

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL AGRONOMÍA



T E S I S

**Construcción de un banco de pruebas hidráulicas para evaluación de
pérdidas de carga hidráulica en tuberías para riego**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Agrónomo

Autores:

Bach. Heidy Elizabeth BACILIO GONZALES

Bach. Eduardo PORRAS REQUENA

Asesor:

Mg. Moisés TONGO PIZARRO

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL AGRONOMÍA



T E S I S

**Construcción de un banco de pruebas hidráulicas para evaluación de
pérdidas de carga hidráulica en tuberías para riego**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Manuel Jorge CASTILLO NOLE
PRESIDENTE

MSc. Josué Hernán INGA ORTIZ
MIEMBRO

Mg. Fidel DE LA ROSA AQUINO
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 038-2025/ UIFCCAA/V

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por
BACILIO GONZALES, Heidy Elizabeth
PORRAS REQUENA, Eduardo

Escuela de Formación Profesional
Agronomía – Pasco

Tipo de trabajo
Tesis

Construcción de un banco de pruebas hidráulicas para evaluación de pérdidas de carga hidráulica en tuberías para riego

Asesor
Mag. TONGO PIZARRO, Moisés

Índice de similitud
3 %

Calificativo
APROBADO

Se adjunta al presente el reporte de evaluación del software anti-plagio.

Cerro de Pasco, 28 de julio de 2025

 Firmado digitalmente por HUANES TOVAR Luis Antonio FAU 20154002046 soft Molino. Soy el autor del documento Fecha: 05.08.2025 11:23:58 -05:00

Firma Digital
Director UIFCCAA

c.c. Archivo
LHT/UIFCCAA

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fortaleza, salud y sabiduría para culminar esta etapa tan importante de mi vida. A mis padres, por su amor incondicional, sacrificio y constante apoyo moral y emocional. Sin ustedes, este logro no habría sido posible. A mi familia, por estar siempre presentes, alentándome y brindándome su confianza. A mis profesores y tutores, por su guía, exigencia y compromiso con la formación académica. A todos aquellos que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de este trabajo, les expreso mi más sincero agradecimiento.

"A mis padres:

Pilares de mi existencia, arquitectos de mi perseverancia. Por creer en mí cuando el espejo dudaba, por envolver mis noches de estudio en oraciones y convertir el "no puedo" en "sigo adelante".

Gracias por recordarme, con su ejemplo silencioso, que hasta los sueños más altos necesitan raíces: las suyas fueron el agua de la fe en Dios y el pan caliente que alimentó esta lucha.

Esta tesis es el fruto de las semillas que plantaron en mí antes de que supiera caminar. Donde termina su amor, comienzan mis palabras."

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por darme la fortaleza, salud y perseverancia para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A mis padres y seres queridos, por su amor incondicional, apoyo constante y confianza en cada paso de mi formación académica.

A la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por brindarme una educación de calidad y la oportunidad de formarme como profesional en la Escuela Profesional de Agronomía.

A mis docentes y asesores, por compartir su conocimiento, orientación y dedicación a lo largo de mi carrera y en la elaboración de esta tesis.

A mis compañeros de estudio y de campo, por su amistad, colaboración y compañerismo durante todos estos años.

Finalmente, agradezco a todas las personas e instituciones que, de una u otra manera, contribuyeron al desarrollo de este trabajo de investigación.

RESUMEN

En los sistemas de riego agrícola, el transporte eficiente del agua es esencial para garantizar una distribución uniforme y adecuada que permita optimizar el uso del recurso hídrico y mejorar la productividad de los cultivos. Uno de los factores clave que influye en el desempeño de estos sistemas es la pérdida de carga, entendida como la disminución de presión que experimenta el agua a medida que fluye a través de las tuberías y los distintos accesorios que conforman la red de riego, tales como ampliaciones, reducciones, codos, válvulas, uniones, etc.

Estas pérdidas, que pueden clasificarse como pérdidas continuas (por fricción en tramos rectos de tubería) y pérdidas localizadas (debido a elementos del sistema), afectan directamente la presión disponible en los puntos de emisión del agua, lo que puede generar una distribución desigual y reducir la eficiencia del sistema. En contextos agrícolas, donde el ahorro de agua y energía es prioritario, conocer con precisión el comportamiento de la pérdida de carga se vuelve indispensable para el diseño, dimensionamiento y mantenimiento de redes de riego eficaces y sostenibles.

Esta investigación se centra en el análisis de la pérdida de carga en tuberías y accesorios utilizados comúnmente en sistemas de riego agrícola. A través de una combinación de estudio teórico y mediciones experimentales, se busca identificar los factores que inciden en estas pérdidas, evaluar su impacto bajo distintas condiciones de operación y comparar los resultados obtenidos con los modelos existentes, como la ecuación de Hazen-Williams y la ecuación de Darcy-Weisbach y los coeficientes de pérdida local. El objetivo es encontrar la relación que existe entre los caudales y las pérdidas de carga en tuberías y accesorios.

Palabras claves: tubería de riego, accesorios, caudal, pérdida de carga

ABSTRACT

In agricultural irrigation systems, efficient water transport is essential to ensure a uniform and adequate distribution that optimises the use of water resources and improves crop productivity. One of the key factors influencing the performance of these systems is the loss of pressure, understood as the decrease in pressure experienced by the water as it flows through the pipes and the various fittings that make up the irrigation network, such as extensions, reductions, elbows, valves, joints, etc.

These losses, which can be classified as continuous losses (due to friction in straight pipe sections) and localized losses (due to system elements), directly affect the pressure available at water emission points, which can lead to an uneven distribution and reduce the efficiency of the system. In agricultural contexts, where saving water and energy is a priority, accurate knowledge of the loss of load behaviour becomes indispensable for the design, dimensioning and maintenance of efficient and sustainable irrigation networks.

This research focuses on the analysis of pressure loss in pipes and fittings commonly used in agricultural irrigation systems. Through a combination of theoretical study and experimental measurements, the aim is to identify the factors that influence these losses, assess their impact under different operating conditions and compare the results obtained with existing models, as the Hazen-Williams equation and the Darcy-Weisbach equation and local loss coefficients. The objective is to find the relationship between flow rates and pressure losses in pipes and fittings.

Keywords: irrigation pipe, fittings, flow rate, pressure drop

INTRODUCCIÓN

Con el fin de estudiar y cuantificar de manera precisa estos efectos, se recurrió al uso de bancos de pruebas hidráulicas, entornos controlados que permiten replicar condiciones reales de operación en un sistema de riego, pero con la posibilidad de realizar mediciones detalladas de variables como caudal, presión y pérdida de carga. La presente investigación se desarrolló en un banco de pruebas hidráulicas, y tuvo como objetivo principal analizar las pérdidas de carga en distintos tramos de tuberías de riego y en diversos accesorios comúnmente utilizados en instalaciones agrícolas.

Mediante el uso de instrumentación adecuada y la aplicación de fundamentos teóricos como la ecuación de Hazen-Williams y la ecuación Darcy-Weisbach, se buscó comparar los valores experimentales obtenidos con los datos teóricos, identificando posibles desviaciones y sus causas. Los resultados de este estudio permitieron validar o ajustar los criterios de diseño hidráulico en sistemas de riego a presión, contribuyendo así a mejorar su eficiencia operativa y a optimizar el uso de recursos hídricos y energéticos en el sector agrícola.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE CUADROS

ÍNDICE DE GRÁFICOS

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	3
1.3.	Formulación del problema.....	4
1.3.1.	Problema general	4
1.3.2.	Problemas específicos	4
1.4.	Formulación de objetivos	5
1.4.1.	Objetivo general	5
1.4.2.	Objetivos específicos	5
1.5.	Justificación de la investigación.....	5
1.6.	Limitaciones de la investigación	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio	7
2.2.	Bases teóricas - científicas.....	12
2.2.1.	Fluido.....	12
2.2.2.	Presión absoluta y manométrica.....	12
2.2.3.	Relación entre las presiones manométricas y absolutas	13
2.2.4.	Ecuación de Continuidad.....	13
2.2.5.	Ecuación de Bernoulli	15
2.2.6.	Ecuación de Hazen y Williams.....	16
2.2.7.	Fórmula de Darcy y Weisbach	16
2.2.8.	Pérdida de carga	17
2.3.	Definición de términos básicos	18
2.3.1.	Tuberías y accesorios de PVC	18
2.3.2.	Válvulas y Accesorios	19
2.3.3.	Fricción del fluido	19
2.3.4.	Manómetro	20
2.3.5.	Bomba.....	20
2.4.	Formulación de hipótesis.....	20
2.4.1.	Hipótesis general	20
2.4.2.	Hipótesis específicas	21
2.5.	Identificación de variables.....	21
2.5.1.	Variables independientes.....	21
2.5.2.	Variables dependientes	21
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	21

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	23
3.2.	Nivel de investigación	23
3.3.	Métodos de investigación	23
3.4.	Diseño de investigación.....	23
3.5.	Población y muestra	24
3.6.	Técnicas e instrumento recolección de datos	24
3.6.1.	Técnicas	24
3.6.2.	Instrumentos	24
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	24
3.8.	Tratamiento estadístico.....	25
3.9.	Orientación ética filosófica y epistémica	25

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo	26
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	28
4.2.1.	Relación de la pérdida de carga y el caudal en tuberías	28
4.2.2.	Relación de la pérdida de carga y el diámetro de la tubería.....	32
4.2.3.	Relación de la pérdida de carga y el caudal en accesorios	35
4.3.	Prueba de hipótesis	42
4.3.1.	Hipótesis general de investigación	42
4.3.2.	Hipótesis específicas de investigación	43
4.4.	Discusión de resultados	43

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Curvas experimentales de caudal vs altura manométrica de bomba modelo PKm60 de 0.5 Hp	12
Figura 2 Relación entre las presiones manométricas y absolutas	13
Figura 3 Ecuación de continuidad para cualquier fluido.....	14
Figura 4 Principio de la ecuación de Bernoulli	15
Figura 5 Pérdida de carga entre las secciones 1 y 2	18

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Presiones nominales de trabajo de tuberías de PVC	18
Cuadro 2 Tuberías de PVC C-1 O SP	19
Cuadro 3 Variables e indicadores	21

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Estructura metálica del banco de pruebas hidráulicas	27
Gráfico 2 Módulo tubular del banco de pruebas hidráulicas	28
Gráfico 3 Pérdida de carga y caudal – tubería de 1”	29
Gráfico 4 Pérdida de carga y caudal – tubería de 3/4”	30
Gráfico 5 Pérdida de carga y caudal – tubería de 1/2”	31
Gráfico 6 Pérdida de carga y diámetro – Experimental.....	32
Gráfico 7 Pérdida de carga y diámetro – Hazen&Williams	33
Gráfico 8 Pérdida de carga y diámetro – Darcy&Weisbach	34
Gráfico 9 Pérdida de carga y caudal –Ampliación PVC ½” a 1”	35
Gráfico 10 Pérdida de carga y caudal –Reducción PVC 1” a ½”.....	36
Gráfico 11 Pérdida de carga y caudal –Codo PVC 1” x 90°	37
Gráfico 12 Pérdida de carga y caudal –Codo PVC 1” x 45°	38
Gráfico 13 Pérdida de carga y caudal –Válvula bola PVC 1”	39
Gráfico 14 Pérdida de carga y caudal –Válvula compuerta BRONCE 1”	41
Gráfico 15 Pérdida de carga y caudal –Unión universal PVC 1”.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Pérdida de carga y caudal – tubería de 1”	28
Tabla 2 Pérdida de carga y caudal – tubería de 3/4”	30
Tabla 3 Pérdida de carga y caudal – tubería de 1/2”	31
Tabla 4 Pérdida de carga y diámetro – experimental	32
Tabla 5 Pérdida de carga y diámetro – Hazen&Williams	33
Tabla 6 Pérdida de carga y diámetro – Darcy&Weisbach.....	34
Tabla 7 Pérdida de carga y caudal –Ampliación PVC ½” a 1”	35
Tabla 8 Pérdida de carga y caudal –Reducción PVC 1” a ½”	36
Tabla 9 Pérdida de carga y caudal –Codo PVC 1” x 90°	37
Tabla 10 Pérdida de carga y caudal –Codo PVC 1” x 45°	38
Tabla 11 Pérdida de carga y caudal –Válvula esférica PVC 1”	39
Tabla 12 Pérdida de carga y caudal –Válvula compuerta BRONCE 1”	40
Tabla 13 Pérdida de carga y caudal –Unión universal pvc 1”	41

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

La pérdida de carga en sistemas de conducción cerrados, como las tuberías, corresponde a la energía que se requiere para superar las fuerzas de resistencia que dificultan el desplazamiento del fluido a lo largo del conducto. Estas pérdidas pueden clasificarse en pérdidas por fricción, asociadas al recorrido dentro de la tubería, y pérdidas singulares, generadas por elementos como accesorios y cambios de dirección.

En proyectos que emplean conductos presurizados, como las líneas de impulsión de agua, sistemas de distribución de agua potable o redes de riego, es fundamental estimar con precisión las pérdidas de carga.

Para el cálculo de las pérdidas energéticas originadas por la fricción, la fórmula de Darcy-Weisbach es una de las más utilizadas, aunque requiere determinar el coeficiente de fricción "f" de manera experimental. En cuanto a las pérdidas singulares (ocasionadas por accesorios u otros elementos), generalmente solo pueden estimarse mediante métodos experimentales, ya que provienen de

disipaciones de energía generadas por turbulencias. Estas pérdidas se suelen expresar como una fracción de la altura de velocidad, corregida mediante un coeficiente empírico. No obstante, cuando se trabaja exclusivamente con agua, una alternativa muy práctica es la ecuación de Hazen–Williams, ampliamente difundida por los fabricantes de tuberías de PVC en sus catálogos técnicos.

En la actualidad, los estudiantes de la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión no disponen de un equipo que les permita analizar experimentalmente las pérdidas de carga en tuberías de PVC con flujo presurizado y sus respectivos accesorios. Esta limitación representa una brecha en su formación académica, ya que es fundamental que puedan contrastar sus conocimientos teóricos con experiencias prácticas. Por ello, se hace necesario dotar a la escuela de un equipo especializado que fortalezca el proceso de enseñanza-aprendizaje y contribuya a la formación integral de los futuros profesionales.

El banco de pruebas de pérdidas de carga será construido en el Taller de Hidráulica para Riego de la Escuela Profesional de Agronomía, donde se llevarán a cabo los ensayos requeridos para su correcto funcionamiento.

En cuanto al comportamiento del flujo turbulento en tuberías presurizadas, este se caracteriza por una trayectoria desordenada, en la cual las partículas del fluido se mezclan de manera caótica. Este fenómeno se debe a diversos factores como la velocidad del flujo, la longitud del conducto, el diámetro interno y la rugosidad de la tubería, los cuales influyen directamente en la pérdida de energía.

Las pérdidas de carga localizadas o singulares, por su parte, se generan debido a la presencia de accesorios como codos, reducciones o ampliaciones de

diámetro, válvulas y uniones, que provocan cambios en la dirección o sección del flujo. Estos elementos introducen turbulencias adicionales que dificultan una estimación precisa mediante métodos teóricos, por lo que es indispensable su análisis experimental para obtener resultados más confiables, especialmente en sistemas presurizados.

A través de la construcción de un banco de pruebas equipado con tuberías de PVC en paralelo de 1”, ¾” y ½”, se realizará la evaluación experimental de las pérdidas de carga tanto por fricción como por efectos singulares, contribuyendo así al aprendizaje práctico de los conceptos hidráulicos.

1.2. Delimitación de la investigación

La presente investigación se ha delimitado considerando tres aspectos fundamentales:

Espacio. El presente proyecto se realizará en las instalaciones del Taller de Hidráulica para Riego, de la Escuela Profesional de Agronomía, de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Sede Central Pasco.

Tiempo. El cronograma estimado contempla un periodo de tres semanas para las etapas de diseño, adquisición de materiales y fabricación de la estructura del equipo. Posteriormente, se destinará aproximadamente un mes para la compra e instalación del sistema hidráulico. La fase de recolección de datos experimentales se extenderá por un mes adicional, seguida del análisis e interpretación de resultados, que tomará alrededor de dos meses. Con este esquema de trabajo se busca culminar una tesis integral, sólida y de valor para el fortalecimiento académico e institucional de la universidad.

Contenido. El trabajo se divide en partes principales que son:

- En la primera parte se encuentra la revisión teórica conceptual relacionada con el tema de estudio.
- La segunda parte corresponde a la descripción del diseño, modelación y construcción del banco hidráulico.
- En la tercera parte se realizan los ensayos de taller para comprobar el funcionamiento del banco hidráulico y los resultados de las prácticas para determinar las pérdidas de carga en tuberías.
- En la cuarta etapa se describen los resultados obtenidos en las prácticas y las conclusiones y recomendaciones finales del trabajo.

Alcance. El alcance del trabajo es para todos los alumnos de la Escuela Profesional de Agronomía, y se entregará el banco hidráulico instalado en el Taller de Hidráulica para Riego, con su respectivo manual de uso.

1.3. **Formulación del problema**

1.3.1. **Problema general**

El problema general del trabajo de investigación es el siguiente:

¿Cómo se comporta la pérdida de carga cuando varían el caudal y el diámetro en el flujo hidráulico en una tubería de riego?

1.3.2. **Problemas específicos**

Los problemas específicos de trabajo de investigación son los siguientes:

- a) ¿Qué relación existe entre la pérdida de carga y el caudal en el flujo hidráulico en una tubería de riego?
- b) ¿Qué relación existe entre la pérdida de carga y el diámetro en el flujo hidráulico en una tubería de riego?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento de la pérdida de carga cuando varían el caudal y el diámetro en el flujo hidráulico en una tubería de riego.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Evaluar la relación que existe entre la pérdida de carga y el caudal en el flujo hidráulico en una tubería de riego.
- b) Evaluar la relación que existe entre la pérdida de carga y el diámetro en el flujo hidráulico en una tubería de riego.

1.5. Justificación de la investigación

La implementación del banco hidráulico en el Taller de Hidráulica para Riego de la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Sede Central Pasco, tiene como propósito constituir una herramienta didáctica innovadora que contribuya al fortalecimiento de los conocimientos de los estudiantes en el área de hidráulica aplicada al riego. La ejecución de este proyecto permitirá no solo mejorar la formación práctica de los futuros ingenieros agrónomos, sino también presentar el diseño del banco hidráulico como un modelo de aprendizaje activo en congresos, simposios y eventos tanto locales como nacionales, destacando su aporte académico para estudiantes de Ingeniería Agrónoma o afín.

Justificación práctica. Su implicancia práctica del estudio radica en que en base a los resultados los estudiantes podrán corroborar los fundamentos teóricos.

Justificación teórica. El estudio será relevante porque se explicará el comportamiento de las variables de estudio en determinado contexto o realidad.

Justificación metodológica. Será relevante, pues para determinar la relación entre las variables de estudios, se utilizarán instrumentos de medición especializados, para registrar las mediciones en formatos que, posteriormente, serán procesados para su respectivo análisis y conclusión.

1.6. Limitaciones de la investigación

De acuerdo con Bernal (2010), las limitaciones en una investigación se relacionan principalmente con aspectos de tiempo, espacio y disponibilidad de recursos.

- Limitaciones de tiempo. El desarrollo de este estudio se llevó a cabo entre los meses de abril y julio del año 2024, período durante el cual se ejecutaron las distintas etapas del proyecto.
- Limitaciones de espacio. La investigación se ha desarrollado en el Taller de Hidráulica para Riego de la Escuela de Agronomía de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNDAC.- Sede Central Pasco.
- Limitaciones de recursos. El proyecto fue financiado con fondos propios del investigador, lo cual representó un desafío en la gestión económica y pudo haber generado retrasos en la entrega oportuna del informe final.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Diversos estudios previos han abordado el diseño y construcción de bancos de pruebas hidráulicos para evaluar pérdidas de carga en tuberías y accesorios, especialmente en sistemas de flujo presurizado.

Asto & Pereda (2018). En su estudio, se determinaron las pérdidas de carga en tuberías de PVC y en accesorios con diámetros de 1" y 1 ½", utilizando un banco de pruebas con flujo presurizado. El objetivo principal fue cumplido al lograr establecer experimentalmente dichas pérdidas, tanto en tuberías como en accesorios. Las pruebas realizadas mostraron que las pérdidas de carga por fricción presentaban una variación entre 3% y 6% al compararlas con los cálculos teóricos.

Asimismo, al efectuar ensayos en accesorios, se detectó que los resultados experimentales, al compararse con los valores teóricos, mostraban diferencias significativas, alcanzando hasta un 88% de desviación en relación con la proporción entre la longitud equivalente y el diámetro (Le/Di).

Este contraste se atribuye a que los accesorios empleados en el banco experimental presentaban características distintas, como rugosidad, material y dimensiones internas, respecto a los considerados en los modelos teóricos. En este sentido, las pérdidas de carga en accesorios oscilaron entre un 15% y un 88% de diferencia, a comparación de las pérdidas por fricción, que solo variaron entre 3% y 6%.

Gómez, Restrepo & Ríos (2016). Estos autores desarrollaron e instalaron un banco de pruebas para el análisis de pérdidas en tuberías y accesorios con fines educativos. La construcción del banco implicó diversas etapas, incluyendo el uso de espacios especializados, principalmente para soldadura. El banco fue construido como un módulo rectangular de 2.0 m x 1.20 m, usando perfiles de acero al carbón y lámina de acero cold roll. A este módulo se le incorporaron ruedas plásticas giratorias de 3 pulgadas con capacidad de carga de 50 kg cada una. También se fabricó un tanque de almacenamiento de agua de 55 cm x 45 cm x 45 cm con el mismo tipo de lámina, pintado al horno con pintura electrostática.

Una vez obtenidos todos los componentes mencionados en el numeral 6.1 del trabajo, se procedió al montaje del sistema principal. Para ello, se utilizó soldadura especial para PVC y productos de limpieza que garantizaran una correcta unión y ausencia de fugas. El banco se fijó al módulo con soportes plásticos de ¾ de pulgada fácilmente ajustables.

Para asegurar el flujo del agua desde el tanque hasta las tuberías, se instaló una bomba de ½ HP, conectada mediante una manguera plástica de 1 pulgada de diámetro, unida con acoples de aluminio en ambos extremos, también de 1 pulgada.

Parra & Velasco (2014). Diseñaron un banco de pruebas para estudiar las pérdidas de carga en sistemas de tuberías. Este banco incluyó conductos fabricados con distintos materiales como PVC, vidrio, cobre, hierro galvanizado y acero comercial. Además, integró diversos accesorios como válvulas, codos, tees, reducciones y uniones. También se instalaron sensores de presión y caudal para medir el comportamiento hidráulico cuando diferentes caudales de agua circulaban mediante una bomba conectada al sistema con un tanque de almacenamiento.

El banco permitió verificar los cálculos teóricos de pérdidas de energía en distintos circuitos y facilitó la conexión entre los conceptos teóricos del aula y la práctica en laboratorio. Esta aplicación didáctica fortaleció la comprensión del tema por parte de los estudiantes.

Como parte del proyecto, se desarrolló una aplicación web en lenguaje PHP y HTML que sistematizó las ecuaciones hidráulicas, permitiendo comparar los resultados obtenidos en el laboratorio con los cálculos teóricos. Para las mediciones, se utilizaron sensores electrónicos con pantallas digitales que facilitaron la lectura rápida de presión y flujo.

El diseño virtual del banco fue realizado en el software Autodesk Inventor, donde se modelaron todos los elementos, accesorios y tuberías. Además, se efectuó un análisis de resistencia estructural utilizando el método de elementos finitos. Los planos finales fueron generados en el mismo software una vez completada toda la distribución del sistema.

Poma (2015). En su investigación sobre el diseño y construcción de un banco de ensayo para evaluar pérdidas por fricción y singularidades, el autor concluyó que la relación entre caudal y pérdida de carga en válvulas de control

varía de forma lineal o polinómica, dependiendo del grado de apertura de la válvula. El banco permite someter a análisis válvulas tipo esfera, mariposa y rectas de 1", 3/4" y 1/2", permitiendo así obtener curvas de regresión para estimar pérdidas en diferentes condiciones de flujo.

El estudio también resalta que los manómetros con glicerina permiten obtener directamente la pérdida de carga entre dos puntos cuando el diámetro de la tubería permanece constante. En el caso de variaciones de diámetro, como en expansiones y reducciones, es necesario agregar la carga de velocidad para estimar la pérdida total de energía.

Se identificó que las pérdidas son mayores en expansiones (de diámetros menores a mayores) en comparación con las reducciones. Además, las pérdidas generadas por accesorios como codos, tees, válvulas y filtros pueden modelarse con ecuaciones lineales o polinomiales a partir de datos experimentales obtenidos en el banco de pruebas.

Ramírez (2017). En su trabajo, diseñó y construyó un banco hidráulico para estudiar las pérdidas de energía en tuberías de CPVC. La estructura fue elaborada con acero SA-36, con perfiles de 40 mm x 40 mm x 1.5 mm, y su resistencia fue verificada mediante análisis estructural con el software ETABS. El sistema hidráulico contó con un tanque de almacenamiento de 40 litros fabricado en acero inoxidable (0.36 m de diámetro y 0.50 m de altura), una bomba centrífuga de 1 HP con capacidad para caudales entre 10 y 100 l/min, y una presión operativa entre 19 mca y 34 mca.

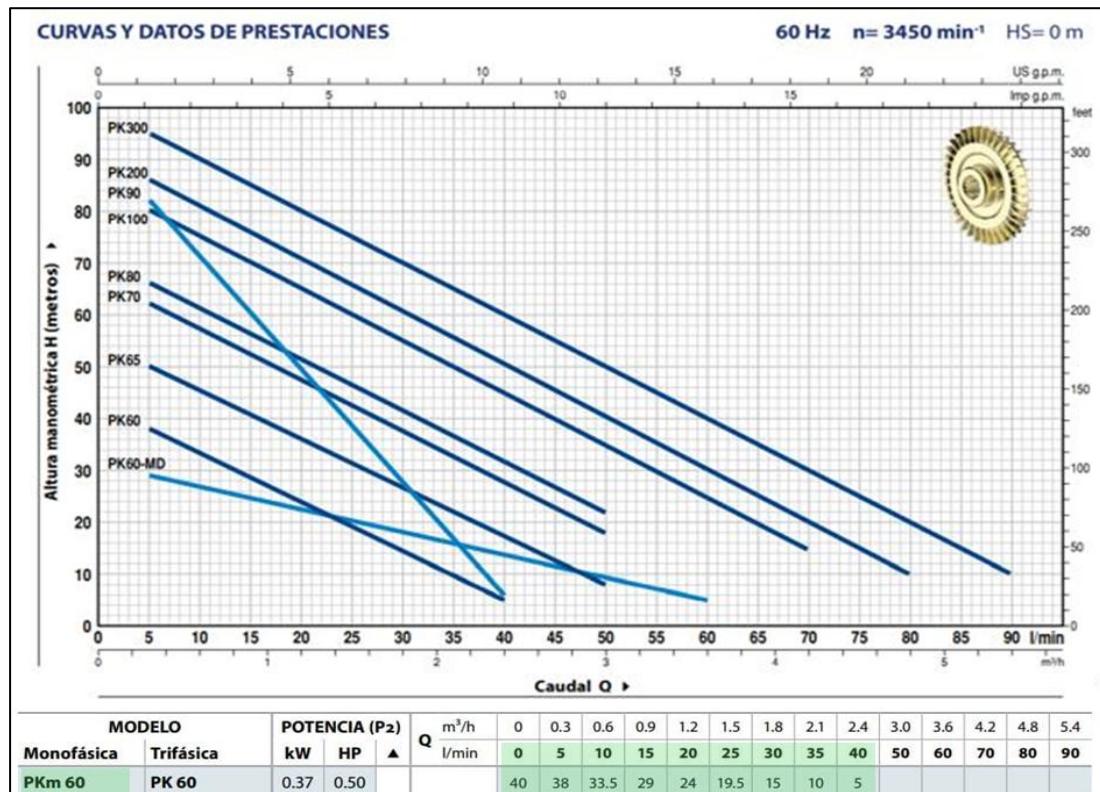
El banco incorporó un flujómetro de 1" diseñado para caudales entre 4 GPM y 28 GPM, resistente a temperaturas de hasta 121 °C, así como una resistencia eléctrica tubular de 3000 W a 220 V. El sistema incluyó también una

flauta con tuberías de $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ ", 1" y $1\frac{1}{2}$ " de CPVC, válvulas, acoplamientos, manómetros análogos de glicerina y tableros eléctricos de control.

Este banco permitió realizar pruebas experimentales para analizar las variaciones de presión en función de la temperatura del agua en circulación. Se observó que a mayor temperatura, la pérdida de carga disminuía, debido a la reducción en viscosidad, peso específico y densidad del agua. Las mediciones entre manómetros a lo largo de las tuberías confirmaron estas tendencias, permitiendo identificar el comportamiento de la pérdida de presión según el diámetro y las condiciones térmicas del fluido.

Pedrollo-Perú (2024), en su catálogo de pruebas experimentales de laboratorio de bombas a presión, donde presentan curvas experimentales de caudal vs altura manométrica, para una bomba modelo PKm60 de 0.5 Hp, se observa una gráfico y tabla, que relaciona el caudal de flujo con la altura (presión) de bombeo.

Figura 1 Curvas experimentales de caudal vs altura manométrica de bomba modelo PKm60 de 0.5 Hp



2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Fluido

Un fluido se define como una sustancia capaz de deformarse de manera continua cuando se le aplica un esfuerzo cortante, por mínimo que este sea. El esfuerzo cortante corresponde a la componente de una fuerza que actúa en dirección tangencial sobre una superficie; al dividir dicha fuerza entre el área donde actúa, se obtiene el valor promedio del esfuerzo cortante aplicado sobre esa superficie. (Streeter, Wylie & Bedford, 1999).

2.2.2. Presión absoluta y manométrica

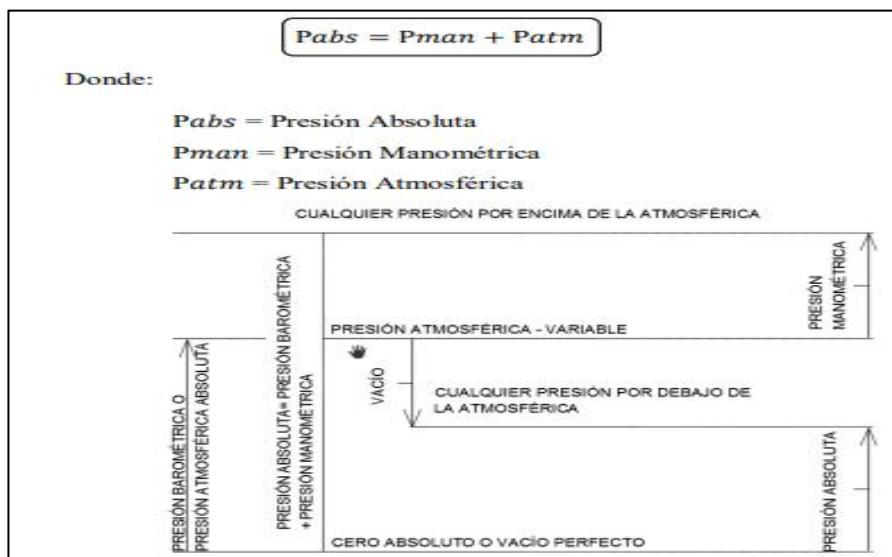
En la figura siguiente se presenta esta relación de manera dinámica. Aunque en la superficie terrestre no es posible alcanzar un vacío absoluto, este

concepto se utiliza como una referencia útil y práctica para realizar mediciones de presión (Mott, 2006).

2.2.3. Relación entre las presiones manométricas y absolutas

La relación que existe entre las presiones manométricas y absolutas se muestra en la siguiente figura (Yambombo, 2012).

Figura 2 Relación entre las presiones manométricas y absolutas



2.2.4. Ecuación de Continuidad

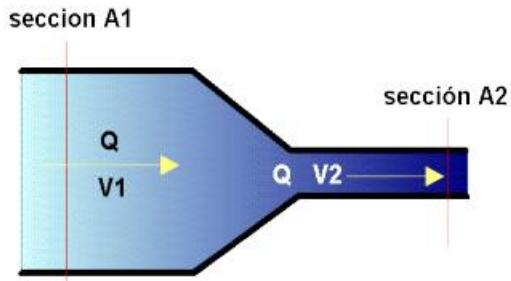
El cálculo de la velocidad de un fluido en un sistema de conductos cerrados se basa en el principio de continuidad. Supongamos el conducto representado en la figura siguiente, donde un fluido se desplaza con un caudal volumétrico constante desde la sección A1 hasta la sección A2. Esto implica que el volumen de fluido que atraviesa cualquier sección del conducto en un intervalo de tiempo determinado permanece invariable. Por lo tanto, la masa que fluye a través de la sección 1 debe ser equivalente a la que pasa por la sección 2. Esta condición se representa mediante la ecuación del flujo másico de la siguiente forma::

$$M_1 = M_2$$

Debido a que $M = \rho \cdot A \cdot V$, tenemos la ecuación de continuidad para cualquier fluido (Mott, 2006):

Figura 3 Ecuación de continuidad para cualquier fluido

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot V_2$$



La ecuación presentada anteriormente corresponde a la expresión matemática del principio de continuidad, conocida como la ecuación de continuidad. Esta permite establecer una relación entre la densidad del fluido, el área de la sección transversal y la velocidad del flujo en dos puntos de un sistema bajo condiciones de flujo estable. Su aplicación es válida tanto para líquidos como para gases. En el caso específico de un líquido incompresible que circula por el conducto mostrado en la figura N°3, los valores de densidad en las secciones 1 y 2 (ρ_1 y ρ_2) se consideran iguales. En tal situación, la ecuación se simplifica, dando lugar a la forma específica de la ecuación de continuidad para líquidos.

Debido a que $Q = A \cdot V$, tenemos:

$$Q_1 = Q_2$$

Donde:

Q = Caudal (m^3 / s)

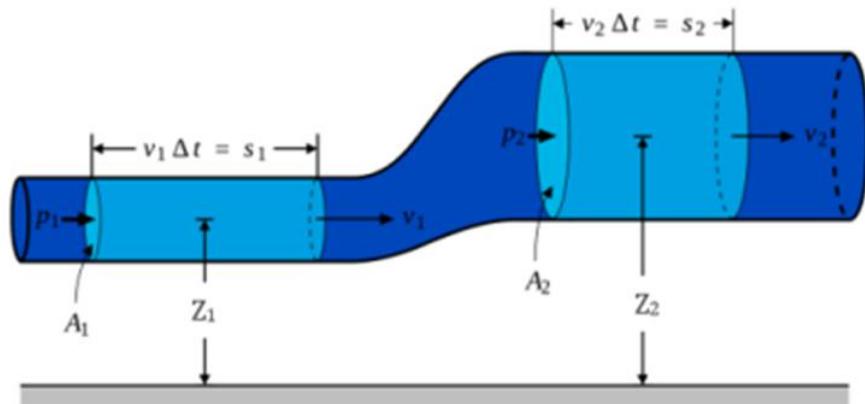
V = Velocidad media de la sección (m/s)

A = Área de la sección de la tubería (m^2)

2.2.5. Ecuación de Bernoulli

El estudio de un problema de flujo en tuberías, como el representado en la figura siguiente, considera todas las formas de energía presentes en el sistema. Desde el enfoque de la física, sabemos que la energía no puede ser creada ni destruida, sino únicamente transformada entre distintas formas. Este principio corresponde a la conocida ley de conservación de la energía (Mott, 2006).

Figura 4 Principio de la ecuación de Bernoulli



En el análisis de flujo dentro de una tubería, es fundamental considerar tres formas principales de energía. Tomando como referencia un elemento de fluido como el mostrado en la figura anterior, que se encuentra dentro de un sistema de conducción, dicho elemento está ubicado a una altura determinada z , posee una velocidad v y está sometido a una presión p . Bajo estas condiciones, el fluido presenta las siguientes formas de energía.

$$E = E_c + E_p + E_f$$

$$E = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + z$$

Donde:

E = Energía Total

Ec = Energía Cinética. Debido a su velocidad.

Ep = Energía Potencial. Debido a su posición.

Ef = Energía del flujo. Debido a su presión.

2.2.6. Ecuación de Hazen y Williams

En el diseño y análisis de redes hidráulicas que conducen agua a presión, la ecuación de Hazen-Williams es ampliamente utilizada por su practicidad y aplicación directa (Mott, 2006). Esta fórmula, sin embargo, está formulada para un sistema de unidades específico. En el sistema tradicional de unidades estadounidense, se expresa de la siguiente manera:

$$v = 1.32 \cdot C_h \cdot R^{0.63} \cdot s^{0.54}$$

Donde:

v=Velocidad promedio del Flujo (pies/s) ó (m/s)

C_h =Coeficiente de Hazen-Williams (adimensional)

R=Radio hidráulico del conducto de flujo (pies) ó (m)

s=Relación h_L/L : pérdida de energía/longitud del conducto (pies/pies)

2.2.7. Fórmula de Darcy y Weisbach

Al término hf se define como la perdida de energía por fricción en el sistema. Una componente de la perdida de energía es la fricción en el fluido que circula. Para el caso del flujo en tuberías y tubos, la fricción es proporcional a la carga de velocidad del flujo y a la relación de la longitud al diámetro de la corriente (Mott, 2006).

Esto se expresa en forma matemática como:

Ecuación de Darcy para calcular la pérdida de energía.

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

Donde:

h_f = pérdida de energía debido a la fricción (m o pies)

L = longitud de la corriente del flujo (m o pies)

D = diámetro de la tubería (m o pies)

v = velocidad promedio del flujo (m/s o pies/s)

f = factor de fricción (adimensional)

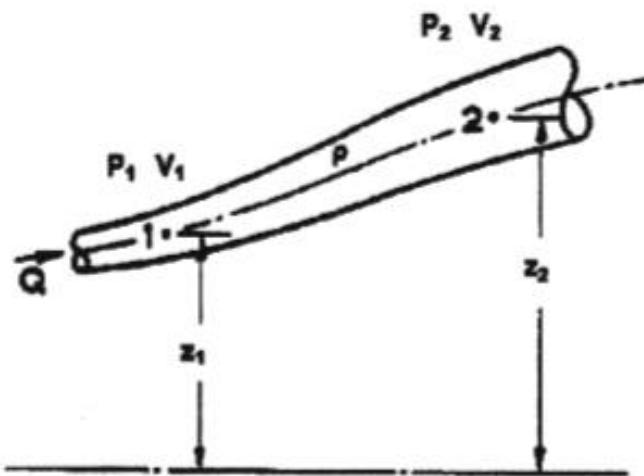
2.2.8. Pérdida de carga

Cuando el flujo del fluido no se comporta de manera ideal, se produce una pérdida de energía a lo largo de su recorrido, conocida como pérdida de carga. Si consideramos el flujo mostrado en la figura siguiente como un flujo real, y aplicamos el principio de conservación de la energía mecánica entre las secciones 1 y 2, se puede obtener la siguiente relación:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta h_{(1-2)}$$

donde $\Delta h_{(1-2)}$ representa la pérdida de carga entre ambas secciones, expresada en términos de altura (longitud).

Figura 5 Pérdida de carga entre las secciones 1 y 2



2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Tuberías y accesorios de PVC

El término PVC hace referencia al policloruro de vinilo, un polímero termoplástico derivado del petróleo. Este tipo de material es ampliamente utilizado en sistemas de conducción, ya que las tuberías fabricadas con PVC permiten el transporte eficiente de líquidos y residuos. Esto se debe a que tanto los tubos como sus uniones presentan superficies internas muy lisas, lo que reduce significativamente el riesgo de obstrucciones. Además, entre sus principales ventajas se encuentran su bajo peso y la variedad de longitudes disponibles, características que facilitan su manipulación e instalación, especialmente en proyectos donde este proceso puede resultar exigente (Poma, 2015).

Cuadro 1 Presiones nominales de trabajo de tuberías de PVC

CLASE	Presión Nominal (bar)
5	5.0
7.5	7.5
10	10.0
15	15.0

Fuente: NICOLL Perú S.A.

ITINTEC Norma Técnica Peruana NTP 399.002: Los diámetros se especifican en pulgadas y varían desde $Y\frac{1}{4}$ " hasta 15" con una longitud de 5m. Las uniones de las tuberías son cementadas.

Cuadro 2 Tuberías de PVC C-1 O SP

Diámetro Nominal (pulg)	Diámetro Exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Espesor (mm)	Longitud Total (m)	Longitud Ut'l (m)	Peso Mínimo (kg)
$\frac{1}{2}$	21.0	17.4	1.8	5	4.97	0.760
$\frac{3}{4}$	26.5	22.9	1.8	5	4.96	0.978
1	33.0	29.4	1.8	5	4.95	1.235
$1\frac{1}{4}$	42.0	38.0	2.0	5	4.95	1.759
$1\frac{1}{2}$	48.0	43.4	2.3	5	4.95	2.311
2	60.0	54.2	2.9	5	4.94	3.642
$2\frac{1}{2}$	73.0	66.0	3.5	5	4.93	5.349
3	88.5	80.1	4.2	5	4.92	7.786
4	114.0	103.2	5.4	5	4.90	12.897
6	168.4	152.0	8.0	5	4.85	28.149
8	219.0	198.2	10.4	5	4.83	47.709
10	273.0	247.0	13.0	5	4.79	74.330
12	323.0	292.2	15.4	5	4.75	104.173

Fuente: NICOLL Perú S.A.

2.3.2. Válvulas y Accesorios

Los dispositivos que regulan el sentido o el caudal del fluido dentro de un sistema suelen generar turbulencia localizada, lo que provoca una disipación de energía en forma de calor. Cada vez que el flujo experimenta una restricción, como un cambio en su dirección o velocidad, se producen estas pérdidas. En sistemas extensos, las pérdidas ocasionadas por válvulas y accesorios generalmente son menores en comparación con las pérdidas por fricción en las tuberías, motivo por el cual se les denomina pérdidas menores (Poma, 2015).

2.3.3. Fricción del fluido

Durante su desplazamiento, el fluido encuentra resistencia debida a la fricción, lo cual convierte parte de la energía en calor, que se transfiere a través

de las paredes del conducto. La cantidad de energía que se pierde por este fenómeno depende de distintos factores, como las propiedades del fluido, la velocidad del flujo, las dimensiones de la tubería, su acabado superficial y su longitud. En capítulos posteriores se abordarán los métodos para calcular esta clase de pérdida energética (Poma, 2015).

2.3.4. Manómetro

El manómetro es un instrumento de medición de presión que destaca por su sencillez y precisión. Su funcionamiento se basa en el principio de que la presión provoca la deformación de un elemento elástico. Cabe destacar que estos dispositivos siempre miden diferencias de presión y no valores absolutos. En la mayoría de los casos, una de las presiones comparadas es la atmosférica, por lo que se utiliza el término "presión manométrica" para referirse a la presión medida respecto al valor de la presión atmosférica local (Poma, 2015).

2.3.5. Bomba

La bomba es un dispositivo mecánico ampliamente utilizado para incorporar energía al fluido. Por lo general, funciona gracias a un motor eléctrico u otro mecanismo que impulsa un eje rotatorio. Esta energía mecánica es transferida al fluido en forma de energía cinética, lo que genera su movimiento y un aumento en la presión dentro del sistema (Poma, 2015).

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La hipótesis general del trabajo de investigación es el siguiente:

Existe una relación de dependencia de la pérdida de carga cuando varían el caudal y el diámetro en el flujo hidráulico en una tubería de riego.

2.4.2. Hipótesis específicas

Las hipótesis específicas del trabajo de investigación son las siguientes:

- a) Existe una relación directa entre la pérdida de carga y el caudal en el flujo hidráulico en una tubería de riego.
- b) Existe una relación inversa entre la pérdida de carga y el diámetro en el flujo hidráulico en una tubería de riego.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variables independientes

Las variables independientes identificadas en el trabajo de investigación son:

- Caudal del flujo hidráulico
- Diámetro de la tubería de riego

2.5.2. Variables dependientes

La variable dependiente identificada en el trabajo de investigación es:

- Pérdida de Carga hidráulica

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Cuadro 3 Variables e indicadores

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO
INDEPENDIENTES:				
- Diámetro de la tubería de riego	Sección transversal	Tamaño del diámetro	Pulgadas	Calibrador de vernier
- Caudal de flujo hidráulico	Flujo de agua	Velocidad del Flujo	Litros/segundo	Contómetro hidráulico

DEPENDIENTES:				
- Pérdida de Carga hidráulica	Diferencia de presión	Presión hidráulica	Bares	Manómetro hidráulico

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El trabajo de investigación es de tipo cuantitativa aplicada.

3.2. Nivel de investigación

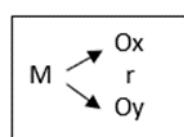
El trabajo de investigación es de nivel experimental relacional.

3.3. Métodos de investigación

El método utilizado en la investigación es la observación.

3.4. Diseño de investigación

El presente proyecto de investigación es de diseño relacional, y tiene el siguiente diagrama:



Donde:

M = Muestra de investigación.

O = Observaciones.

r = Relación existente entre dos variables.

x, y = Sub índices de análisis de correlación.

3.5. Población y muestra

En esta investigación se consideró que la población es sólo una, por lo que la población es igual a la muestra: N=n

- a. Población (N) : 8 pérdidas de carga por trayectoria de tubería.
- b. Muestra (n) : 8 pérdidas de carga por trayectoria de tubería.

3.6. Técnicas e instrumento recolección de datos

3.6.1. Técnicas

El ensayo

Los ensayos fueron ejecutados en el banco de pruebas instalado en el taller, permitiendo obtener los datos correspondientes a las pérdidas de carga en las distintas configuraciones del sistema. Durante las pruebas se realizaron observaciones minuciosas y precisas del comportamiento del flujo presurizado en cada trayecto evaluado.

3.6.2. Instrumentos

- a. Manual de uso del banco de pruebas
- b. Formatos de ensayos de pérdidas de carga.
- c. Formularios de las ecuaciones de Hazen-Williams / Darcy-Weisbach

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

- a. Se midieron los caudales en la realización de los distintos ensayos o pruebas.
- b. Se evaluaron las pérdidas de carga de acuerdo a los caudales y los diámetros de las tuberías, en tablas de Excel.
- c. Una vez realizada la recolección de datos, se procedió a su procesamiento y análisis, organizándolos en tablas elaboradas en Excel. Este tratamiento

permitió evidenciar las variaciones en las pérdidas de carga entre las tuberías de PVC y los distintos tipos de accesorios utilizados en el sistema.

3.8. Tratamiento estadístico

En gráficos estadísticos de dispersión de puntos, para flujos de agua en tuberías de diámetros de tubería de 1", 3/4" y 1/2", se consideró encontrar la relación que existe entre la variación de pérdida de carga cuando varía del caudal, comparándolo con el comportamiento teórico, según Hazen-Williams y Darcy-Weisbach. Luego, se buscó encontrar la relación que existen entre la variación de la pérdida de carga cuando varía el diámetro de la tubería, comparándolo con el comportamiento teórico, según Hazen-Williams y Darcy-Weisbach. Finalmente, se consideró relacionar la variación de pérdida de carga cuando varía del caudal, en cinco tipos de accesorios. Así a saber:

- a. Pérdida de Carga vs Caudales de flujo
- b. Pérdida de Carga vs Diámetro de la tubería
- c. Pérdida de Carga en cada accesorio

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

La ética constituye un principio fundamental que debe estar presente en todas las fases de una investigación, desde su planificación y ejecución hasta la evaluación final del proyecto. Antes de diseñar un estudio, es esencial reflexionar sobre los posibles beneficios y costos que este pueda generar. En muchas decisiones cotidianas, evaluamos estos aspectos sin ser plenamente conscientes de ello. En el desarrollo de este proyecto, no se manipularon los resultados en función de la fuente de financiamiento. Asimismo, se actuó con integridad, sin incurrir en fraude, falsificación de datos ni en prácticas que constituyan mala conducta científica.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

El trabajo de investigación consistió en la construcción de un banco de pruebas hidráulicas, dentro de los ambientes en el taller de Hidráulica para Riego de la Escuela Profesional de Agronomía. Este banco de pruebas está conformado por los siguientes componentes:

- Una estructura metálica, soporte del módulo tubular, de 2.5m de largo por 1.00m de ancho por 1.50 m de altura.
- Tres líneas de tuberías lisas de PVC SAP C-10 de 1.90 m, de diámetros 1", $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ ". Estas tuberías presentan manómetros digitales a la entrada y salida de las mismas. Asimismo, presentan válvulas de control del flujo de agua.
- Una línea de tubería lisa de PVC SAP C-10, que presenta accesorios de PVC de ampliación de $\frac{1}{2}$ " a 1" y de reducción de 1" a $\frac{1}{2}$ ". Estos accesorios presentan manómetros digitales inmediatamente antes y después de las mismos. Asimismo, presentan válvulas de control del flujo de agua.

- Una línea de tubería lisa de PVC SAP C-10 de 1”, que presentan accesorios de codo PVC SAP 1” x 90°, codo PVC SAP 1” x 45°, válvula esférica PVC 1”, unión universal PVC 1” y válvula compuerta Bronce 1”.
- Una electrobomba de 0.5 HP.
- Un tanque de polietileno de 250 litros.
- Un recipiente graduado de plástico de 30 litros.

En este banco de pruebas se realizaron las mediciones de caudal y pérdida de carga en tres líneas de tuberías de diámetros 1”, ¾” y ½”, respectivamente. Asimismo, se realizaron mediciones de caudal y pérdida de carga en siete accesorios: ampliación de ½” a 1”, reducción de 1” a ½”, codo PVC SAP 1” x 90°, codo PVC SAP 1” x 45°, válvula esférica PVC 1”, unión universal PVC 1” y válvula compuerta Bronce 1”.

Gráfico 1 Estructura metálica del banco de pruebas hidráulicas

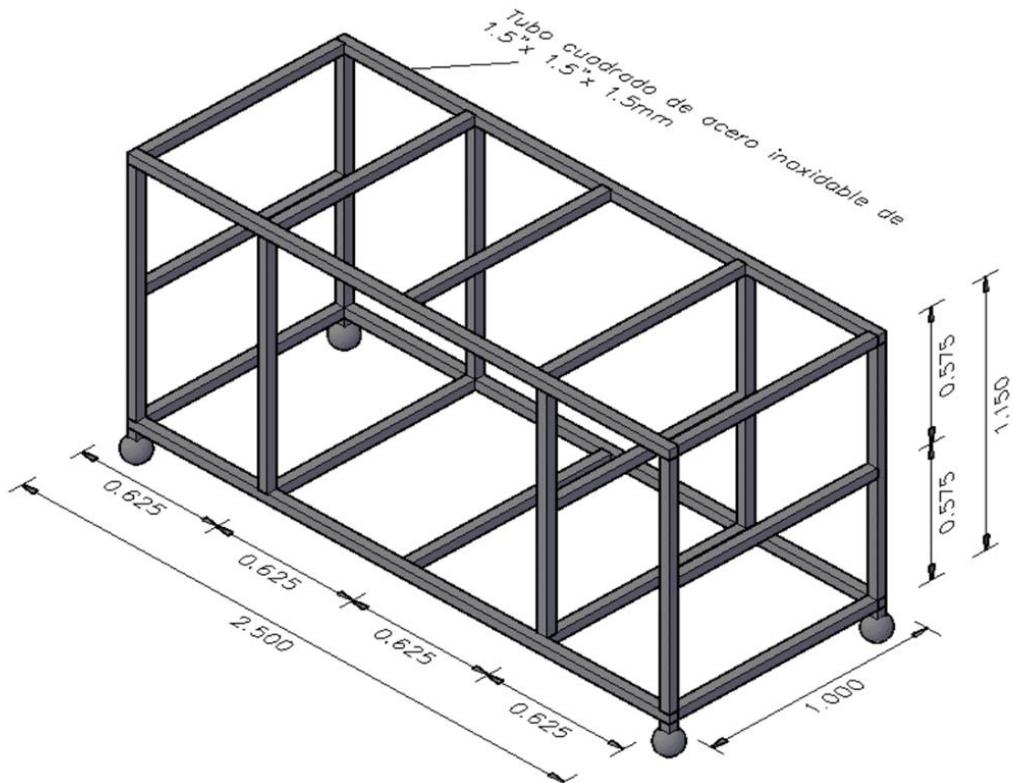
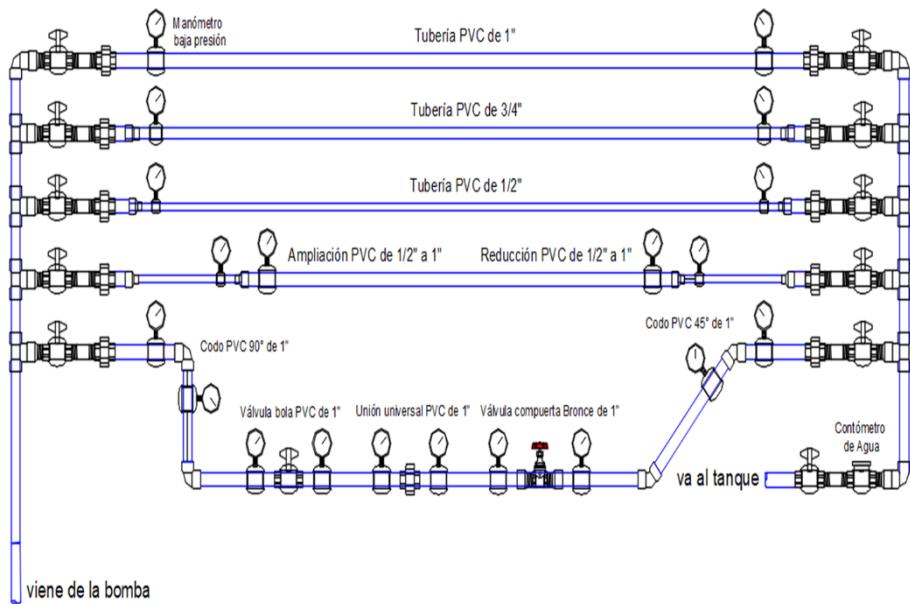


Gráfico 2 Módulo tubular del banco de pruebas hidráulicas



4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

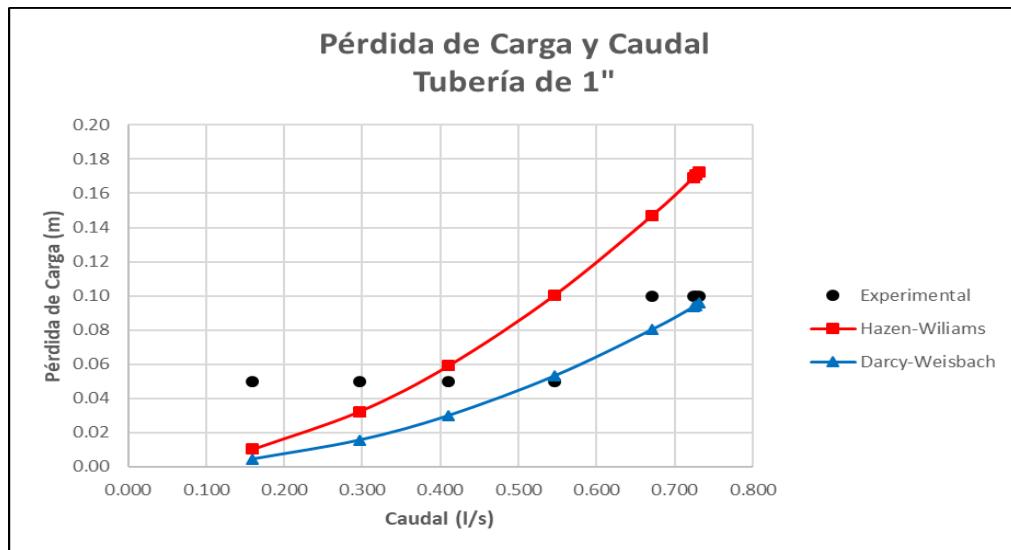
4.2.1. Relación de la pérdida de carga y el caudal en tuberías

Se evaluó la relación de Pérdida de Carga por fricción generada para Caudal medido, en flujos de agua en tuberías lisas de 1.90 m de longitud y diámetros internos de 1", 3/4" y 1/2". Los caudales se midieron desde flujo a válvula abierta, seguido de siete parciales cierres graduales. Se realizaron ocho ensayos o pruebas para cada línea de diámetro distinto.

Tabla 1 Pérdida de carga y caudal – tubería de 1 "

Nº	CAUDAL (l/s)	PÉRDIDA DE CARGA				
		EXPERIMENTAL			TEÓRICA	
		Presión Entrada (m)	Presión Salida (m)	Hf (m)	Hazen - Williams (m)	Darcy - Weisbach (m)
1	0.732	0.710	0.610	0.100	0.173	0.096
2	0.727	0.960	0.860	0.100	0.171	0.094
3	0.724	1.470	1.370	0.100	0.169	0.094
4	0.671	5.760	5.660	0.100	0.147	0.080
5	0.546	11.470	11.420	0.050	0.100	0.053
6	0.411	18.290	18.240	0.050	0.059	0.030
7	0.296	24.370	24.320	0.050	0.032	0.016
8	0.160	31.030	30.980	0.050	0.010	0.005

Gráfico 3 Pérdida de carga y caudal – tubería de 1"



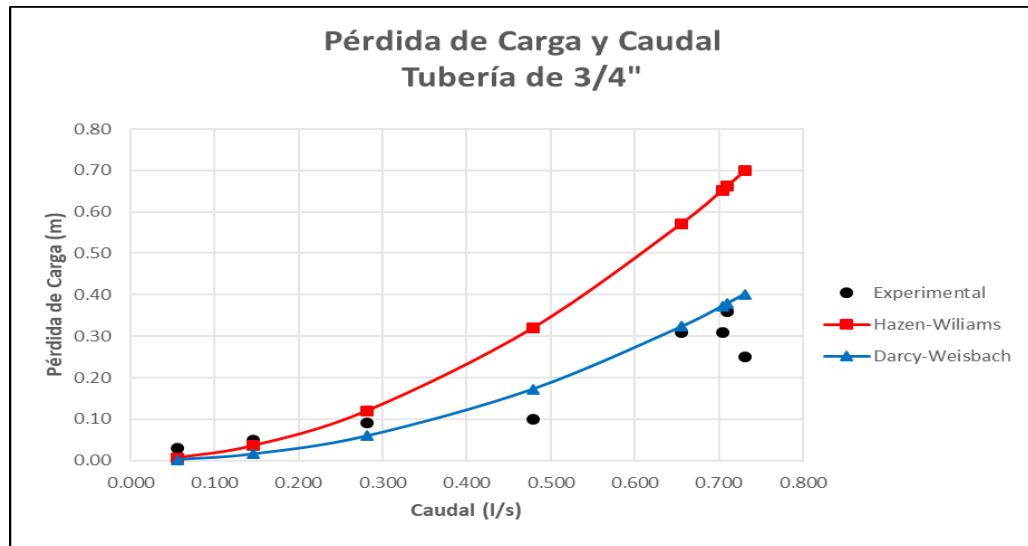
La Tabla 01 muestra la variación de caudales para una tubería de 1" de diámetro, que van desde 0.732 l/s hasta 0.160 l/s. Asimismo, se observa que las variaciones de pérdidas de carga se hacen notoria a partir de un caudal de 0.546 l/s, y luego se mantiene con un valor constante de 0.050 m hasta el último caudal de 0.160 l/s. En esta tabla también se observan las pérdidas de carga teóricas de Hazen-Williams y de Darcy-Weisbach. para los mismos caudales medidos experimentalmente.

