



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA OCASIONADAS POR UN  
CHEQUE PERFORADO A DIÁMETROS DE ¼" Y ½".**

**OSCAR JAVIER BUSTOS PEÑA CÓDIGO: 504595**

**KAREN ANDREA BARBOSA GIRALDO CÓDIGO: 506595**

**MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**BOGOTÁ, D.C.**

**2020**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA OCASIONADAS POR UN  
CHEQUE PERFORADO A DIÁMETROS DE ¼" Y ½".**

**Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil**

**OSCAR JAVIER BUSTOS PEÑA CÓDIGO: 504595**

**KAREN ANDREA BARBOSA GIRALDO CÓDIGO: 506595**

**DIRECTOR**

**JUAN SEBASTIÁN DE PLAZA SOLÓRZANO**

**BOGOTÁ, D.C.**

**2020**

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

FIRMA DEL COORDINADOR DE TRABAJO DE GRADO- CTG

---

FIRMA DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

Bogotá, D.C., Mayo de 2020



La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución 2.5 Colombia (CC BY 2.5)**  
Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by/2.5/co/>

#### Usted es libre de:

- Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
- hacer obras derivadas
- hacer un uso comercial de esta obra



#### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).

## CONTENIDO

RESUMEN_____	11 -12
Abstract_____	13 - 14
.	
INTRODUCCIÒN_____	15 - 16
GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO_____	17
Línea de investigación_____	17
Antecedentes y justificación_____	17 - 20
Planteamiento del problema_____	21
Formulación del problema_____	21 - 22
 OBJETIVOS_____	 23
 Objetivo general_____	 23
Objetivos específicos_____	23
 MARCO DE REFERENCIA_____	 24
MARCO TEÓRICO_____	24
Principio de continuidad_____	24 - 25
Conservación de la energía_____	25 - 26
Pérdidas de presión en una válvula_____	27
Relación entre la pérdida de presión y la velocidad del flujo_____	28 - 30
Coeficiente de pérdidas menores_____	30 – 37
Instrumento de medida de presiones_____	37 - 38
MARCO CONCEPTUAL_____	39
Definición de manómetro_____	39
Definición de bomba centrífuga_____	39
Definición de presión_____	39
Definición de válvula_____	39

Definición de pérdidas de carga locales	39 - 40
Definición de aforo gravimétrico	40
Definición de banco hidráulico	41
ESTADO DEL ARTE	42 - 45
METODOLOGÍA	46
Tipo de estudio	46
Diseño metodológico	46 - 47
Estado actual del proyecto	47 - 48
Estructura actual del banco de medidores	49
Modificaciones para el banco de medidores	49 - 50
Especificaciones de la bomba	50 - 51
Proceso constructivo	51 - 61
PROCESO OPERATIVO DEL BANCO HIDRÁULICO	62
RESULTADOS	62
Modelo estructural	62
Proceso operativo del banco hidráulico	63
Resultados de toma de datos	64 - 95
DIFICULTADES PRESENTADAS	96 - 98
CONCLUSIONES	99 - 100
RECOMENDACIONES	101
BIBLIOGRAFÍA	102 - 103

ANEXOS \_\_\_\_\_ 104 - 109

MANUAL DE OPERACIÓN DE BANCO HIDRÁULICO \_\_\_\_\_ 110 - 112

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes para pérdidas en accesorios \_\_\_\_\_ 38

Tabla 2. Toma de datos para cheque perforado de  $\frac{1}{4}$ " \_\_\_\_\_ 67

Tabla 3. Toma de datos para cheque perforado de  $\frac{1}{2}$ " \_\_\_\_\_ 68

Tabla 4. Temperatura del agua \_\_\_\_\_ 71

Tabla 5. Toma de datos #1 para cheque perforado de  $\frac{1}{4}$ " \_\_\_\_\_ 76

Tabla 6. Presiones presentadas para el cheque perforado de  $\frac{1}{4}$ " \_\_\_\_\_ 81

Tabla 7. Pérdidas de energía para el cheque perforado de  $\frac{1}{4}$ " \_\_\_\_\_ 82

Tabla 8. Volumen presentado en cada aforo para el cheque perforado de  $\frac{1}{4}$ " \_\_\_\_\_ 83

Tabla 9. Valor de caudal para el cheque perforado de  $\frac{1}{4}$ " \_\_\_\_\_ 84

Tabla 10. Valores de Km para el cheque perforado de  $\frac{1}{4}$ " \_\_\_\_\_ 85

Tabla 11. Valores en eje (x) y en eje (y) para el cheque perforado de  $\frac{1}{4}$ "  
\_\_\_\_\_ 86

Tabla 12. Presiones presentadas para el cheque perforado de  $\frac{1}{2}$ " \_\_\_\_\_ 88

Tabla 13. Pérdidas de energía para el cheque perforado de  $\frac{1}{2}$ " \_\_\_\_\_ 89

Tabla 14. Volumen presentado en cada aforo para el cheque perforado de $\frac{1}{2}$ "	90
Tabla 15. Valor de caudal para el cheque perforado de $\frac{1}{2}$ "	91
Tabla 16. Valores de Km para el cheque perforado de $\frac{1}{2}$ "	92
Tabla 17. Valores en eje (x) y en eje (y) para el cheque perforado de $\frac{1}{2}$ "	93

### ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama de continuidad en tuberías	25
Ilustración 2. