



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 21 de enero 2025

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad Neiva

El (Los) suscrito(s):

Daniel Felipe Rubiano Capera, con C.C. No. 1003804887,

Gildardo Andrés Torres Rivera, con C.C. No. 1075322775,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado

Titulado VALIDACIÓN DE UN DISPOSITIVO TIPO CANALETA PARA MEDIR CAUDALES PREDIALES

presentado y aprobado en el año 2025 como requisito para optar al título de

Ingeniero Agriola;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores” , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Gildardo Andrés Torres Rivera

Firma: Gildardo Andrés Torres R.

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Daniel Felipe Rubiano Capera

Firma: DANIEL FELIPE RUBIANO CAPERA



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: VALIDACIÓN TIPO CANALETA PARA MEDIR CAUDALES PREDIALES

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Rubiano Capera	Daniel Felipe
Torres Rivera	Gildardo Andres

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Bedoya Cardoso	Marlio

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Agrícola

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: ingeniería Agrícola

CIUDAD: Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2025 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 31



TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una **X**):

Diagramas x Fotografías x Grabaciones en discos Ilustraciones en general
 Grabados Láminas Litografías Mapas Música impresa Planos
 Retratos Sin ilustraciones Tablas o Cuadros x

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Medidor de Caudal	Flow meter	6. Ajuste de Curva	Curve Fitting
2. Caudales prediales	Predial flow rates	7. Regresión no lineal	Nonlinear regression
3. Calibracion	Calibration	8. _____	_____
4. Medidor de Flujo	Flow gauge	9. _____	_____
5. Comportamiento Hidraulico	Hydraulic behavior	10. _____	_____



RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

En respuesta a la creciente demanda de medición precisa de caudales en distritos de riego, impulsada por la normativa colombiana, este estudio valida un dispositivo tipo canaleta para medir caudales prediales, certificado con la patente 40074 de la Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia. La validación se realizó en el predio de ASOJUNCAL, Huila, utilizando un molinete OSSB1 del Laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica de la Universidad Surcolombiana.

El comportamiento hidráulico del dispositivo se determinó mediante la herramienta Curve Fitting del software MATLAB R2023b, complementada con análisis estadísticos como Cook's Distance y DFbeta. Los resultados obtenidos muestran que una ecuación potencial describe con alta precisión el comportamiento hidráulico del dispositivo en un rango de caudales de 3.5 l/s a 102 l/s. El coeficiente de determinación ajustado (R^2) alcanzó un 99,69% y el error cuadrático medio (RMSE) fue de 1.5853, lo que demuestra la fiabilidad y precisión del dispositivo para su aplicación comercial en la medición de caudales prediales en distritos de riego.



ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

In response to the growing demand for accurate flow measurement in irrigation districts, driven by Colombian regulations, this study validates a channel-type device for measuring field flows, certified with patent number 40074 by the Superintendence of Industry and Commerce of Colombia. The validation was carried out on a property in ASOJUNCAL, Huila, using an OSSB1 flow meter from the Fluid Mechanics and Hydraulics Laboratory of the Surcolombiana University.

The hydraulic behavior of the device was determined using the Curve Fitting tool in MATLAB R2023b, supplemented by statistical analyses such as Cook's Distance and DFbeta. The results show that a power equation accurately describes the hydraulic behavior of the device over a flow range from 3.5 l/s to 102 l/s. The adjusted determination coefficient (R^2) reached 99.69%, and the root mean square error (RMSE) was 1.5853, demonstrating the reliability and precision of the device for commercial application in field flow measurement in irrigation districts.



APROBACION DE LA TESIS

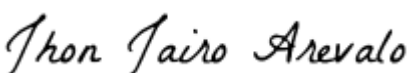
Nombre presidente Jurado: Marlio Bedoya Cardoso

Firma: 

Nombre Jurado: Gustavo Andres Mena Camacho

Firma: 

Nombre Jurado: John Jairo Arévalo Hernández

Firma: 

VALIDACIÓN DE UN DISPOSITIVO TIPO CANALETA PARA MEDIR CAUDALES PREDIALES

Trabajo de grado presentado al departamento de Ingeniería Agrícola
como requisito para optar al título de: Ingeniero Agrícola

Autores

Daniel Felipe Rubiano Capera: 20181168181

Gildardo Andrés Torres Rivera: 20181166868

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Agrícola

Neiva, Huila, Colombia. 2024

Director: D.Sc. Marlio Bedoya Cardoso

Firma

Codirector:

Nota de aceptación

Jurado: MSc. John Jairo Arévalo Hernández

Jurado: Ing. Gustavo Andrés Mena Camacho

VALIDACIÓN DE UN DISPOSITIVO TIPO CANALETA PARA MEDIR CAUDALES PREDIALES

RESUMEN

En respuesta a la creciente demanda de una medición precisa de la dotación de agua en los distritos de riego, impulsada por la normativa colombiana, específicamente la Ley 373 de 1997 y el Decreto 1090 de 2018; que promueven su uso eficiente, este estudio se enfocó en la validación con fines comerciales de un dispositivo tipo canaleta para medir caudales prediales, certificado con el número 40074 de Patente de Invención por la Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia.

La fase experimental se llevó a cabo en un predio del Distrito de Riego ASOJUNCAL, ubicado a 500 metros del intercambiador vial que conecta los municipios de Neiva y Yaguará, Huila. Para la validación, se recopilaron datos de caudales intraprediales, se calibró y verificó el dispositivo utilizando un molinete OSSB1 proporcionado por el Laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica de la Universidad Surcolombiana.

La determinación del comportamiento hidráulico del dispositivo se realizó mediante la herramienta aplicativa Curve Fitting del software MATLAB R2023b, complementado con análisis estadísticos utilizando métodos como Cook's Distance y DFbeta.

Los resultados muestran que una ecuación potencial describe con precisión el comportamiento hidráulico del dispositivo, abarcando un rango de caudales desde 3.5 l/s hasta 102 l/s, con un coeficiente de determinación ajustado al modelo (R^2) del 99,69% y un RMSE de 1,5853.

Palabras clave: medidor de caudal, caudales prediales, canaleta, calibración, aforador, comportamiento hidráulico, Curve Fitting, regresión no lineal.

SUMMARY

In response to the growing demand for accurate water allocation measurement in irrigation districts, driven by Colombian regulations, specifically Law 373 of 1997 and Decree 1090 of 2018, promoting its efficient use, this study focused on the commercial validation of a canal-type device for measuring predial flow rates, certified with patent number 40074 by the Superintendence of Industry and Commerce of Colombia.

The experimental phase was conducted on a property within the ASOJUNCAL Irrigation District, located 500 meters from the road interchange connecting the municipalities of Neiva and Yaguará, Huila. For validation, intrapredial flow data were collected, and the device was calibrated and verified using an OSSB1 flow meter provided by the Fluid Mechanics and Hydraulic Laboratory of the Surcolombian University.

The hydraulic behavior of the device was determined using the Curve Fitting tool in MATLAB R2023b software, supplemented with statistical analyses using methods such as Cook's Distance and DFbeta.

The results show that a potential equation accurately describes the hydraulic behavior of the device, covering a flow rate range from 3.5 l/s to 102 l/s, with a coefficient of determination fitted to the model (R^2) of 99,69% and an RMSE of 1,5853.

Keywords: Flow meter, Predial flow rates, Calibration, Flow gauge, Hydraulic behavior, Curve Fitting, Nonlinear regression.

INTRODUCCIÓN

La producción agrícola mundial enfrenta desafíos fundamentales en la necesidad de adoptar prácticas sostenibles, como se subraya en la obra de Santos Pereira et al. (2004). En este contexto, la gestión eficiente del agua en la agricultura, especialmente en distritos de riego, se vuelve imperativa para el progreso socioeconómico y la seguridad alimentaria (Gurovich, 1985). Pedroza e Hinojosa (2014) establecen que un distrito de riego se define como una entidad compuesta por una red de canales de riego, una o varias fuentes comunes de abastecimiento de agua y sus correspondientes áreas de cultivo, las cuales presentan una disposición relativamente compacta. Estos distritos cuentan con un decreto de creación, así como un título de concesión otorgado por las autoridades ambientales, que les confiere el derecho para la gestión, operación y conservación de la infraestructura hidroagrícola. Sin embargo, la problemática colombiana se ve agravada por la falta de dispositivos precisos para medir los volúmenes de agua, según el informe del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019), y la ausencia de inversiones en tecnología agrava aún más la situación (Banco Interamericano de Desarrollo, 2017).

Desde la perspectiva de Palau (2005), el control efectivo del sistema abastecedor de agua solo es posible mediante una medición exhaustiva de variables hidráulicas, incluyendo el caudal circulado por tuberías y/o aforadores para consumo y suministro de los usuarios. En el estudio realizado por Gómez (et al. 2020), el autor plantea que la implementación de dispositivos contadores de flujo no solo garantizará una medición exacta de corrientes de agua, sino que también facilitará el cumplimiento de las normativas colombianas relacionadas con la instalación de medidores de consumo de agua. La falta de una medición precisa no solo socava las regulaciones internacionales (ISO 1100-1:2003 / ISO 4064:2014), sino que también dificulta la implementación de estrategias para el manejo sostenible del agua (Pérez et al, 2018), afectando tanto al ecosistema como a la productividad agrícola.

Chamba y Benavides (2018) realizaron una evaluación de la efectividad de tres dispositivos de aforo en sistemas de riego: una canaleta Parshall (CP), un aforador con cuello (AC) y un aforador sin cuello (AS). Realizaron 54 mediciones, tanto en campo como en laboratorio, utilizando métodos como el del flotador para determinar la precisión de cada dispositivo. Los resultados revelaron que, para caudales bajos (0,001 L/s a 0,002 L/s), las variaciones fueron mínimas, mientras que para caudales más altos (0,008 L/s a 0,063 L/s), las variaciones fueron ligeramente mayores.

Con base en estos datos, los autores desarrollaron curvas de calibración para cada dispositivo y concluyeron que la canaleta Parshall (CP) fue la más precisa bajo condiciones de flujo supercrítico, mostrando los menores errores de medición. Este estudio subraya la importancia de seleccionar adecuadamente los dispositivos de aforo y de emplear modelos matemáticos precisos para optimizar la distribución del agua. Similar a nuestro proyecto, Chamba y Benavides formularon ecuaciones que describen el comportamiento hidráulico de los dispositivos evaluados.

Por otra parte, en el proyecto de grado de Aponte (2019), titulado “Diseño y Construcción de una Canaleta Parshall para el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Santo Tomás Sede Central”, y al compararlo con el desarrollo de nuestro dispositivo tipo canaleta, ambos presentan enfoques diferentes para el cálculo del caudal, utilizando variables distintas.

A pesar de las diferencias en los enfoques de cálculo, los resultados experimentales reportados por Aponte (2019) validan la precisión operativa de su dispositivo. Sus mediciones mostraron una alta concordancia entre los datos experimentales y los cálculos teóricos, lo que confirma la exactitud de su diseño. La aplicación de una ecuación basada en constantes hidráulicas permitió minimizar las desviaciones entre los caudales medidos y calculados, lo que valida su dispositivo como una herramienta educativa eficaz en el campo de la hidráulica.

Mientras que nuestro método emplea principios geométricos (área de la sección transversal) y físicos (velocidad del flujo), Aponte (2019) implementó un cálculo basado en constantes hidráulicas (c y n), las cuales están establecidas para las dimensiones específicas de su canaleta Parshall.

Como respuesta a la ineficiencia en el uso del agua y la falta de dispositivos de medición en los distritos de riego colombianos, Mena y Sánchez (2019) propusieron un dispositivo tipo canaleta. Por lo tanto, en este proyecto se llevó a cabo el proceso de validación del dispositivo para determinar su eficacia, limitaciones y funcionalidad con fines de iniciar la fase de comercialización del aforador.

Para la ejecución de este proyecto, se implementaron pruebas de ensayo, medición y mantenimiento del dispositivo medidor de velocidad de manera rigurosa, cumpliendo las indicaciones del manual de usuario. El dispositivo se ajustó al contexto del distrito de adecuación de tierras de mediana escala El Juncal-ASOJUNCAL como a las necesidades específicas de los futuros usuarios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

1. DISPOSITIVO AFORADOR.

El componente principal de este proyecto fue un dispositivo aforador tipo canaleta construido en fibra de vidrio, propuesto por Mena y Sánchez en (2019) para medir caudales prediales. Este dispositivo marcó el punto de partida de la investigación llevada a cabo en este proyecto de validación (Figura 1).



Figura 1. DISPOSITIVO AFORADOR INSTALADO.

2. MOLINETE OSSB1

Este instrumento desempeña un papel fundamental al medir la velocidad del agua en canales abiertos. Es empleado de manera puntual para medir la velocidad del agua en perfiles horizontales, abarcando un rango de flujo que va desde los 0,025 m/s hasta los 10 m/s (Figura 2).

El diseño y la fabricación de este dispositivo se basa en acero inoxidable, material resistente a la corrosión y otros agentes patógenos presentes en el entorno, permitiendo su implementación en condiciones ambientales extremas. Su uso prolongado y sin inconvenientes en condiciones normales está vinculado al mantenimiento y manejo adecuado, tal como se indica en el manual del fabricante (Molinete Universal OSSB1).

Gracias a las características específicas de este dispositivo, presenta campos de aplicación precisos en la medición manual de caudales, desde flujos bajos como arroyos o quebradas hasta flujos más intensos, como situaciones de inundación, entre otros. Gracias a su baja sensibilidad de medición, se puede confiar en sus resultados incluso en canales con flujos muy lentos.



Figura 2. MOLINETE OSSBI CON ACCESORIOS.

3. PANEL LECTOR PVD200

Este componente electrónico, equipado con una pequeña pantalla, está diseñado para medir la velocidad de flujo generado por un molinete con rotación mecánica, como el OSSB1. Los datos de velocidad se muestran en su pantalla LCD directamente en unidades de m/s o pies/segundo, según la configuración previa. Cada dato o valor de velocidad se registra en un lapso de aproximadamente 10 segundos, y el propio PVD200 (Contador de Molinete PVD200) emite un sonido intermitente para indicar la finalización de la medición.

Su interfaz intuitiva lo convierte en un dispositivo fácil de usar, ofreciendo suficiente versatilidad para adaptarse a una amplia gama de configuraciones y aplicaciones en su ámbito. Es esencial configurar las ecuaciones previamente antes de su uso para evitar posibles imprecisiones en los datos o unidades obtenidas (Figura 3).



Figura 3. PANEL LECTOR PVD200.

Metodología

Para validar este dispositivo aforador, la sección metodológica fue estructurada en ítems secuenciales, cada uno diseñado para conducir hacia la recopilación de datos. Estos datos fueron fundamentales para la determinación precisa de los caudales promedio en diferentes láminas de agua presentes o circulantes a través del dispositivo tipo canaleta.

Se hizo un énfasis particular en la obtención de datos de manera rigurosa y siguiendo protocolos estandarizados. Este enfoque meticuloso garantiza la fiabilidad y precisión de los resultados obtenidos. La atención cuidadosa a cada paso del proceso contribuyó a la robustez y confiabilidad de la validación. Este enfoque integral tuvo como objetivo primordial verificar la efectividad del dispositivo en diversas condiciones, lo cual es esencial para su aplicación práctica.