En el Gráfico 03 se muestra los puntos experimentales, que representan los pares ordenados conformados por los valores de caudal y de pérdida de carga. En este gráfico también se observa la definición de las líneas curvas conformadas por los puntos teóricos, según Hazen-Williams y según Darcy-Weisbach.

Tabla 2 Pérdida de carga y caudal – tubería de 3/4”

Nº	CAUDAL	PÉRDIDA DE CARGA				
		EXPERIMENTAL		TEÓRICA		
		Presión Entrada (l/s)	Presión Salida (m)	Hf (m)	Hazen - Williams (m)	Darcy - Weisbach (m)
1	0.731	0.860	0.610	0.250	0.699	0.402
2	0.710	1.120	0.760	0.360	0.662	0.379
3	0.704	1.730	1.420	0.310	0.652	0.373
4	0.656	5.300	4.990	0.310	0.572	0.324
5	0.479	15.290	15.190	0.100	0.319	0.172
6	0.281	21.110	21.020	0.090	0.119	0.059
7	0.146	31.710	31.660	0.050	0.035	0.016
8	0.055	35.740	35.710	0.030	0.006	0.002

Gráfico 4 Pérdida de carga y caudal – tubería de 3/4”



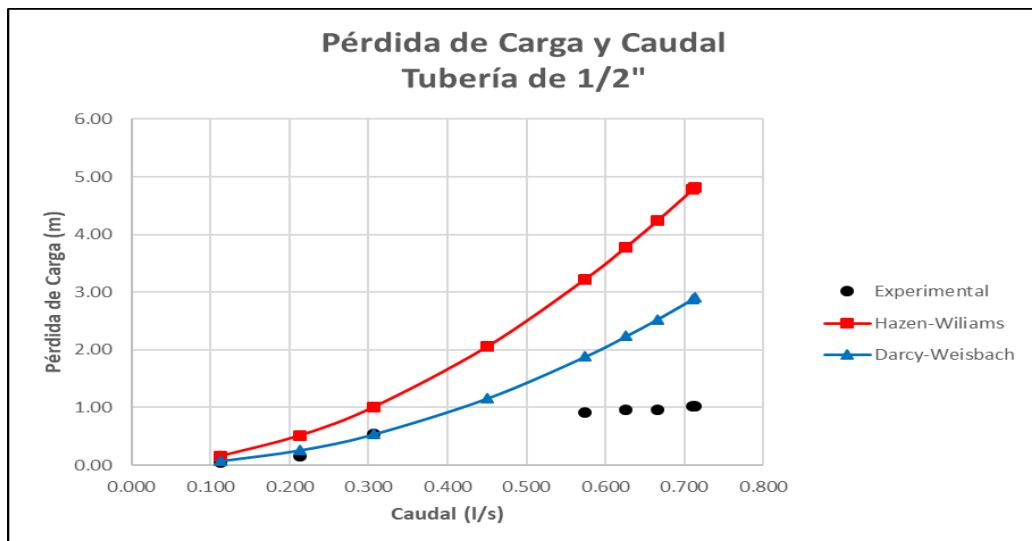
La Tabla 02 muestra la variación de caudales para una tubería de 3/4” de diámetro, que van desde 0.731 l/s hasta 0.055 l/s. Asimismo, se observa que las variaciones de pérdidas de carga van desde 0.250 m hasta el 0.030 m. En esta tabla también se observan las pérdidas de carga teóricas de Hazen-Williams y de Darcy-Weisbach, para los mismos caudales medidos experimentalmente.

En el Gráfico 04 se muestra los puntos experimentales, que representan los pares ordenados conformados por los valores de caudal y de pérdida de carga. En este gráfico también se observa la definición de las líneas curvas conformadas por los puntos teóricos, según Hazen-Williams y según Darcy-Weisbach.

Tabla 3 Pérdida de carga y caudal – tubería de 1/2”

Nº	CAUDAL	PÉRDIDA DE CARGA				
		EXPERIMENTAL		TEÓRICA		
		Presión Entrada (m)	Presión Salida (m)	Hf (m)	Hazen - Williams (m)	Darcy - Weisbach (m)
(l/s)						
1	0.714	1.680	0.660	1.020	4.816	2.909
2	0.710	1.880	0.860	1.020	4.778	2.884
3	0.666	3.030	2.070	0.960	4.234	2.531
4	0.626	4.950	3.990	0.960	3.784	2.242
5	0.574	7.090	6.180	0.910	3.222	1.884
6	0.307	21.630	21.090	0.540	1.010	0.537
7	0.213	27.020	26.860	0.160	0.516	0.260
8	0.113	31.830	31.780	0.050	0.160	0.073

Gráfico 5 Pérdida de carga y caudal – tubería de 1/2”



La Tabla 03 muestra la variación de caudales para una tubería de ½” de diámetro, que van desde 0.714 l/s hasta 0.113 l/s. Asimismo, se observa que las variaciones de pérdidas de carga van desde 1.020 m hasta el 0.050 m. En esta tabla también se observan las pérdidas de carga teóricas de Hazen-Williams y de Darcy-Weisbach, para los mismos caudales medidos experimentalmente.

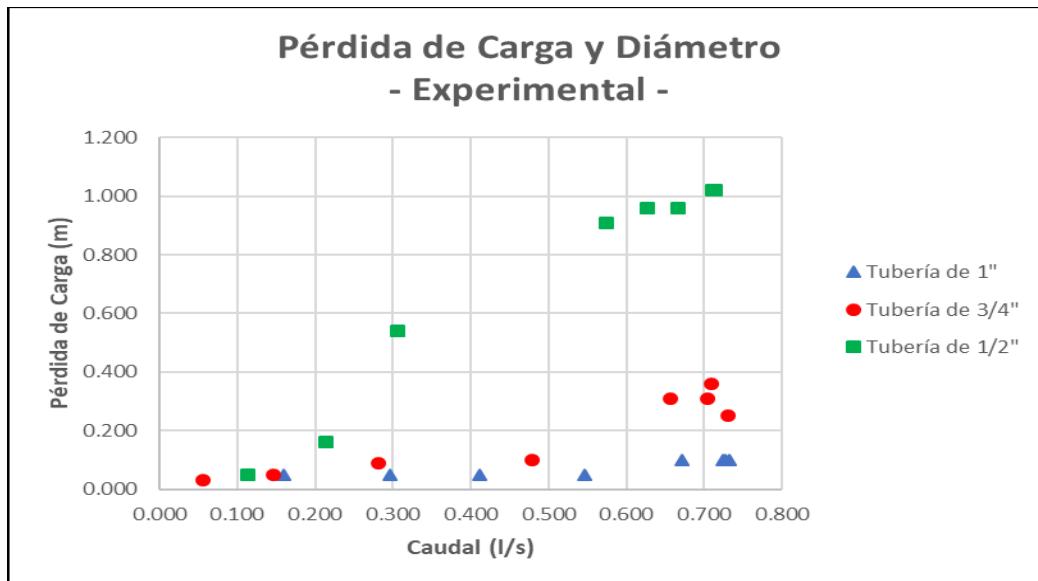
En el Gráfico 05 se muestra los puntos experimentales, que representan los pares ordenados conformados por los valores de caudal y de pérdida de carga. En este gráfico también se observa la definición de las líneas curvas conformadas por los puntos teóricos, según Hazen-Williams y según Darcy-Weisbach.

4.2.2. Relación de la pérdida de carga y el diámetro de la tubería

Tabla 4 Pérdida de carga y diámetro – experimental

Nº	Tubería de 1"		Tubería de 3/4"		Tubería de 1/2"	
	Q (l/s)	Hf (m)	Q (l/s)	Hf (m)	Q (l/s)	Hf (m)
1	0.732	0.100	0.731	0.250	0.714	1.020
2	0.727	0.100	0.710	0.360	0.710	1.020
3	0.724	0.100	0.704	0.310	0.666	0.960
4	0.671	0.100	0.656	0.310	0.626	0.960
5	0.546	0.050	0.479	0.100	0.574	0.910
6	0.411	0.050	0.281	0.090	0.307	0.540
7	0.296	0.050	0.146	0.050	0.213	0.160
8	0.160	0.050	0.055	0.030	0.113	0.050

Gráfico 6 Pérdida de carga y diámetro – Experimental



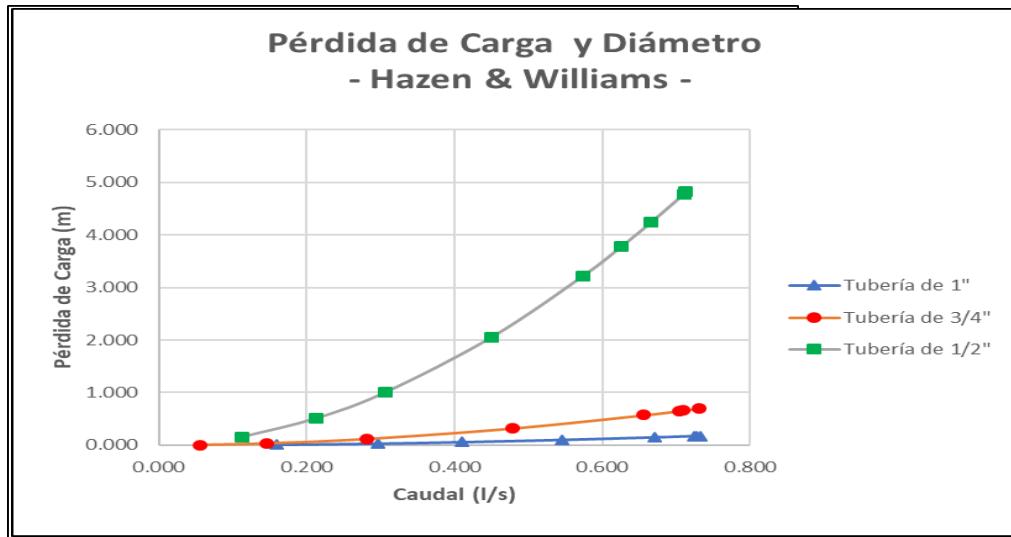
La Tabla 04 muestra, en forma conjunta, las variaciones de caudales para las tuberías de diámetros de 1", de 3/4" y de 1/2", cuyos caudales van desde 0.732 l/s hasta 0.160 l/s, desde 0.731 l/s hasta 0.055 y desde 0.714 l/s hasta 0.113 l/s, respectivamente. Asimismo, se observan sus correspondientes variaciones experimentales de pérdidas de carga, que van desde 0.100 m hasta 0.050 m, desde 0.250 m hasta 0.030 m y desde 1.020 m hasta el 0.050 m, respectivamente.

En el Gráfico 06 se muestra los puntos experimentales, que representan los pares ordenados conformados por los valores de caudal y de pérdida de carga, para diámetro de tubería, diferenciados por la forma y color de los puntos.

Tabla 5 Pérdida de carga y diámetro – Hazen&Williams

Nº	Tubería de 1"		Tubería de 3/4"		Tubería de 1/2"	
	Q (l/s)	Hf (m)	Q (l/s)	Hf (m)	Q (l/s)	Hf (m)
	1	0.732	0.173	0.731	0.699	0.714
2	0.727	0.171	0.710	0.662	0.710	4.778
3	0.724	0.169	0.704	0.652	0.666	4.234
4	0.671	0.147	0.656	0.572	0.626	3.784
5	0.546	0.100	0.479	0.319	0.574	3.222
6	0.411	0.059	0.281	0.119	0.450	2.052
7	0.296	0.032	0.146	0.035	0.307	1.010
8	0.160	0.010	0.055	0.006	0.213	0.516

Gráfico 7 Pérdida de carga y diámetro – Hazen&Williams



La Tabla 05 muestra, en forma conjunta, las variaciones de caudales para las tuberías de diámetros de 1", de ¾" y de ½", cuyos caudales van desde 0.732 l/s hasta 0.160 l/s, desde 0.731 l/s hasta 0.055 y desde 0.714 l/s hasta 0.113 l/s, respectivamente. Asimismo, se observan sus correspondientes variaciones teóricas según Hazen-Williams, de pérdidas de carga, que van desde 0.173 m hasta 0.010 m, desde 0.699 m hasta 0.006 m y desde 4.816 m hasta el 0.160 m, respectivamente.

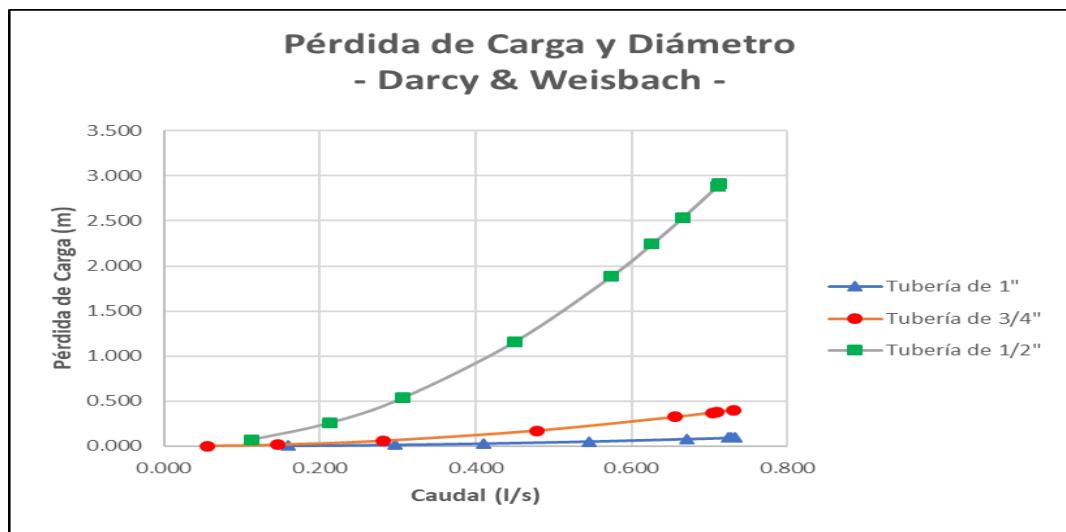
En el Gráfico 07 se muestra los puntos y línea teóricos, según Hazen-Williams, que representan los pares ordenados conformados por los valores de

caudal y de pérdida de carga, para diámetro de tubería, diferenciados por la forma y color de los puntos.

