en la práctica fueron resueltos y expuestos por medio de teoría de errores el cual permite la selección de datos más confiables debido a que la teoría de errores es una distribución normal.

b) Comparación entre fórmulas teóricas y caudalímetro

Q caudalímetro (l/s)	Q _{teórico1} (l/s)	Q _{teórico2} (l/s)
22,20	21,39	20,59
37,10	36,68	36,20
52,70	52,49	52,66
7,50	8,17	7,61
22,20	22,93	22,14
17,00	17,84	17,04
22,70	23,45	22,66
27,90	28,58	27,87
28,90	29,74	29,06
16,30	17,07	16,28
10,60	11,35	10,67
16,30	17,22	16,43
22,80	23,62	22,84
37,30	37,76	37,31
46,50	46,62	46,52

Q caudalímetro (l/s)	Q _{teórico1} (l/s)	Q _{teórico2} (l/s)
50,50	50,50	50,58
33,90	34,57	34,02
16,30	17,22	16,43
19,80	20,56	19,76
31,50	32,11	31,49
34,90	35,41	34,88
36,60	37,11	36,64
37,50	37,76	37,31
45,60	45,68	45,54
24,20	24,87	24,10
24,60	25,41	24,65
15,60	16,47	15,68
16,80	17,53	16,73
47,70	47,82	47,77
44,40	44,74	44,56

Si los caudales teóricos no son muy próximo o igual al del caudalímetro se debe a cometer errores de paralaje en la lectura de la altura de carga sobre la cresta del vertedero así mismo en la lectura de la mira mecánica, puesto que ambos caudales son dependiente de la carga hidráulica sobre el vertedero.

En nuestra práctica se observa que al igual que el caudal experimental, los teóricos utilizando las ecuaciones expuestas en el presente trabajo nos arroja resultados próximos al registrado por el caudalímetro, esto hace que si se cometieron los errores mencionados, los cuales no fueron de gran magnitud debido a que los resultados son aceptable en comparación al caudal modelo del caudalímetro.

c) Comparación entre caudales calibrados y caudalímetro

Qgenerado Ec. Calibrada (l/s)	Qteórico Calibrada1 (l/s)	Qteórico Calibrada2 (l/s)	Q caudalimetro (l/s)
20,42	21,13	20,61	22,20
36,16	36,24	36,23	37,10
52,87	51,86	52,71	52,70
7,36	8,07	7,61	7,50
21,97	22,65	22,16	22,20
16,84	17,62	17,06	17,00
22,51	23,17	22,69	22,70
27,76	28,24	27,90	27,90
28,95	29,38	29,08	28,90
16,07	16,86	16,29	16,30
10,44	11,22	10,68	10,60
16,23	17,01	16,44	16,30
22,68	23,34	22,86	22,80
37,29	37,31	37,35	37,30
46,63	46,07	46,57	46,50
50,74	49,90	50,63	50,50
33,96	34,16	34,05	33,90
16,23	17,01	16,44	16,30
19,58	20,31	19,77	19,80
31,41	31,73	31,52	31,50
34,83	34,98	34,92	34,90
36,61	36,67	36,68	36,60
37,29	37,31	37,35	37,50
45,62	45,13	45,58	45,60
23,95	24,57	24,12	24,20
24,51	25,11	24,67	24,60
15,47	16,27	15,69	15,60
16,53	17,32	16,75	16,80
47,89	47,25	47,82	47,70
44,63	44,20	44,60	44,40

Las ecuaciones utilizadas y los resultados experimentales se pueden ajustar realizando calibración los cuales se analizan comparando con el del caudalimetro. Tal calibración realizada nos arroja los resultados próximos al del caudalimetro.

3.4.2. Resultados de vertedero de pared gruesa cresta triangular

Según los resultados obtenidos por el método de las ecuaciones experimentales y el registro del caudalímetro en el abastecimiento del caudal al canal rectangular Rehbock son los siguientes con una cantidad de 14 caudales, los cuales fueron calibrados

Tabla de resultados de los caudales estudiados en laboratorio

Q caudalímetro (l/s)	Qgenerado Ec. Calibrada (l/s)	Qteórico Calibrada (l/s)
21,90	21,91	20,57
34,20	34,21	33,28
11,40	11,40	11,42
12,30	12,30	12,42
15,80	15,81	15,61
22,00	22,01	21,58
26,30	26,31	26,87
35,10	35,11	35,12
46,10	46,12	45,92
48,10	48,12	48,29
53,00	53,02	53,31
49,70	49,72	49,86
59,30	59,32	59,30
60,10	60,12	60,48

Elaboración: Propio

Se observan que los caudales tienen una proximidad, el cual indica que el experimento fue ejecutado satisfactoriamente a pesar que se tuvo una dificultad en el momento de incrementar el caudal.

Se debe realizar un patronamiento y obtener una ecuación para la estructura del vertedero Rehbock, el cual la ecuación permitiría la verificación de los caudales teóricos y del caudalímetro. Realizando un estudio y patronamiento de tal ecuación se debe realizar diversos experimentos y prácticas en el canal Rehbock. Bajo esta observación sólo se analizará los resultados de la ecuación teórica, de calibración y el caudalímetro.