El diagrama de procesos mostrado en la Figura 4 detalla las etapas que constituyeron la fase metodológica de este proyecto. Las secciones se organizaron de manera secuencial, con flechas que indican el flujo y el orden lógico de ejecución de cada proceso. Cabe señalar que algunas secciones incluyen subdivisiones específicas que facilitaron la adecuada implementación de esta fase metodológica.

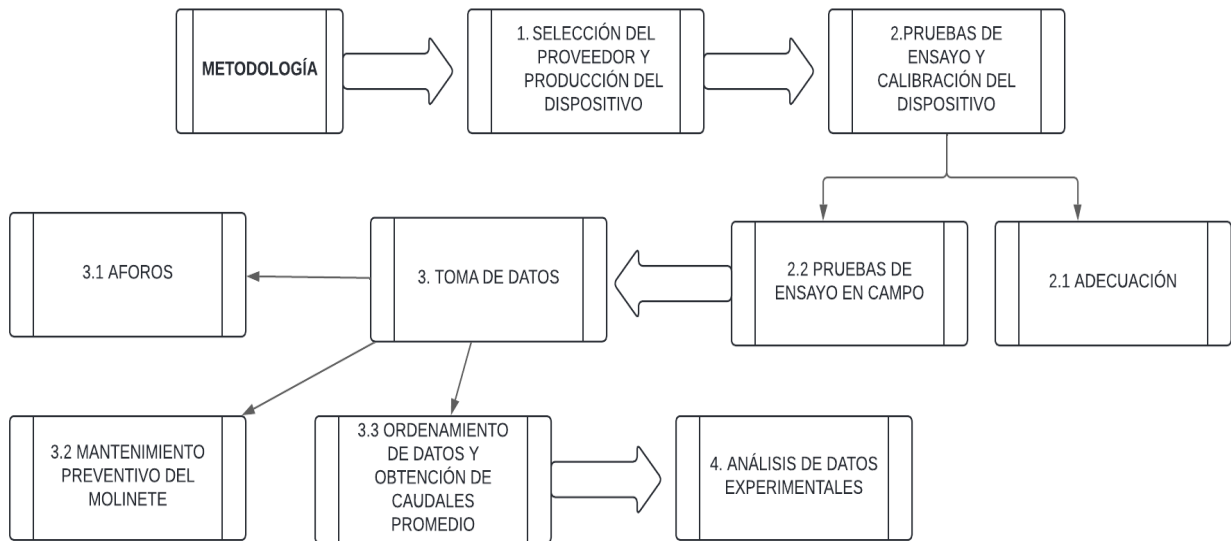


Figura 4. *Diagrama de procesos metodológicos.*

1. SELECCIÓN DE PROVEEDOR Y PRODUCCIÓN DEL DISPOSITIVO

En esta fase procedimental, se priorizó la selección del proveedor y la fabricación del dispositivo. Se llevaron a cabo análisis de las características físicas del material primario de la canaleta, como dureza, resistencia a la corrosión, flexibilidad, ligereza y costo.

Para la fabricación del dispositivo, se suministró un plano con las medidas y dimensiones del dispositivo a validar. Este prototipo consta de un vertedero rectangular, una cinta métrica anclada, una regleta y un ducto para el flotador, el cual incluye un orificio en forma de ranura que funciona bajo el principio de vasos comunicantes, diseñado para permitir el flujo de agua y facilitar las funciones de elevación y descenso del flotador.

2. PRUEBAS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN DEL DISPOSITIVO

2.1. ADECUACIÓN

Para iniciar esta segunda fase metodológica, fue necesario realizar ajustes preliminares en el sitio de trabajo, como la reconstrucción de los muros de concreto que convergen la sección del canal secundario por donde fluye el agua. Así mismo, se adaptó el dispositivo aforador en dicha sección, realizando modificaciones en las partes laterales, muros y base del canal para una mejor instalación.

Se construyeron 4 paredes de ladrillo y concreto en forma de cuña para dirigir el flujo a través del dispositivo tipo canaleta. Además, se utilizó plástico y caucho para prevenir cualquier fuga de agua (Figura 5).



Figura 5. ADECUACIÓN DEL CANAL SECUNDARIO

Una vez instalado el dispositivo tipo canaleta en el lugar de experimentación para llevar a cabo la calibración, fue necesario garantizar su nivelación. Para lograrlo, se utilizó un nivel de mano, tal como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. NIVELACIÓN PREVIA PARA EL DISPOSITIVO

Posteriormente, se realizaron labores de limpieza enfocadas en eliminar materiales no deseados, como trozos de concreto, ladrillos fracturados y rocas, comúnmente denominados material de relleno. Estos elementos impedían que el agua recorriera tanto a través del dispositivo como de la acequia, causando obstrucciones en el flujo y generando represamiento (ver Figura 7).



Figura 7. LIMPIEZA PREVENTIVA DEL CANAL SECUNDARIO

2.2. PRUEBAS DE ENSAYO EN CAMPO

Se verificaron las condiciones de funcionamiento en el distrito y se llevaron a cabo pruebas de campo antes de iniciar la toma de datos, asegurando que el flujo de agua fuera constante y que no se generaran inundaciones aguas abajo de la canaleta que pudieran causar descarga sumergida o ahogado que alterara las mediciones.

Posteriormente, se ensamblaron todas las partes del dispositivo OSSB1 siguiendo las instrucciones detalladas en el manual proporcionado por el fabricante. Finalmente, se llevaron a cabo pruebas preliminares con el molinete OSSB1 para corregir posibles errores en la medición y captura de datos.

3. TOMA DE DATOS

3.1. AFOROS

El dispositivo tipo canaleta está equipado con dos instrumentos de medición de tirante en el ancho de garganta. El primero consiste en una regleta de 40 cm de altura, fabricada en acrílico, la cual registra la altura de la lámina de agua que atraviesa la canaleta. Estos registros se utilizaron para establecer una ecuación matemática que describe el comportamiento de los caudales utilizando los datos recopilados.

El segundo instrumento de medición es un flotador ubicado dentro de un conducto adyacente a la canaleta, con un diámetro de 2 pulgadas. Este flotador utiliza el principio de los vasos comunicantes a través de una ranura vertical en la pared de la canaleta, que permite la entrada de agua y acciona el flotador de forma ascendente o descendente. El conducto está construido en PVC y fue acoplado a la canaleta de fibra de vidrio.

El mecanismo de medición del flotador tiene una estructura cilíndrica fabricada con un material suave y flexible. La base del flotador tiene un peso de 3,1 gramos, una altura de 31 mm y un diámetro de 37 mm. En esta base se inserta una varilla de plástico de 41 cm, acompañada por una cinta métrica transparente de 40 cm de longitud. La varilla pesa 8,1 gramos y tiene un diámetro de 0,8 mm.

Para las mediciones de velocidad, se empleó el molinete OSSB1 de HyQuest Solutions, proporcionado por el laboratorio de Hidráulica y Mecánica de Fluidos de la Universidad Surcolombiana. Este molinete está equipado con un panel lector de datos, un accesorio totalmente digital de referencia PVD200, el cual fue calibrado previamente. La figura 8 muestra su curva de calibración (Contador de Molinete PVD200).

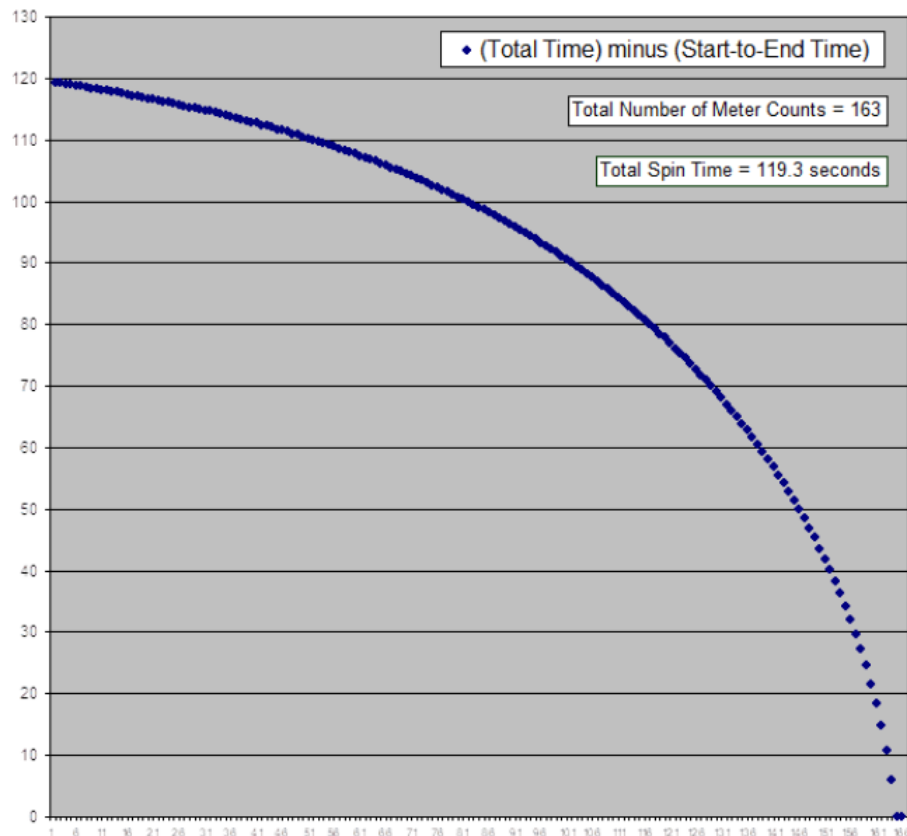


Figura 8. CURVA DE CALIBRACIÓN CONTADOR PVD200

El proceso de medición de valores de velocidad se dividió en dos secciones siguiendo los criterios establecidos por Aparicio (1987) para la evaluación de las velocidades del flujo del agua. Según el autor, la velocidad media puede obtenerse midiendo a una profundidad del 60% del tirante, donde el tirante denota la altura del agua que transita en el conducto, con referencia al centro de su sección. Este enfoque es aplicable en condiciones donde el tirante no es significativamente elevado.

Por otro lado, cuando el tirante es mayor (valor subjetivo), Aparicio sugiere tomar dos medidas de velocidad a profundidades del 20% y del 80% de la altura del tirante, respectivamente. Además, recomienda realizar tres o más lecturas de velocidad bajo las mismas condiciones en la misma sección, asegurando así una evaluación más precisa del flujo.

Lo mencionado por Aparicio se realizó de la siguiente manera:

- **Mediciones de velocidad desde los 5 cm hasta los 19,9 cm:** sujeto al primer criterio de medición, este procedimiento implicó sumergir la hélice del molinete (ver Figura 10) a un nivel correspondiente al 60% de la altura del tirante de agua que fluye por la canaleta. Siguiendo este parámetro, se determinó que la altura mínima de la columna de agua en el dispositivo tipo canaleta debe ser de 5 cm, basado en las observaciones. Por ejemplo, cuando la distancia entre el cuerpo de la hélice (ver Figura 9) y la base del dispositivo es menor a 2 cm, se produce una obstrucción en el giro de las aspas del molinete, lo que conlleva a una medición de velocidad errónea.
- **Mediciones de velocidad desde los 20 cm hasta los 35 cm:** consistió en el sumergimiento de la hélice del molinete en dos secciones, un sumergimiento del 20% y otro del 80% con respecto a la altura de columna de agua. Es decir, que por cada altura entre los 20 cm y los 35 cm se generaron 2 secciones para la medición de velocidades.

Utilizando el dispositivo OSSB1, se registraron las velocidades en tres puntos a lo ancho de la garganta, con tres repeticiones en cada punto: derecha, centro e izquierda, cuando la columna de agua alcanzaba una altura de X cm. Esto resultó en un total de 9 mediciones de velocidad para cada nivel de sumergimiento del molinete en cada tirante de agua. Las velocidades y el caudal medido se determinaron empezando las ecuaciones de la tabla 1.

Tabla 1. ECUACIONES EMPLEADAS PARA DETERMINAR EL CAUDAL

NOMBRE	EXPRESIÓN MATEMÁTICA	PARÁMETROS O VARIABLES	Nº
Revoluciones por segundo	$n = \frac{U}{t}$	<i>n</i> : revoluciones por segundo, <i>U</i> : revoluciones de la hélice, <i>t</i> : tiempo de medición (s)	(1)
<i>Fuente: Young, H. D., & Freedman, R. A. (2019). Física universitaria. Pearson.</i>			
Velocidad de Flujo (m/s)	para $n < 0.14$; $V = 2.1335 * n + 0,0308$ $V = 2.2904 * n + 0,0115$ para $n > 2.69$; $V = 2.3481 * n - 0,1437$	<i>V</i> : velocidad de flujo (m/s), <i>n</i> : revoluciones por segundo.	(2) (3) (4)
<i>Fuente: Contador de molinete PVD200 KISTERS. (s. f). KISTERS.</i>			
Velocidad promedio (m/s)	$\bar{V} = \frac{Vp1 + Vp2 + \dots + Vpn}{n}$	\bar{V} : velocidad promedio a tal altura del molinete (m/s). $Vp1+Vp2+\dots+Vpn$: velocidad de cada uno de los daos de muestra (m/s).	(5)
<i>Fuente: Levin, R. I., & Rubin, D. S. (2017). Estadística para administración y economía. Pearson.</i>			
Área de un rectángulo (m2)	$A = b * h$	<i>A</i> : área de un rectángulo (m ²), <i>b</i> : ancho de garganta (m), <i>h</i> : carga hidráulica en sección convergente o tirante (m).	(6)
<i>Fuente: McKeague, C. P. (2010). Matemáticas: Conceptos y aplicaciones. Cengage Learning.</i>			
Caudal (L/s)	$Q = (A * \bar{V}) * 1000$	<i>Q</i> : caudal (L/s), <i>A</i> : área de la sección, \bar{V} : velocidad promedio de la lámina de agua.	(7)
<i>Fuente: Chow, V. T. (1959). Hidráulica de canales abiertos. McGraw-Hill.</i>			

El dato de altura tomado por el flotador es registrado una vez el flujo del agua transcuriente por la canaleta, acciona el flotador, mostrando el valor del tirante mediante la cinta de medición anclada la varilla del flotador.

Para la altura marcada por la regleta, el tirante se tomó de forma visual una vez el flujo atravesaba el aforador. Los aforos se realizaron posteriormente a la toma de datos de tirantes, comenzando por el cálculo del área de la sección geométrica (rectángulo) donde se instalaron los medidores de altura. El área se calculó utilizando la ecuación 6, donde la

base o ancho de la garganta (b) del dispositivo fue un valor constante de 30 cm, mientras que el tirante (h) fue un valor variable, dependiente del flujo de agua.

Con los datos de altura obtenidos por ambos métodos de medición (regleta y flotador) y las velocidades promedio del flujo compiladas en las láminas de agua, se calculó el caudal empleando la ecuación 7. Este proceso fue automatizado en hojas de cálculo de Microsoft Excel, donde al ingresar los datos requeridos en las ecuaciones, se obtuvieron los valores de los aforos correspondientes a diferentes alturas de carga hidráulica.

3.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL MOLINETE

Fue necesario realizar mantenimientos preventivos al molinete para garantizar su óptimo desempeño, siguiendo las recomendaciones del fabricante que indican un tiempo máximo de uso en campo del OSSB1 de una hora. Posteriormente, se procede a realizar el mantenimiento de la siguiente manera:

- Desmontar el cuerpo de la hélice de la pesa y de la varilla sujetadora (Figura 9).
- Destapar el recipiente de limpieza y llenar $\frac{3}{4}$ de su capacidad con Varsol (solvente alifático derivado del petróleo).
- Desensamblar el conjunto del ventilador del cuerpo del medidor aflojando el tornillo de reentrenamiento y separando el cuerpo del ventilador.



Figura 9. CUERPO DE VENTILADOR DESARMADO.

- Retirar el cuerpo del eje y el portaventilador (no dejar en ningún lugar donde pueda atraer partículas de suciedad).



Figura 10. SEPARACION DE VENTILADOR Y EJE DE ROTACIÓN.

- Vaciar el aceite usado en un contenedor de reciclaje (no tirar el aceite al suelo ni verter en fuentes hídricas, esto contaminará el medio ambiente).
- Colocar el conjunto de eje y cojinete en el recipiente de limpieza (Figura 11).



Figura 11. DESENSAMBLE DEL COJINETE Y RODAMIENTOS DEL EJE.

- Agitarlos.
- Llenar el ventilador con varsol, coloque el pulgar en lugar del transportador y agítelo muy fuerte durante unos segundos.
- Secar con secador el conjunto del eje, el portaventilador y el ventilador.

- Volver a montar el ventilador, si se finaliza la medición de descarga.
- Limpiar la caja y regrese el conjunto del ventilador a la caja.
- Al continuar con una medición de descarga, rellenar el ventilador con aceite.
- Probar el giro del medidor de corriente (Figura 12).



Figura 12. PRUEBA DE GIRO DEL VENTILADOR.

- Repetir todos los pasos anteriores para cada medición de descarga.

3.3. ORDENAMIENTO DE DATOS Y OBTENCION DE CAUDALES PROMEDIO

Se emplearon herramientas manuales y posteriormente digitales para asegurar un orden, estética y comprensión óptima de los datos. En cuanto a las herramientas manuales, se registraron los datos agrupados utilizando papel y lápiz, organizándolos en casillas que contenían nueve valores de velocidades y tres valores de altura. Estas alturas incluían los valores de altura de la corriente de agua medida con la regleta, la altura indicada por el flotador y la profundidad sumergida de la hélice del molinete respecto al tirante.

La organización de los datos de manera digital se llevó a cabo semanalmente tras la recolección manual, registrándolos en tablas de Microsoft Excel donde se aplicaron las ecuaciones previamente programadas.

Con los datos de campo recopilados se procedió a llenar la tabla 2 con los valores específicos en las casillas de velocidades (m/s) en cada una de sus posiciones, para que así automáticamente los recuadros de velocidad promedio (m/s) y caudal (L/s) tuvieran valores estimados dentro de su rango de altura (altura de la regla).

Para los valores de altura mayores o iguales a 20 cm, se empleó el mismo diseño de tabla (tabla 2), teniendo una hoja de cálculo independiente para ambos porcentajes de sumergimiento respectivamente (80% y 20%).

Tabla 2. REGISTRO DE VELOCIDADES Y OBTENCIÓN DE CAUDAL.

		VELOCIDADES (M/S)				
		<i>POSICIÓN IZQ.</i>	<i>POSICIÓN CENTRAL</i>	<i>POSICIÓN DER.</i>	VELOCIDAD PROMEDIO	CAUDAL PROMEDIO
					<i>(m/s)</i>	<i>(L/s)</i>
ALTURA REGLA	11,5	0,283	0,290	0,281		
<i>(cm)</i>						
ALTURA FLOTADOR	7,9	0,294	0,281	0,273	0,283	8,142
<i>(cm)</i>						
SUMERGIMIENTO DE LA HÉLICE	7	0,281	0,276	0,284		
<i>(cm)</i>						

Los caudales totales de los datos tomados fueron ordenados consecutivamente en una sola tabla para así poder observar el comportamiento de varios flujos de agua en una misma altura en conjunto; de esta manera fue más fácil realizar un primer análisis a dichos datos para posteriormente detallar de manera puntual el comportamiento de cada uno de los valores.

Así mismo, se obtuvieron dos tablas con los datos totales almacenados; una tabla con los caudales dependientes de la altura de la regleta y otra tabla con caudales dependientes de la altura que marca el flotador, donde lo que varió fue el valor de altura.

4. ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

Para el tratamiento de los datos experimentales se procedió a realizar:

- El análisis y depuración de datos atípicos presentes: para este tipo de procesamiento de datos se realizaron análisis de datos residuales, estandarizados y studentizados.
- El Análisis y depuración de datos influyentes, pertenecientes a la nube de puntos o de tendencia del modelo.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Se empleó un análisis estadístico para identificar con precisión la presencia de datos influyentes que afectan el comportamiento de la regresión. Además del análisis de datos residuales, se utilizaron metodologías analíticas como el análisis estandarizado y el análisis studentizado, los cuales fueron ejecutados en el software RStudio sobre todos los datos de campo recopilados.

Posteriormente, se aplicaron métodos adicionales de análisis y depuración de datos influyentes, tal como se describió con anterioridad. Entre estos métodos se encuentran el Cook's Distance, el estadístico Dfbeta, el estadístico CovRatio y el estadístico Dffits. Estos métodos se utilizan en el

contexto del análisis de regresión para evaluar la influencia individual de los datos en el modelo, detectando y analizando datos influyentes en los diferentes aspectos específicos que evalúan.

Se realizó un tratamiento estadístico inicial de los datos de campo mediante el análisis de los residuos. Según Montgomery y Vining (2012), el análisis de residuos es fundamental para evaluar el ajuste de los modelos de regresión lineal. Los residuos, que representan las diferencias entre los valores observados y los predichos por el modelo, se examinaron para verificar el cumplimiento de ciertos supuestos, utilizando la herramienta Curve Fitting del software MATLAB 2023b.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAUDALES PROMEDIO

Después de completar los aforos, se obtuvieron 3978 valores de velocidades, que correspondieron a 442 velocidades promedio y 442 perfiles de caudal. Con todos los valores ordenados, se procedió a iniciar el análisis estadístico, las discusiones y las explicaciones de las representaciones gráficas de los datos de campo, enfocándose en identificar la presencia de datos atípicos y/o influyentes.

La Tabla 3 resume todos los datos recolectados en campo, organizados en intervalos de 1 cm en las casillas correspondientes a los métodos de medición de altura. Esta tabla muestra dos tipos de mediciones empleadas para determinar los valores de altura en centímetros, observándose una diferencia aproximada de 3 cm entre los datos registrados mediante la regleta y los obtenidos con el flotador.

En la casilla de caudal se presentan los valores promedio de flujo hídrico en cada uno de los intervalos de medición de altura. Inicialmente, antes de aplicar cualquier tratamiento estadístico, se observa que el dispositivo medidor de caudal registró corrientes de agua con caudales promediados entre aproximadamente 0.5 L/s y 102 L/s.

Dentro de los intervalos de medición, el caudal promedio muestra un aumento constante y progresivo, sin presentar variaciones significativas entre sus valores promediados.