Tabla 6 Pérdida de carga y diámetro – Darcy&Weisbach

Nº	Tubería de 1"		Tubería de 3/4"		Tubería de 1/2"	
	Q (l/s)	Hf (m)	Q (l/s)	Hf (m)	Q (l/s)	Hf (m)
1	0.732	0.096	0.731	0.402	0.714	2.909
2	0.727	0.094	0.710	0.379	0.710	2.884
3	0.724	0.094	0.704	0.373	0.666	2.531
4	0.671	0.080	0.656	0.324	0.626	2.242
5	0.546	0.053	0.479	0.172	0.574	1.884
6	0.411	0.030	0.281	0.059	0.450	1.157
7	0.296	0.016	0.146	0.016	0.307	0.537
8	0.160	0.005	0.055	0.002	0.213	0.260

Gráfico 8 Pérdida de carga y diámetro – Darcy&Weisbach



La Tabla 06 muestra, en forma conjunta, las variaciones de caudales para las tuberías de diámetros de 1", de $\frac{3}{4}$ " y de $\frac{1}{2}$ ", cuyos caudales van desde 0.732 l/s hasta 0.160 l/s, desde 0.731 l/s hasta 0.055 y desde 0.714 l/s hasta 0.113 l/s, respectivamente. Asimismo, se observan sus correspondientes variaciones teóricas según Darcy-Weisbach, de pérdidas de carga, que van desde 0.096 m hasta 0.005 m, desde 0.402 m hasta 0.002 m y desde 2.909 m hasta el 0.260 m, respectivamente.

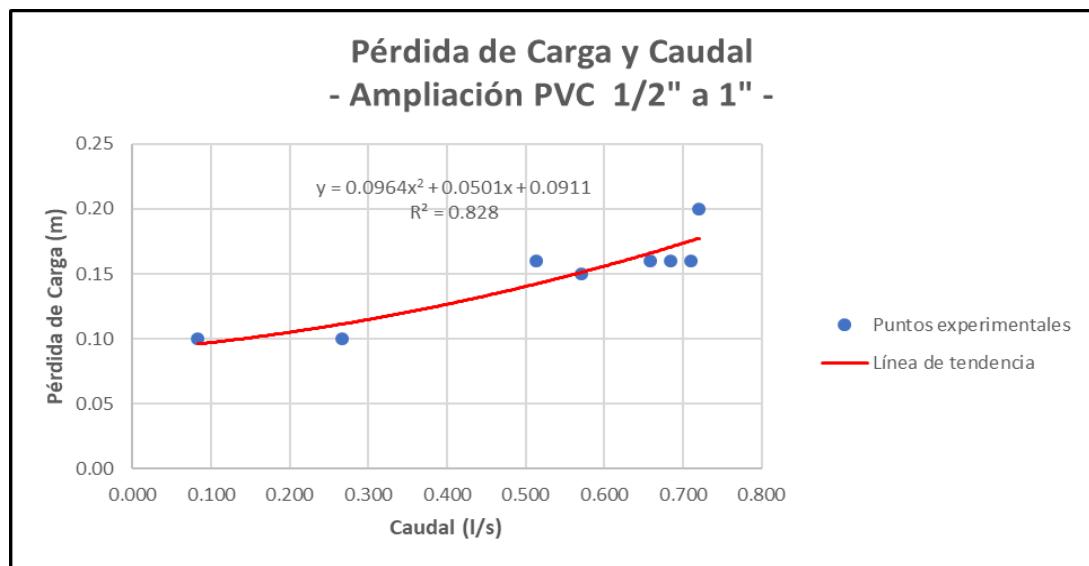
En el Gráfico 08 se muestra los puntos y línea teórica, según Darcy-Weisbach, que representan los pares ordenados conformados por los valores de caudal y de pérdida de carga, para diámetro de tubería, diferenciados por la forma y color de los puntos.

4.2.3. Relación de la pérdida de carga y el caudal en accesorios

Tabla 7 Pérdida de carga y caudal –Ampliación PVC $\frac{1}{2}$ " a 1 "

Nº	CAUDAL (l/s)	PÉRDIDA DE CARGA		
		Presión Entrada (m)	Presión Salida (m)	Hf (m)
1	0.720	1.830	1.630	0.200
2	0.710	2.190	2.030	0.160
3	0.684	3.160	3.000	0.160
4	0.659	5.480	5.320	0.160
5	0.571	9.560	9.410	0.150
6	0.513	13.050	12.890	0.160
7	0.266	25.490	25.390	0.100
8	0.083	34.100	34.000	0.100

Gráfico 9 Pérdida de carga y caudal –Ampliación PVC $\frac{1}{2}$ " a 1 "



La Tabla 07 muestra la variación de caudales para un accesorio de ampliación PVC de $\frac{1}{2}$ " a 1 ", que van desde 0.720 l/s hasta 0.083 l/s. Asimismo,

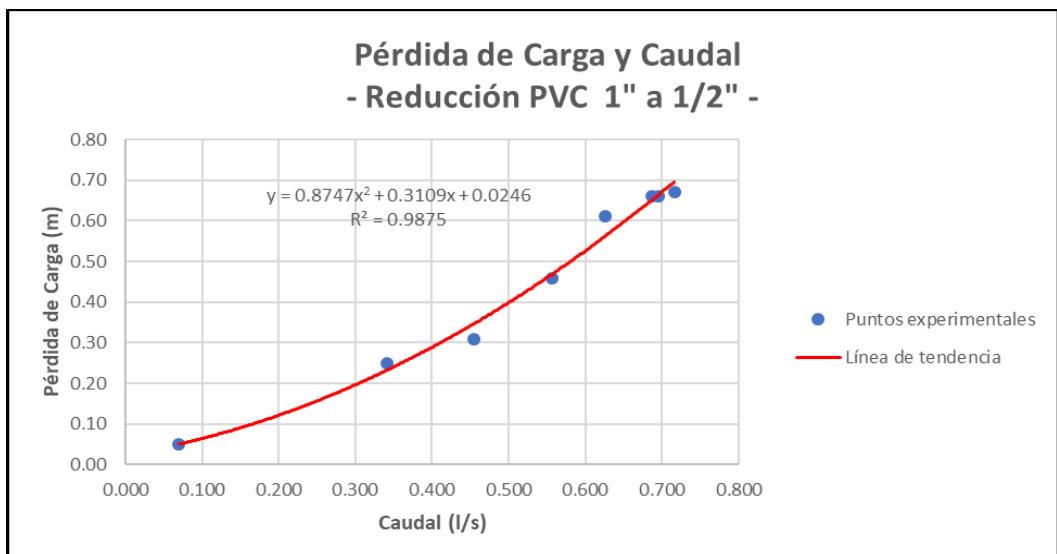
se observa que las variaciones de pérdidas de carga van desde 0.200 m hasta el 0.100 m.

En el Gráfico 09 se muestra los puntos experimentales, que representan los pares ordenados conformados por los valores de caudal y de pérdida de carga. En este gráfico también se observa la ecuación que mejor explica la tendencia de los puntos, siendo una ecuación polinomial, $y = 0.0964x^2 + 0.0501x + 0.0911$, con un $R^2 = 0.828$.

Tabla 8 *Pérdida de carga y caudal –Reducción PVC 1" a ½"*

Nº	CAUDAL (l/s)	PÉRDIDA DE CARGA		
		Presión Entrada (m)	Presión Salida (m)	Hf (m)
1	0.716	1.580	0.910	0.670
2	0.695	1.980	1.320	0.660
3	0.688	3.260	2.600	0.660
4	0.626	6.010	5.400	0.610
5	0.556	10.550	10.090	0.460
6	0.454	16.210	15.900	0.310
7	0.341	21.200	20.950	0.250
8	0.069	34.460	34.410	0.050

Gráfico 10 *Pérdida de carga y caudal –Reducción PVC 1" a ½"*



La Tabla 08 muestra la variación de caudales para un accesorio de reducción PVC de 1" a ½", que van desde 0.716 l/s hasta 0.069 l/s. Asimismo, se

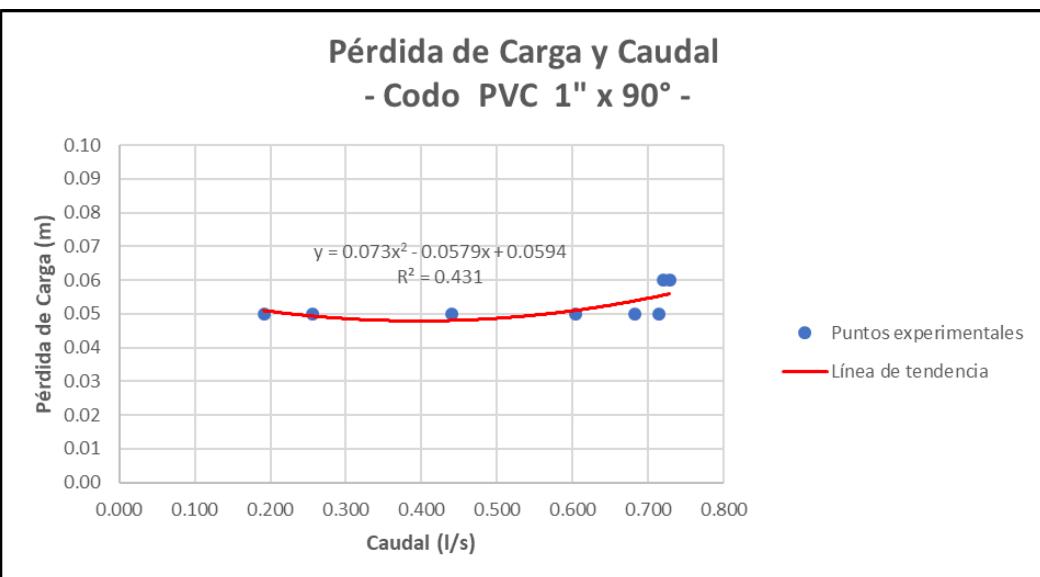
observa que las variaciones de pérdidas de carga van desde 0.670 m hasta el 0.050 m.

En el Gráfico 10 se muestra los puntos experimentales, que representan los pares ordenados conformados por los valores de caudal y de pérdida de carga. En este gráfico también se observa la ecuación que mejor explica la tendencia de los puntos, siendo una ecuación polinomial, $y = 0.8747x^2 + 0.3109x + 0.0246$, con un $R^2 = 0.9875$.

Tabla 9 Pérdida de carga y caudal –Codo PVC 1" x 90°

Nº	CAUDAL (l/s)	PÉRDIDA DE CARGA		
		Presión Entrada (m)	Presión Salida (m)	Hf (m)
1	0.729	1.580	1.520	0.060
2	0.719	1.890	1.830	0.060
3	0.714	2.440	2.390	0.050
4	0.682	4.740	4.690	0.050
5	0.604	9.430	9.380	0.050
6	0.441	17.070	17.020	0.050
7	0.255	26.200	26.150	0.050
8	0.191	30.130	30.080	0.050

Gráfico 11 Pérdida de carga y caudal –Codo PVC 1" x 90°



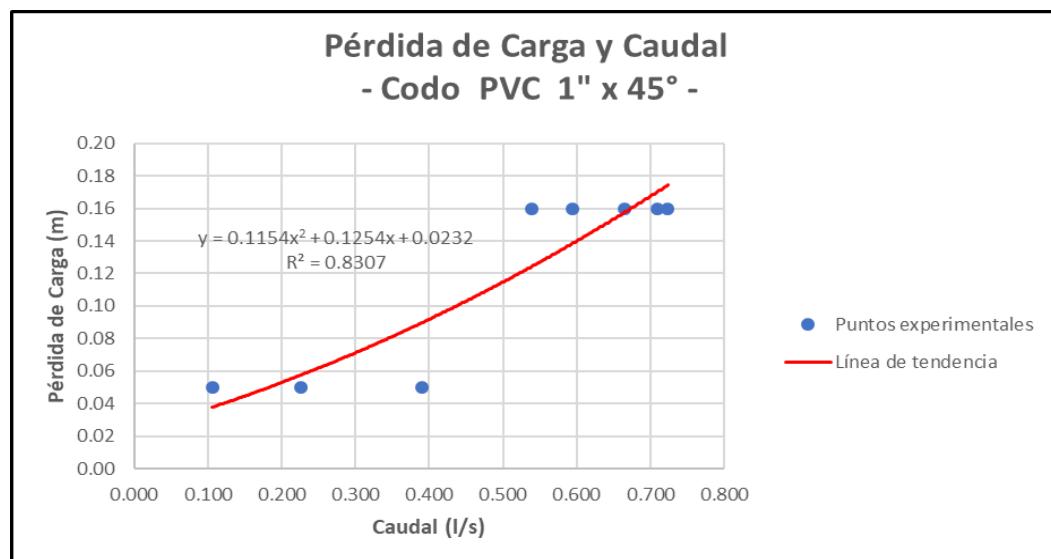
La Tabla 09 muestra la variación de caudales para un accesorio codo de PVC de 1" x 90°, que van desde 0.729 l/s hasta 0.191 l/s. Asimismo, se observa que las variaciones de pérdidas de carga van desde 0.060 m hasta el 0.050 m.

En el Gráfico 11 se muestra los puntos experimentales, que representan los pares ordenados conformados por los valores de caudal y de pérdida de carga. En este gráfico también se observa la ecuación que mejor explica la tendencia de los puntos, siendo una ecuación polinomial, $y = 0.073x^2 - 0.0579x + 0.0594$, con un $R^2 = 0.431$.

Tabla 10 Pérdida de carga y caudal –Codo PVC 1" x 45°

Nº	CAUDAL (l/s)	PÉRDIDA DE CARGA		
		Presión Entrada (m)	Presión Salida (m)	Hf (m)
1	0.723	0.610	0.450	0.160
2	0.710	2.190	2.030	0.160
3	0.665	5.300	5.140	0.160
4	0.594	8.820	8.660	0.160
5	0.539	12.440	12.280	0.160
6	0.390	19.570	19.520	0.050
7	0.226	27.830	27.780	0.050
8	0.106	33.540	33.490	0.050

Gráfico 12 Pérdida de carga y caudal –Codo PVC 1" x 45°



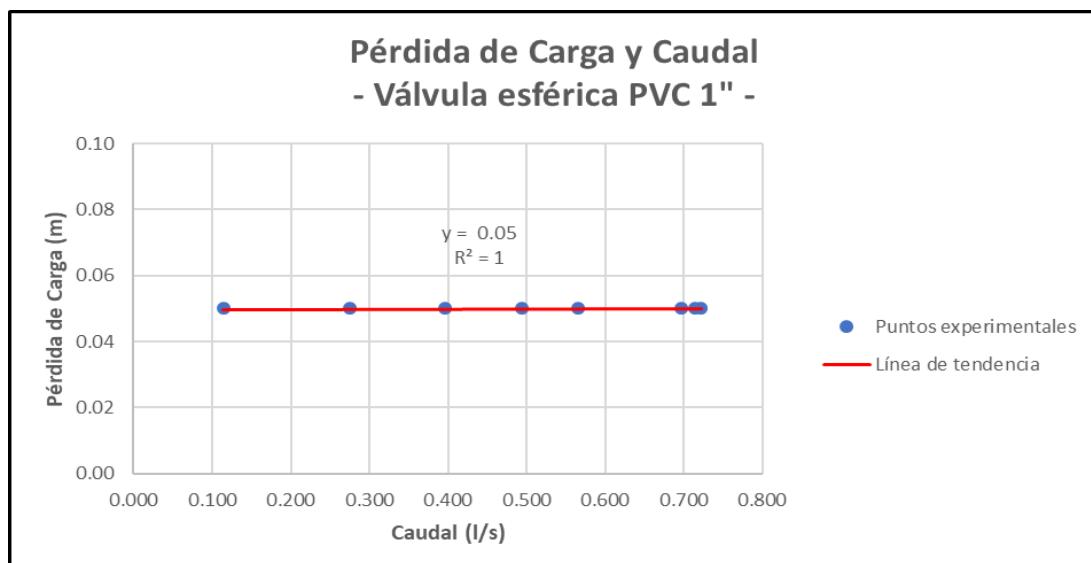
La Tabla 10 muestra la variación de caudales para un accesorio codo de PVC de 1" x 45°, que van desde 0.723 l/s hasta 0.106 l/s. Asimismo, se observa que las variaciones de pérdidas de carga van desde 0.160 m hasta el 0.050 m.

En el Gráfico 12 se muestra los puntos experimentales, que representan los pares ordenados conformados por los valores de caudal y de pérdida de carga. En este gráfico también se observa la ecuación que mejor explica la tendencia de los puntos, siendo una ecuación polinomial, $y = 0.1154x^2 + 0.1254x + 0.0232$, con un $R^2 = 0.8307$.

Tabla 11 Pérdida de carga y caudal –Válvula esférica PVC 1"

Nº	CAUDAL (l/s)	PÉRDIDA DE CARGA		
		Presión Entrada (m)	Presión Salida (m)	Hf (m)
1	0.722	1.470	1.420	0.050
2	0.715	1.630	1.580	0.050
3	0.696	4.480	4.430	0.050
4	0.566	10.600	10.550	0.050
5	0.494	14.170	14.120	0.050
6	0.396	18.760	18.710	0.050
7	0.275	25.230	25.180	0.050
8	0.114	33.080	33.030	0.050

Gráfico 13 Pérdida de carga y caudal –Válvula bola PVC 1"



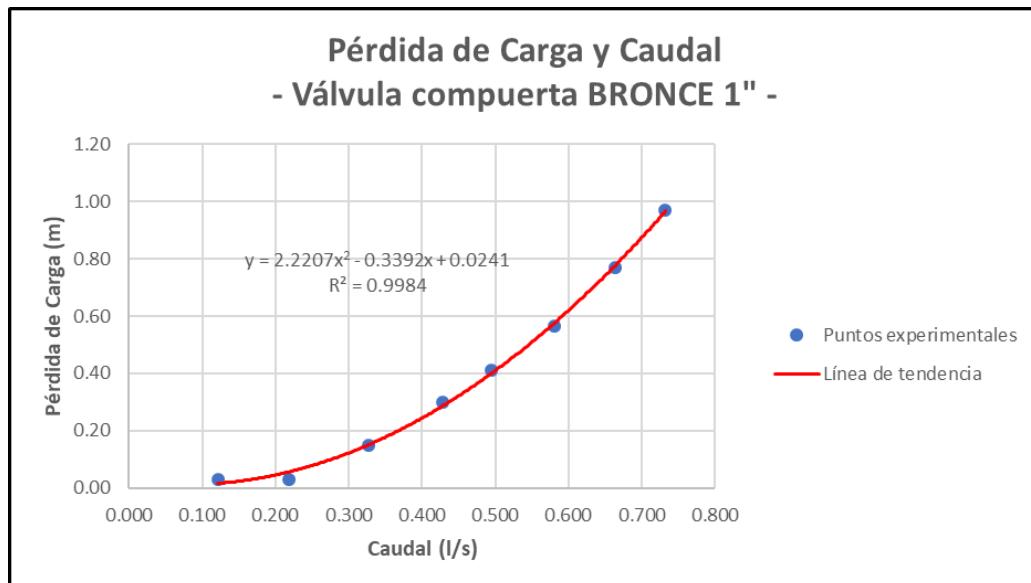
La Tabla 11 muestra la variación de caudales para un accesorio válvula bola de PVC de 1”, que van desde 0.722 l/s hasta 0.114 l/s. Asimismo, se observa que las variaciones de pérdidas de carga van desde 0.050 m hasta el 0.050 m, no existiendo variación en las pérdidas de carga.

En el Gráfico 13 se muestra los puntos experimentales, que representan los pares ordenados conformados por los valores de caudal y de pérdida de carga. En este gráfico también se observa la ecuación que mejor explica la tendencia de los puntos, siendo una ecuación polinomial, $y = 0.05$, con un $R^2 = 1$.

Tabla 12 Pérdida de carga y caudal –Válvula compuerta BRONCE 1 ”

Nº	CAUDAL (l/s)	PÉRDIDA DE CARGA		
		Presión Entrada (m)	Presión Salida (m)	Hf (m)
1	0.732	1.470	0.500	0.970
2	0.663	5.300	4.530	0.770
3	0.581	9.687	9.120	0.567
4	0.495	14.070	13.660	0.410
5	0.428	17.580	17.280	0.300
6	0.327	22.430	22.280	0.150
7	0.218	28.190	28.160	0.030
8	0.121	32.980	32.950	0.030

Gráfico 14 Pérdida de carga y caudal –Válvula compuerta BRONCE 1”



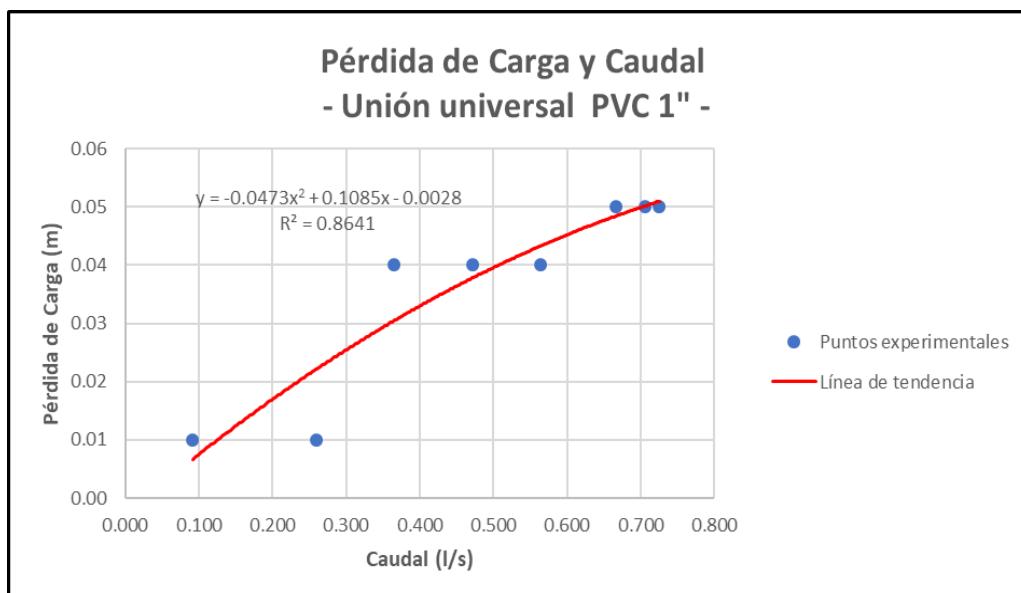
La Tabla 12 muestra la variación de caudales para un accesorio de válvula compuerta de bronce de 1”, que van desde 0.720 l/s hasta 0.083 l/s. Asimismo, se observa que las variaciones de pérdidas de carga van desde 0.200 m hasta el 0.100 m.

En el Gráfico 14 se muestra los puntos experimentales, que representan los pares ordenados conformados por los valores de caudal y de pérdida de carga. En este gráfico también se observa la ecuación que mejor explica la tendencia de los puntos, siendo una ecuación polinomial, $y = 2.2207x^2 - 0.3392x + 0.0241$, con un $R^2 = 0.9984$.

Tabla 13 Pérdida de carga y caudal –Unión universal pvc 1”

Nº	CAUDAL (l/s)	PÉRDIDA DE CARGA		
		Presión Entrada (m)	Presión Salida (m)	Hf (m)
1	0.726	1.320	1.270	0.050
2	0.706	2.390	2.340	0.050
3	0.667	5.810	5.760	0.050
4	0.564	11.360	11.320	0.040
5	0.472	15.440	15.400	0.040
6	0.364	20.900	20.860	0.040
7	0.260	26.250	26.240	0.010
8	0.092	34.610	34.600	0.010

Gráfico 15 Pérdida de carga y caudal –Unión universal PVC 1”



La Tabla 13 muestra la variación de caudales para un accesorio unión universal de PVC de 1”, que van desde 0.720 l/s hasta 0.083 l/s. Asimismo, se observa que las variaciones de pérdidas de carga van desde 0.200 m hasta el 0.100 m.

En el Gráfico 15 se muestra los puntos experimentales, que representan los pares ordenados conformados por los valores de caudal y de pérdida de carga. En este gráfico también se observa la ecuación que mejor explica la tendencia de los puntos, siendo una ecuación polinomial, $y = -0.0473x^2 + 0.1085x - 0.0028$, con un $R^2 = 0.8641$.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Hipótesis general de investigación

- Existe una relación de dependencia de la pérdida de carga cuando varían el caudal y el diámetro en el flujo hidráulico en una tubería de riego.

En base a los resultados de tablas y gráficos obtenidos, se acepta la hipótesis planteada en la investigación.

4.3.2. Hipótesis específicas de investigación

- a) Existe una relación directa entre la pérdida de carga y el caudal en el flujo hidráulico en una tubería de riego.

En base a los resultados de tablas y gráficos obtenidos, se acepta la hipótesis planteada en la investigación.

- b) Existe una relación inversa entre la pérdida de carga y el diámetro en el flujo hidráulico en una tubería de riego.

En base a los resultados de tablas y gráficos obtenidos, se acepta la hipótesis planteada en la investigación.

4.4. Discusión de resultados

En las tablas 01 al 03, se presentan las relaciones que existe entre la Presión hidráulica y el Caudal en el flujo de agua en las tuberías de 1", ¾" y ½", respectivamente. En el análisis anterior, estas relaciones son inversas, es decir cuando disminuye el caudal, aumenta la presión hidráulica a la entrada del tramo de la tubería (materia de investigación). Este suceso se explica debido al cierre gradual de la válvula. Cuando el cierre de la válvula tiende a ser total se genera una presión cada vez mayor en la tubería, tal como se refleja en las curvas de bombas según Pedrollo-Perú (2024), donde para 30 l/min le corresponde una presión de 15 m y para 5 l/min le corresponde una presión de 38 m, evidenciándose la existencia de la relación inversa entre el caudal y la presión hidráulica.

En las tablas 01 al 03 y gráficos 03 al 05, se presentan las relaciones que existe entre la Pérdida de Carga y el Caudal en el flujo de agua en las tuberías de 1", ¾" y ½", respectivamente. En el análisis anterior, en términos generales, la relación es directa, es decir cuando disminuye el caudal, también disminuye la

pérdida de carga en la tubería; tal como lo manifiesta Poma (2015) al investigarlo en una tubería de 1”, que para un caudal de 68.2 l/min encontró una pérdida de carga 0.20 m y que para un caudal de 20.1 l/min encontró una pérdida de carga de 0.05 m. Esta evidente relación directa, también queda corroborada por las fórmulas de Hazen-Williams y de Darcy-Weisbach, mostrada en los gráficos referidos.

En las tablas 07 al 13, se presentan las relaciones que existe entre la Presión hidráulica y el Caudal en el flujo de agua en accesorios de codo PVC SAP 1” x 90°, codo PVC SAP 1” x 45°, válvula esférica PVC 1”, unión universal PVC 1” y válvula compuerta Bronce 1”, respectivamente. En el análisis anterior, estas relaciones son inversas, es decir cuando disminuye el caudal, aumenta la presión hidráulica inmediatamente antes del ingreso al a cada uno de los accesorios. Este suceso se explica debido al cierre gradual de la válvula. Cuando el cierre de la válvula tiende a ser total se genera una presión cada vez mayor en la tubería, tal como se refleja en las curvas de bombas según Pedrollo-Perú (2024), donde para 40 l/min le corresponde una presión de 5 m y para 10 l/min le corresponde una presión de 33.5 m, evidenciándose la existencia de la relación inversa entre el caudal y la presión hidráulica.

En las tablas 07 al 13 y gráficos 09 al 15, se presentan las relaciones que existe entre la Pérdida de Carga y el Caudal en el flujo de agua en codo PVC SAP 1” x 90°, codo PVC SAP 1” x 45°, válvula esférica PVC 1”, unión universal PVC 1” y válvula compuerta Bronce 1”, respectivamente. En el análisis anterior, en términos generales, la relación es directa, es decir cuando disminuye el caudal, también disminuye la pérdida de carga en el accesorio de la tubería; tal como lo manifiesta Poma (2015) al investigarlo en una tubería de 3/4”, que para un caudal

de 65.3 l/min encontró una pérdida de carga 0.50 m y que para un caudal de 15 l/min encontró una pérdida de carga de 0.05 m. Esta evidente relación directa, también queda corroborada por las fórmulas de Hazen-Williams y de Darcy-Weisbach, mostrada en los gráficos referidos.

En la tabla 04 y gráfico 06, se presentan la relación que existe entre la Pérdida de Carga y el Diámetro de las tuberías de 1", $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ ", respectivamente. En el análisis anterior, en términos generales, la relación es inversa, es decir cuando disminuye el diámetro de la tubería, aumenta la pérdida de carga en la tubería; tal como se establecen en las curvas de las fórmulas de Hazen-Williams (gráfico 05) y de Darcy-Weisbach (gráfico 06), al usar los mismos caudales para cada diámetro de tubería.