Para una calibración se debe tener un caudal el cual a partir de ese caudal se obtiene una ecuación y se obtiene un caudal generado.

Para calibrar la ecuación se realizó el caudal del caudalímetro.

Comparación entre ecuaciones teóricas y caudalímetro

Q caudalímetro (l/s)	Q _{teórico} (l/s)
21,90	20,86
34,20	33,75
11,40	11,58
12,30	12,59
15,80	15,83
22,00	21,89
26,30	27,25
35,10	35,62
46,10	46,57
48,10	48,97
53,00	54,07
49,70	50,57
59,30	60,14
60,10	61,34

Si el caudal de las ecuaciones experimentales no es igual o más próximo al del caudalímetro se deben a los errores que se tiene al momento de obtener los datos, ya que existen filtraciones en el vertedero de pared gruesa ya sea por debajo y por las partes laterales que afectan al tirante real pero no repercute demasiado al realizar el procesamiento de datos ya que el caudal que no se estimó es diminuto y eso se refleja en los resultados obtenidos en cada una de las prácticas realizadas que su proximidad en cuanto a su comparación es aceptable y cercana.

CONCLUSIONES

En ambas prácticas se observa que los resultados experimentales, fórmulas teóricas, caudalímetro y los que se calibraron tienen proximidad el cual refleja que las prácticas realizadas fueron satisfactoriamente bien ejecutadas.

Para los resultados experimentales del vertedero de pared delgada utilizando el método volumétrico, el cual teniendo medidas exactas del tanque y solo dependiendo del tiempo, se observa que se obtuvo valores aceptables, la dificultad fue la obtención de los datos para los tiempos por la observación en el nivel de llenado del tanque a medida que se incrementaba el caudal.

Para el experimental teórico del vertedero de pared delgada se tuvo dificultad en la medición de la altura de carga sobre el vertedero, donde se midió con una regla, pero se verificó esa medida con la mira mecánica el cual permitió obtener caudales que tiene proximidad a los caudales obtenidos por los otros métodos.

Se utilizó el valor del caudalímetro para la calibración de vertedero de pared gruesa de cresta triangular, ya que se necesita tener un caudal obtenido para la calibración y luego comparar con los demás caudales, los cuales llegaron a tener una proximidad, esto refleja a que los caudales obtenidos en el laboratorio fueron bien ejecutados.

Para obtener los resultados del experimental teórico en el vertedero de pared gruesa, se tuvo una dificultad en la obtención de los datos por la observación de los tirantes aguas arriba y aguas abajo del vertedero, debido a una pequeña turbulencia teniéndose mucho cuidado en la obtención, para luego utilizar en las ecuaciones y observar los resultados que fueron aproximados en comparación a los demás caudales.

Para ambos vertederos se calibró el coeficiente de descarga según los caudales que se obtuvieron al realizar la práctica.

RECOMENDACIONES

Se debe realizar una calibración para todos los equipos y estructuras que se tiene en el laboratorio y conformar un libro o guía de calibración de ecuaciones para que puedan ser utilizadas en las prácticas del laboratorio hidráulica de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

Para tener un valor real experimental en la práctica de vertedero de pared gruesa se debe añadir un tanque el cual nos permita realizar el método volumétrico, así mismo se debe realizar mantenimiento al molinete para obtener las velocidades y obtener más valores de caudales y así se podrá comprobar los resultados en las prácticas que se realizan en el canal Rehbock.

Se debe realizar un mantenimiento periódico de todos los equipos para tener valores más exactos para todas las prácticas que se realizan en el laboratorio de hidráulica.

Se debe implementar o tener un tiempo de utilización de las bombas para las prácticas de los canales, el cual nos permita optimizar el trabajo y mantener la eficiencia de las bombas, así mismo tener el rango de la cantidad de caudal que se debe utilizar para tener un valor exacto en el caudalímetro

Se debe complementar equipos o materiales en todos los equipos y estructuras que se tiene en el laboratorio, el cual ayudaría a realizar las prácticas sin tener dificultades de cometer errores enormes los cuales se reflejarían en los resultados que se obtendrán.

BIBLIOGRAFÍA

Azevedo, N. J. M. y Acosta, A. G. (1976). Manual de hidráulica. 6^a ed. México. Editorial Harla, S. A.

Chow, V. T. (1959). Open Channel Hydraulics. EE. UU. Editorial McGraw.Hill,

Crump, E. S. (1952). A new method of gauging stream flow with little afflux by means of a submerged weir of triangular profile. Proc. I.C.E. 1

García, R. E. (1997). Manual de prácticas del laboratorio de hidráulica. Bolivia. Editorial Universitaria.

Lux, M. M. A. (2010). Medidores de flujo en canales abiertos. Guatemala. Universidad de San Carlos Guatemala.

Marbello, P. R. V. (2005). Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica. Colombia. Universidad Nacional de Colombia

Rocha, A. (1978). Hidráulica de Tuberías y Canales. Perú. Universidad Nacional de Ingeniería.

Skertchl, M. L. (1988). Manual de diseño de estructuras de aforo. Mexico.

Sotelo, A. G. (1982). Hidráulica General. Volumen I. 6^a ed. México. Editorial LIMUSA S.A.

Villón, M. (1995). Hidráulica de canales. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.