Tabla 3. RESUMEN Y PROMEDIO DE DATOS DE CAMPO

MÉTODO DE MEDICIÓN DE ALTURA			
<i>RANGOS DE ALTURA DE LA LÁMINA DE AGUA CON REGLETA (cm)</i>	<i>RANGOS DE ALTURA DE LA LÁMINA DE AGUA CON FLOTADOR (cm)</i>	<i>CAUDAL PROMEDIO (L/s)</i>	<i>DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE CAUDAL</i>
5-5,9	2-2,9	0,421	0,067
6-6,9	3-3,9	0,935	0,165
7-7,9	4-4,9	1,921	0,326
8-8,9	5-5,9	3,022	0,388

9-9,9	6-6,9	4,640	0,553
10-10,9	7-7,9	5,981	0,567
11-11,9	8-8,9	8,114	0,256
12-12,9	9-9,9	9,313	0,599
13-13,9	10-10,9	11,466	0,694
14-14,9	11-11,9	13,498	0,745
15-15,9	12-12,9	16,013	0,664
16-16,9	13-13,9	18,781	1,096
17-17,9	14-14,9	22,192	0,751
18-18,9	15-15,9	25,608	1,364
19-19,9	16-16,9	29,536	1,059
20-20,9	17-17,9	32,702	1,127
21-21,9	18-18,9	36,503	1,294
22-22,9	19-19,9	41,101	1,307
23-23,9	20-20,9	44,337	0,924
24-24,9	21-21,9	47,977	1,007
25-25,9	22-22,9	52,680	1,418
26-26,9	23-23,9	57,288	1,319
27-27,9	24-24,9	61,342	1,182
28-28,9	25-25,9	66,294	2,271
29-29,9	26-26,9	72,994	1,063
30-30,9	27-27,9	78,943	2,010
31-31,9	28-28,9	84,821	1,194
32-32,9	29-29,9	88,625	0,834
33-33,9	30-30,9	91,842	1,484
34-34,9	31-31,9	97,018	1,337
35	32	102,052	1,321

DEPURACIÓN DE DATOS INFLUYENTES

Para la representación gráfica y el análisis de residuos, así como para las gráficas que describen la relación entre el caudal y la altura en los distintos métodos de medición, se empleó la herramienta Curve Fitting del software MATLAB, ya que es un software licenciado ampliamente empleado en temas de investigación, por el cual la Universidad Paga y está disponible para todos los estudiantes y docentes de la Universidad. La herramienta Curve Fitting posee la capacidad de ajustar los datos experimentales a diversos tipos de modelos, seleccionando en este caso un modelo exponencial, lo cual ofrece una precisión en la modelización de datos experimentales.

En cuanto al análisis de residuos, Curve Fitting proporciona un enfoque riguroso para detectar patrones residuales que puedan revelar inconsistencias o problemas inherentes en el modelo propuesto, lo que es crucial para la validación del ajuste.

Aunque con el software MATLAB también se pueden realizar análisis estadísticos y la depuración de los datos atípicos obtenidos en esta investigación, este procedimiento se llevó a cabo utilizando el software RStudio. Al ser un software libre de amplia aceptación en el ámbito de la investigación, es una opción accesible para futuros ingenieros del campo colombiano, ya que no requiere compra, a diferencia de MATLAB.

En RStudio, se emplearon análisis de datos estandarizados y studentizados, lo que permitió identificar y eliminar valores atípicos, optimizando el ajuste del modelo. La ejecución del script en RStudio facilitó la detección y eliminación de datos atípicos u "outliers", refinando el modelo y permitiendo determinar con mayor precisión la ecuación hidráulica del dispositivo en estudio.

En base a lo mencionado anteriormente, se generó un gráfico de análisis de residuos del caudal en función de los datos de altura registrados con la regleta. Este tipo de análisis procesa y analiza la diferencia entre los valores observados y los valores predichos de un modelo en particular. Usualmente, el análisis de residuales detecta los datos sospechosos que afectan indebidamente los datos de la regresión (Palacio y Castaño, 2016). La importancia de aplicar estos tipos de análisis radica en que ayudan a evaluar el ajuste y la validación del modelo, además de identificar la presencia de valores atípicos.

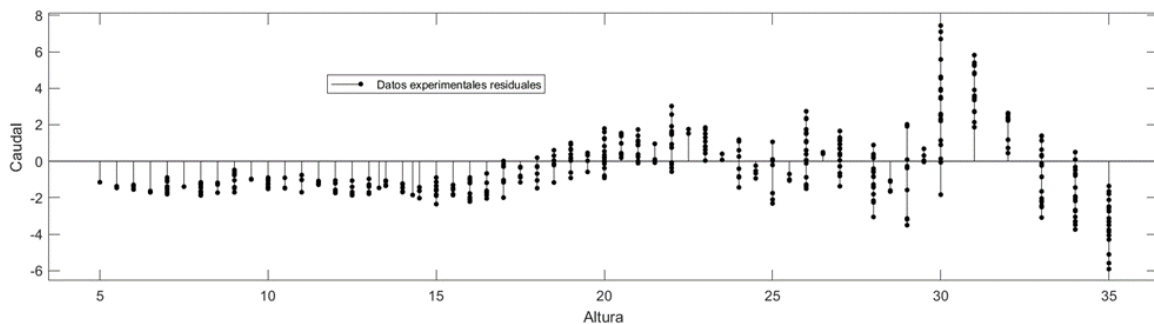


Figura 13. ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES RESIDUALES CON ALTURA DE REGLETA

En la Figura 13 se muestran puntos dispersos alrededor de la línea cero, que representan los residuales, es decir, las diferencias entre los valores observados y los valores predichos por la regresión del modelo. En este caso, en el intervalo entre los 30 cm y los 35 cm de altura, se observa una dispersión considerable de los datos experimentales. Esta dispersión sugiere que el modelo no tiene un buen ajuste y que existe una variabilidad intrínseca.

Gracias a la implementación de estos análisis en el software RStudio, se pudo detectar y depurar los datos que influían de manera negativa en la ejecución de este proyecto. Se identificaron y eliminaron exactamente 44 datos limitantes en esta investigación. Estos datos generaban ruido en las representaciones gráficas que mostraban el comportamiento de los datos de campo y provocaban inconsistencias en la determinación de la ecuación que describe el comportamiento hidráulico del dispositivo aforador.

De manera análoga, la Tabla 4 presenta datos similares a los de la Tabla 3. No obstante, a diferencia de la Tabla 3, los valores incluidos en esta tabla fueron sometidos a los análisis estadísticos descritos en la metodología del presente proyecto, y han sido empleados para representaciones gráficas que ilustran los modelos de datos y sus ecuaciones hidráulicas.

Tabla 4. RESUMEN DE DATOS Y CAUDALES PROMEDIO SIN DATOS INFLUYENTES

MÉTODO DE MEDICIÓN DE ALTURA			
RANGOS DE ALTURA DE LA LÁMINA DE AGUA CON REGLETA (cm)	RANGOS DE ALTURA DE LA LÁMINA DE AGUA CON FLOTADOR (cm)	CAUDAL PROMEDIO (L/s)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE CAUDAL
8-8,9	5-5,9	3,452	0,297
9-9,9	6-6,9	4,530	0,435
10-10,9	7-7,9	5,885	0,429
11-11,9	8-8,9	8,114	0,256
12-12,9	9-9,9	9,313	0,600
13-13,9	10-10,9	11,466	0,694
14-14,9	11-11,9	13,498	0,745
15-15,9	12-12,9	16,013	0,664
16-16,9	13-13,9	18,781	1,096
17-17,9	14-14,9	22,192	0,751
18-18,9	15-15,9	25,608	1,364
19-19,9	16-16,9	29,536	1,059
20-20,9	17-17,9	32,701	1,127
21-21,9	18-18,9	36,503	1,294
22-22,9	19-19,9	41,101	1,307
23-23,9	20-20,9	44,337	0,924
24-24,9	21-21,9	47,977	1,007
25-25,9	22-22,9	52,680	1,418
26-26,9	23-23,9	57,288	1,319
27-27,9	24-24,9	61,342	1,188
28-28,9	25-25,9	66,294	2,271
29-29,9	26-26,9	72,994	1,063
30-30,9	27-27,9	78,943	2,010
31-31,9	28-28,9	84,821	1,194
32-32,9	29-29,9	88,625	0,833
33-33,9	30-30,9	91,842	1,484
34-34,9	31-31,9	97,017	1,294
35	32	102,052	1,321

En promedio, las mediciones por intervalo de altura incluyeron aproximadamente 14 datos por cada rango, resultando en un total de 442 valores de caudal distribuidos en 31 rangos de altura establecidos (ver Tabla 3). Este número promedio de aforos por rango de altura hace alusión a todos los datos de campo antes de la depuración de valores influyentes o atípicos.

Una vez depurada la base de datos (Tabla 4), se determinó que este dispositivo tipo canaleta es adecuado para realizar mediciones de caudal a partir de 3,5 l/s, correspondiente a valores de altura de 8 cm en la regleta y 5 cm en el flotador del dispositivo medidor de flujo hídrico. Además, se confirmó que los valores de caudal pueden ser determinados con precisión a partir de mediciones de altura tomadas tanto con la regleta como con el flotador.

Además, la tabla 4 muestra el rango operativo del dispositivo tipo canaleta para medir caudales prediales, que va desde los 3,5 l/s hasta los 102,0 l/s.

VALIDACIÓN Y CALIBRACIÓN DE LOS MODELOS

ALTURA CON REGLETA VS. CAUDAL

Mediante la depuración de los datos influyentes, se logró optimizar el trabajo, utilizando 398 datos de caudales de los 442 inicialmente registrados. Esto permitió realizar una representación gráfica precisa de los datos de campo característicos de este proyecto y, a su vez, determinar la ecuación hidráulica del dispositivo tipo canaleta. A continuación, se presenta la ecuación que rige dicho comportamiento para los datos registrados con la regleta:

$$Q = 0,0267 * H^{2,3425} \quad (8)$$

La Figura 14 describe el comportamiento de los datos de campo recolectados, configurada utilizando el comando Curve Fitting. Esta gráfica ilustra la proporcionalidad y la dependencia del caudal en relación con la altura, mostrando que a medida que aumenta la altura, también lo hace el caudal. Este tipo de representaciones y relaciones proporcionales son típicas en situaciones donde existe una conexión directa entre dos variables.

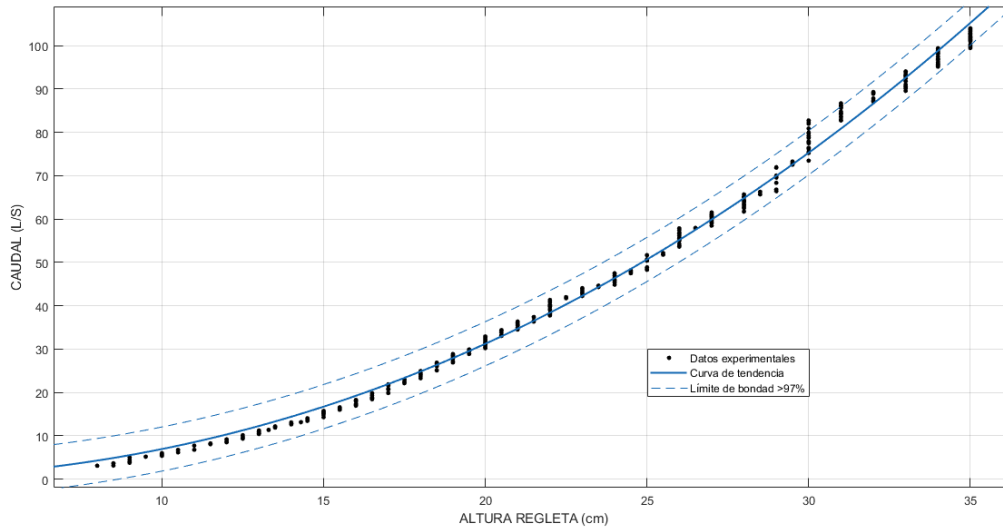


Figura 14. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE DATOS DE Q VS. H MARCADA CON LA REGLETA

Los datos experimentales están representados en la gráfica de la Figura 14 por puntos circulares negros, ubicados tanto dentro como fuera de las dos líneas discontinuas que delimitan un intervalo. Estas líneas representan un porcentaje de límite de predicción establecido, o un intervalo de confianza, el cual es un rango de valores que predice los datos dentro de una nueva observación.

También se observa una curva continua situada dentro de ese intervalo establecido, conocida como curva de tendencia, la cual indica la dirección general de la relación de la serie de datos; en este caso, indicando la relación positiva entre ambas variables gracias a su comportamiento en forma de pendiente positiva.

Así mismo, se puede apreciar que los datos de las alturas van desde los 8 cm hasta los 35 cm respectivamente, siendo este un intervalo limitador y operativo a la hora de implementar y dar uso al dispositivo aforador. A su vez, los datos de alturas contienen una equivalencia con valores de caudal desde los 3,5 l/s hasta los 102 l/s aproximadamente.

En este gráfico ajustado también se nota presencia de datos dispersos en rangos de altura entre los 20 y los 30 cm, junto a unos índices de desviación de datos cuando la altura es mayor a los 30 cm.

Pese a esto, se obtuvo un coeficiente de determinación ajustado al modelo (R^2) de 99,42% y un RMSE de 1,9666.

ALTURA CON FLOTADOR VS. CAUDAL

La ecuación generada por la curva de tendencia para describir el comportamiento hidráulico de este tipo de medición es:

$$Q = 0,1297 * H^{1,9366} \quad (9)$$

La curva generada por los datos registrados con el flotador (Figura 15) presenta un modelo de tendencia potencial, donde se ajustan la mayoría de sus datos a la misma curva, aunque se nota la presencia de desviación en las alturas mayores a los 25 cm, la gráfica presenta un comportamiento óptimo y unos índices de dispersión de datos regulares y/o estables.

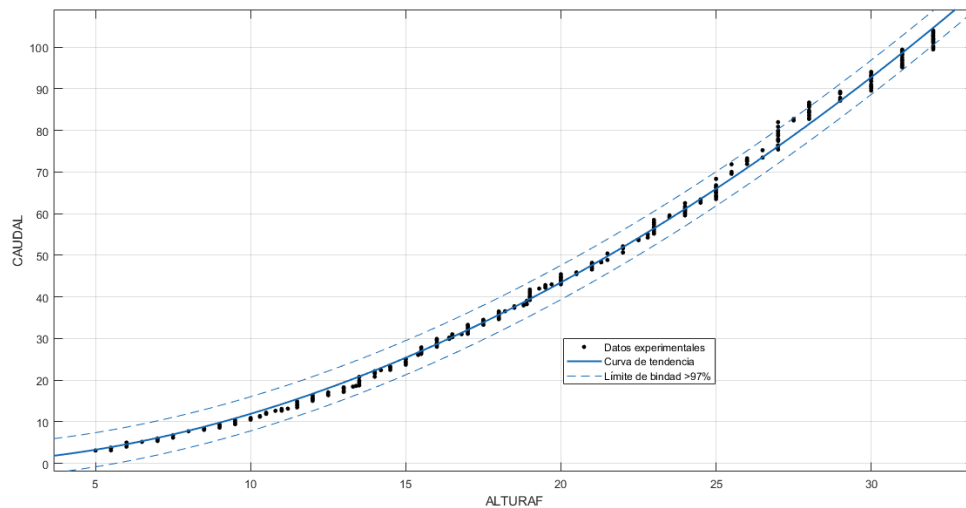


Figura 15. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE DATOS DE Q VS. H MARCADA CON FLOTADOR

Este modelo se acogió y se ajustó a los valores recopilados en este proyecto, contando con un ajuste del coeficiente de determinación ajustado al modelo de 99,69% y un RMSE de 1,5853, siendo este último un valor bajo de los errores que respaldan el modelo potencial.

En conclusión, la tabla 5 sintetiza de manera precisa y objetiva los resultados clave obtenidos en este proyecto de investigación, proporcionando información detallada y relevante que respalda el análisis y las conclusiones planteadas.