CONCLUSIONES

1. En flujos de agua en tuberías de riego, para distintos caudales, la pérdida de carga hidráulica guarda una relación inversa con el diámetro de la tubería. Entonces, se puede inferir, que las tuberías de menor diámetro generarán mayores pérdidas de carga.
2. En flujos de agua en tuberías de riego, usando distintos diámetros de tuberías, la pérdida de carga hidráulica guarda una relación directa con el caudal del flujo de agua. Entonces, se puede inferir, que las tuberías que transportan mayor caudal producirán mayor pérdida de carga en un tramo determinado.
3. La relación entre la presión hidráulica -a la entrada del tramo de una tubería de diámetro determinado- y el caudal del flujo de agua, es de relación inversa. Entonces, en una tubería al disminuir el caudal, cuando se cierra gradualmente la válvula de control, la presión hidráulica tiende a aumentar.
4. De los accesorios materia de investigación, en el que mejor se establece una relación directa entre el caudal y la pérdida de carga, es la válvula de PVC de 1”.
5. De los accesorios materia de investigación, el que genera mayor pérdida de carga es la válvula de bronce de 1”, mientras que el accesorio que genera menos pérdida de carga es la válvula de PVC de 1”.

RECOMENDACIONES

1. A fin de lograr registros y gráficos más prolijos, y reducir y/o eliminar los errores, se recomienda realizar mayor cantidad de pruebas, más de ocho pruebas por cada caso de tubería y accesorio.
2. Se recomienda que los manómetros digitales sean de mayor sensibilidad, a fin de registrar pequeños diferenciales de presión hidráulica o pérdidas de carga hidráulica diminutas.
3. En esta investigación se trabajó con una electrobomba, conectada directamente a la fuente. Entonces, a fin de que el fluido eléctrico no se torne inestable en su voltaje y, eventualmente, ocasione alteraciones en un normal bombeo del agua, se recomienda usar un estabilizador de voltaje, y así lograr un registro de mediciones más fidedignas.
4. Con la consigna de que los trabajos de investigación son perfectibles, se sugiere continuar con la investigación en este aspecto, utilizando equipos más sofisticados e incrementando la prolijidad del desempeño, y así lograr mejores resultados y conclusiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asto, E. & Pereda, A. (2018). Determinar las pérdidas de carga en tuberías de PCV y accesorios de diámetros de 1" y 1 ½" mediante un banco de pruebas en flujo presurizado [Tesis de título]. Universidad Privada Antenor Orrego. Perú.
- Gómez, J., Restrepo, J. & Ríos, C. (2016). instalación y construcción de un banco de pruebas para pérdidas en tuberías y accesorios con fines académicos [Tesis de título]. Institución Universitaria Pascual Bravo. Melledín, Colombia.
- Parra, J. & Velasco, L. (2014). Diseño para construcción de un banco de pruebas para determinar las pérdidas de carga en un sistema de tuberías [Tesis de título]. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali, Colombia.
- Poma, R. (2015). Diseño y construcción de un banco de ensayo para el estudio de pérdidas de carga por fricción y singularidad [Tesis de título]. Universidad Nacional Agraria - La Molina. Perú.
- Ramírez, O. (2017). Diseño y construcción de banco hidráulico para determinar las pérdidas de energía en tuberías CPVC [Tesis de título]. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Mott, R. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México.
- Streeter, V., Wylie E., & Bedford, K. (1999). Mecánica de fluidos. Mc Graw Hill. Bogotá, Colombia.
- Chow. V. (1992). Mecánica de Fluidos. Mc Graw Hill. Bogotá, Colombia.
- Yambombo J. (2012). Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de perdidas en carga en tuberías y accesorios [Tesis de título]. Universidad Central del Ecuador. Ecuador.

ANEXOS

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE VARIABLES

FORMATO DE ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL Y PÉRDIDA DE CARGA - EN TUBERÍAS									
TUBERÍA		: PVC SAP, C-10							
LONGITUD		: 1.90 m							
DIÁMETRO		: 1"							
Nº	CAUDAL			PRESIÓN		PÉRDIDA DE CARGA	OBSERVACIÓN		
	Mét. Volumétrico								
	Volumen	Tiempo	Caudal	Entrada	Salida				
			(l/s)	(m)	(m)	(m)			
1	20	27.320	0.732	0.710	0.61	0.10	3min		
2	20	27.500	0.727	0.960	0.86	0.10	2min		
3	20	27.610	0.724	1.470	1.37	0.10	4min		
4	20	29.790	0.671	5.760	5.66	0.10	4min		
5	20	36.620	0.546	11.470	11.42	0.05	5min		
6	20	48.710	0.411	18.290	18.24	0.05	4min		
7	20	67.580	0.296	24.370	24.32	0.05	Durante un período de 5 minutos, se registró que la presión de entrada y salida de agua se mantuvo igual. Sin embargo, se observó		
8	20	125.310	0.160	31.030	30.98	0.05			

FORMATO DE ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL Y PÉRDIDA DE CARGA - EN TUBERÍAS									
TUBERÍA		: PVC SAP, C-10							
LONGITUD		: 1.90 m							
DIÁMETRO		: 3/4"							
Nº	CAUDAL			PRESIÓN		PÉRDIDA DE CARGA	OBSERVACIÓN		
	Mét. Volumétrico								
	Volumen	Tiempo	Caudal	Entrada	Salida				
			(l/s)	(m)	(m)	(m)			
1	20	27.370	0.731	0.860	0.610	0.25	6min		
2	20	28.180	0.710	1.120	0.760	0.36	4min		
3	20	28.410	0.704	1.730	1.420	0.31	4min		
4	20	30.500	0.656	5.300	4.990	0.31	5min		
5	20	41.790	0.479	15.290	15.190	0.10	6min		
6	20	71.210	0.281	21.110	21.020	0.09	3min		
7	20	137.270	0.146	31.710	31.660	0.05	5min		
8	20	361.320	0.055	35.740	35.710	0.03	Durante un período de 3 minutos, se registró que la presión de entrada y salida de agua se mantuvo igual. Sin embargo, se observó		

FORMATO DE ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL Y PÉRDIDA DE CARGA - EN TUBERÍAS									
TUBERÍA		: PVC SAP, C-10							
LONGITUD		: 1.90 m							
DIÁMETRO		: 1/2"							
Nº	CAUDAL			PRESIÓN		PÉRDIDA DE CARGA	OBSERVACIÓN		
	Mét. Volumétrico								
	Volumen	Tiempo	Caudal	Entrada	Salida				
			(l/s)	(m)	(m)	(m)			
1	20	28.030	0.714	1.680	0.660	1.02	5min		
2	20	28.150	0.710	1.880	0.860	1.02	5min		
3	20	30.050	0.666	3.030	2.070	0.96	6min		
4	20	31.930	0.626	4.950	3.990	0.96	5min		
5	20	34.830	0.574	7.090	6.180	0.91	4min		
6	20	65.210	0.307	21.630	21.090	0.54	4min		
7	20	93.770	0.213	27.020	26.860	0.16	3min		
8	20	176.720	0.113	31.830	31.780	0.05	Durante un período de 5 minutos, se registró que la presión de entrada y salida de agua se mantuvo igual. Sin embargo, se observó		

FORMATO DE ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL Y PÉRDIDA DE CARGA - EN ACCESORIOS

ACCESORIO : Ampliación PVC 1/2" a 1"

CONDICIÓN :

Nº	CAUDAL			PRESIÓN		PÉRDIDA DE CARGA	OBSERVACIÓN		
	Mét. Volumétrico								
	Volumen	Tiempo	Caudal	Entrada	Salida				
			(l/s)	(m)	(m)	(m)			
1	20	27.76	0.720	1.830	1.630	0.20	5min		
2	20	28.17	0.710	2.190	2.030	0.16	6min		
3	20	29.25	0.684	3.160	3.000	0.16	8min		
4	20	30.35	0.659	5.480	5.320	0.16	5min		
5	20	35.02	0.571	9.560	9.410	0.15	6min		
6	20	38.96	0.513	13.050	12.890	0.16	4min		
7	20	75.11	0.266	25.490	25.390	0.10	Durante un período de 10 minutos, se registró que la presión de entrada y salida de agua se mantuvo igual. Sin embargo, se		
8	20	241.22	0.083	34.100	34.000	0.10			

FORMATO DE ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL Y PÉRDIDA DE CARGA - EN ACCESORIOS

ACCESORIO : Reducción PVC 1" a 1/2"

CONDICIÓN :

Nº	CAUDAL			PRESIÓN		PÉRDIDA DE CARGA	OBSERVACIÓN		
	Mét. Volumétrico								
	Volumen	Tiempo	Caudal	Entrada	Salida				
			(l/s)	(m)	(m)	(m)			
1	20	27.93	0.716	1.58	0.91	0.67	5min		
2	20	28.78	0.695	1.98	1.32	0.66	4min		
3	20	29.09	0.688	3.26	2.6	0.66	3min		
4	20	31.96	0.626	6.01	5.4	0.61	4min		
5	20	35.94	0.556	10.55	10.09	0.46	5min		
6	20	44.03	0.454	16.21	15.9	0.31	4min		
7	20	58.63	0.341	21.2	20.95	0.25	4min		
8	20	288.14	0.069	34.46	34.41	0.05	Durante un período de 5 minutos, se registró que la presión de entrada y salida de agua se mantuvo igual. Sin embargo, se observó		

FORMATO DE ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL Y PÉRDIDA DE CARGA - EN ACCESORIOS

ACCESORIO : Codo PVC 1" x 90°

CONDICIÓN :

Nº	CAUDAL			PRESIÓN		PÉRDIDA DE CARGA	OBSERVACIÓN		
	Mét. Volumétrico								
	Volumen	Tiempo	Caudal	Entrada	Salida				
			(l/s)	(m)	(m)	(m)			
1	20	27.45	0.729	1.58	1.52	0.06	5min		
2	20	27.8	0.719	1.89	1.83	0.06	6min		
3	20	28.01	0.714	2.44	2.39	0.05	5min		
4	20	29.32	0.682	4.74	4.69	0.05	5min		
5	20	33.11	0.604	9.43	9.38	0.05	Durante un período de 5 minutos, se registró que la presión de entrada y salida de agua se mantuvo igual. Sin embargo, se observó también una variación (pérdida de carga) de 0.05 m durante ese intervalo.		
6	20	45.39	0.441	17.07	17.02	0.05			
7	20	78.38	0.255	26.2	26.15	0.05			
8	20	104.51	0.191	30.13	30.08	0.05			

FORMATO DE ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL Y PÉRDIDA DE CARGA - EN ACCESORIOS

ACCESORIO : Codo PVC 1" x 45°

CONDICIÓN :

N°	CAUDAL			PRESIÓN		PÉRDIDA DE CARGA	OBSERVACIÓN		
	Mét. Volumétrico								
	Volumen	Tiempo	Caudal	Entrada	Salida				
1	20	27.65	0.723	0.61	0.45	0.16	5 min		
2	20	28.18	0.710	2.19	2.03	0.16	5min		
3	20	30.06	0.665	5.30	5.14	0.16	4min		
4	20	33.66	0.594	8.82	8.66	0.16	5min		
5	20	37.13	0.539	12.44	12.28	0.16	3 min		
6	20	51.25	0.390	19.57	19.52	0.05			
7	20	88.56	0.226	27.83	27.78	0.05			
8	20	188.83	0.106	33.54	33.49	0.05			
							Durante un período de 5 minutos, se registró que la presión de entrada y salida de agua se mantuvo igual. Sin embargo, se observó también una variación (pérdida de carga) de		

FORMATO DE ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL Y PÉRDIDA DE CARGA - EN ACCESORIOS

ACCESORIO : Válvula esférica PVC 1"

CONDICIÓN :

N°	CAUDAL			PRESIÓN		PÉRDIDA DE CARGA	OBSERVACIÓN		
	Mét. Volumétrico								
	Volumen	Tiempo	Caudal	Entrada	Salida				
1	20	27.690	0.722	1.470	1.420	0.05	4min		
2	20	27.980	0.715	1.630	1.580	0.05	4min		
3	20	28.730	0.696	4.480	4.430	0.05	3min		
4	20	35.360	0.566	10.600	10.550	0.05	2min		
5	20	40.470	0.494	14.170	14.120	0.05	3min		
6	20	50.560	0.396	18.760	18.710	0.05			
7	20	72.710	0.275	25.230	25.180	0.05			
8	20	175.630	0.114	33.080	33.030	0.05			
							Durante un período de 4 minutos, se registró que la presión de entrada y salida de agua se mantuvo igual. Sin embargo, se observó también una variación (pérdida de carga) de		

FORMATO DE ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL Y PÉRDIDA DE CARGA - EN ACCESORIOS

ACCESORIO : Válvula compuerta Bronce 1"

CONDICIÓN :

N°	CAUDAL			PRESIÓN		PÉRDIDA DE CARGA	OBSERVACIÓN		
	Mét. Volumétrico								
	Volumen	Tiempo	Caudal	Entrada	Salida				
1	20	27.31	0.732	1.47	0.5	0.97	6 min		
2	20	30.15	0.663	5.30	4.5	0.77	6 min		
3	20	34.45	0.581	9.69	9.1	0.57	4 min		
4	20	40.41	0.495	14.07	13.7	0.41	5 min		
5	20	46.75	0.428	17.58	17.3	0.30	5 min		
6	20	61.09	0.327	22.43	22.3	0.15	3 min		
7	20	91.59	0.218	28.19	28.2	0.03	3 min		
8	20	165.05	0.121	32.98	33.0	0.03	4 min		

FORMATO DE ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL Y PÉRDIDA DE CARGA - EN ACCESORIOS

ACCESORIO : Unión universal PVC 1"

CONDICIÓN :

N°	CAUDAL			PRESIÓN		PÉRDIDA DE CARGA	OBSERVACIÓN		
	Mét. Volumétrico								
	Volumen	Tiempo	Caudal	Entrada	Salida				
			(l/s)	(m)	(m)	(m)			
1	20	27.56	0.726	1.32	1.27	0.05	5min		
2	20	28.33	0.706	2.39	2.34	0.05	5min		
3	20	29.99	0.667	5.81	5.76	0.05	3min		
4	20	35.46	0.564	11.36	11.32	0.04	Durante un período de 4 minutos, se registró que la presión de entrada y salida de agua se mantuvo igual. Sin embargo, se observó también una variación (pérdida de carga) de 0.04 m.		
5	20	42.41	0.472	15.44	15.4	0.04			
6	20	54.89	0.364	20.9	20.86	0.04	Durante un período de 1 minutos, se registró que la presión de entrada y salida de agua se mantuvo igual. Sin embargo, se observó		
7	20	76.9	0.260	26.25	26.24	0.01			
8	20	218.35	0.092	34.61	34.6	0.01			



Construcción del soporte de estructura metálica del banco de pruebas



Verificando a escuadra los ángulos rectos del soporte de estructura metálica, con inspección del asesor de la investigación.



Armado de las conexiones de tuberías y accesorios del módulo tubular



Montaje del módulo tubular en el soporte de estructura metálica



Realización de las pruebas hidráulicas. Mediciones de caudales y mediciones de presiones a la entrada y salida de las tuberías.



Mediciones de caudales y mediciones de presiones inmediatamente antes y después de cada accesorio materia de investigación