Tabla 5. RESULTADOS CLAVES DEL PRROYECTO

MÉTODO DE MEDICIÓN	DATOS HIDRÁULICOS				DATOS ESTADÍSTICOS		ECUACIÓN MATEMÁTICA
	H mín (cm)	H máx (cm)	Q mín (L/s)	Q máx (L/s)	R ²	RSME	
Flotador	5	32			0,9969	1,5853	$Q = 0,1291 * H^{1,938}$
			3,452	102,052			
Regleta	8	35			0,9936	1,9666	$Q = 0,0273 * H^{2,3396}$

RECOMENDACIONES

En este ítem se priorizó el manejo adecuado de la canaleta, explicando una forma de instalación y medición correcta, frecuencia de mediciones, obras requeridas para su instalación y mantenimiento de dispositivo para así garantizar que se mantengan los mismos parámetros usados en la validación de este proyecto.

- Preparar el sitio de medición de forma adecuada, asegurando superficie nivelada y limpia, que simule las condiciones bajo las cuales se realizó la validación.
- Alinear el aforador correctamente en relación con el flujo, verificando que la sección del vertedero esté en la zona de descarga del canal.
- Utilizar nivel para corroborar la nivelación del terreno y garantizar una pendiente cero.
- En canales prediales cuyo ancho exceda el de la zona convergente del dispositivo tipo canaleta, instalar soportes que obliguen al flujo a pasar por la canaleta, garantizando su correcta operación y proporcionándole soporte adicional.
- Asegurar un flujo constante de agua desde el canal hacia el dispositivo.
- Considerar los rangos de alturas de lámina de agua establecidos por los autores para la medición precisa del caudal.
- Llevar a cabo inspecciones visuales periódicas de la canaleta para detectar cualquier anomalía en su operación o daños en su estructura.

- Ejecutar labores de limpieza y remoción de sedimentos u otro tipo de materiales extraños en el dispositivo.
- Para la recolección de datos, es esencial disponer de los valores de la altura de la corriente de agua que circula por el dispositivo, especificando el método utilizado para obtener dicho valor. Esto permitirá correlacionarlo adecuadamente con la curva Q vs. H o con la ecuación correspondiente a cada método de medición de altura. La tabla 6 es un formato para relacionar de manera objetiva la recolección de datos.

Tabla 6. **FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO**

FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
MÉTODO DE MEDICIÓN		ECUACIÓN HIDRÁULICA POR MÉTODO DE FLOTADOR	CAUDAL (L/S)
REGLETA	FLOTADOR	$Q = 0,1291 * H^{1,9368}$	
		ECUACIÓN HIDRÁULICA POR MÉTODO DE REGLETA	
H = ALTURA DE LÁMINA DE AGUA (cm)		$Q = 0,0273 * H^{2,3396}$	

CONCLUSIONES

- La depuración de los datos influyentes y atípicos mediante análisis estadísticos como las pruebas de Cook's Distance, Estadístico DFBeta, Estadístico CovRatio y Estadístico Dffits permitió ajustar el rango de operatividad del dispositivo tipo Canaleta para medir caudales entre 3,5 L/s y 102 L/s. Las alturas de agua oscilan entre 8 cm y 35 cm al usar la regla en la canaleta, y entre 5 cm y 32 cm al emplear el flotador.
- El método de medición de caudal basado en la altura registrada por el flotador muestra un comportamiento más apropiado para el dispositivo. Basado en el ajuste del coeficiente de determinación ajustado al modelo potencial (R^2) de 99,69% y un RMSE de 1,5853 reportados por la herramienta Curve Fitting.

REFERENCIAS

- Banco Interamericano de Desarrollo. (2017). Infraestructura hídrica y desarrollo rural sostenible en Colombia. <https://doi.org/10.18235/0002816>
- Gurovich, L, A. 1985. Fundamentos y diseño de Sistemas de Riego. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/7213/BVE18040268e.PDF?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). Gestión del agua en la agricultura: Perspectivas y desafíos. [https://www.minagricultura.gov.co/planeacion-control-gestion/Gestin/PLANEACION/Informe_de_Gesti%F3n_\(Metas_Objeticivos_Indicadores_Gestion\)/INFORME_DE_GESTION_INSTITUCIONAL_2019.pdf](https://www.minagricultura.gov.co/planeacion-control-gestion/Gestin/PLANEACION/Informe_de_Gesti%F3n_(Metas_Objeticivos_Indicadores_Gestion)/INFORME_DE_GESTION_INSTITUCIONAL_2019.pdf)
- Santos Pereira, L. S, Juan Valero, J. A, Picornell Buendía, M. R, Tarjuelo Marín, J. M. 2004. El Riego y sus Tecnologías. http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/El_Riego_y_sus_Tecnologias.pdf
- Chamba, M. N., & Benavides-Muñoz, H. (2018). Análisis de tres elementos de aforo para sistemas de riego en la provincia de Loja, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 11(1), 29-36.
- Aponte Castillo, C. D. (2019). Diseño Y Construcción De Una Canaleta Parshall Para El Laboratorio De Hidráulica De La Universidad Santo Tomás Sede Central. Universidad Santo Tomás, Bogotá.
- International Organization for Standardization. (2003). ISO 1100-1:2003 - Measurement of liquid flow in open channels — Part 1: Guidelines for selection, establishment and operation of a gauging station. <https://www.iso.org/standard/34601.html>
- International Organization for Standardization. (2014). ISO 4064:2014 - Water meters for cold potable water and hot water. <https://www.iso.org/standard/54146.html>
- Palau Estevan, C. V. 2005. Aportaciones a la Gestión de los Sistemas de Medición en Redes de Distribución de Agua a Presión <https://doi.org/10.4995/thesis/10251/1949>
- Pérez, J., Rodríguez, M., & López, A. (2018). Estudio de la medición del caudal en canales de riego. *Revista de Investigación Agropecuaria*, 22(3), 123-137.
- Chow, V. T. (1959). *Hidráulica de canales abiertos*. McGraw-Hill.
- McKeague, C. P. (2010). *Matemáticas: Conceptos y aplicaciones*. Cengage Learning.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2019). *Física universitaria*. Pearson.
- Levin, R. I., & Rubin, D. S. (2017). *Estadística para administración y economía*. Pearson.

- Gómez, L., Torres, R., & Ramírez, C. (2020). Desarrollo de un dispositivo asistido por sensores electrónicos para la medición precisa del caudal de agua en canales de distribución. *Revista de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente*, 35(2), 89-102. <https://www.redalyc.org/pdf/932/93243475016.pdf>
- Pedroza Gonzáles, E, Hinojosa Cuéllar G. A. (2014). Manejo y distribución del agua en distritos de riego: Introducción. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/manejo-dadr/files/assets/common/downloads/publication.pdf
- Mena Camacho, G. A. Sánchez Marinez, S. A. (2019). Diseño y calibración de un dispositivo hidráulico para el aforo intrapredial en el distrito de riego “el juncal”. [Tesis de pregrado]. Universidad Surcolombiana.
- Molinete Universal OSS-B1 | KISTERS. (s. f.). KISTERS. <https://www.hyquestolutions.es/products/hardware/flujo-de-agua/molinete-universal-oss-b1#tab=description>
- Contador de molinete PVD200 | KISTERS. (s. f.). KISTERS. <https://www.hyquestolutions.es/products/hardware/water-flow/contador-de-molinete-pvd200#tab=description>
- Aparicio Mijares, Francisco Javier. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México: Grupo Noriega Editores, 1992, 40p.
- Palacio, J. Castaño, E. (2016). Detección de datos extremos y demulticolinealidad en modelos no lineales: una interfaz gráfica en R. *Revista de la Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*. V 5 N°1. Pag 111 a 123. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v5n1.55358>
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introducción al análisis de regresión lineal*. Cengage Learning: Boston.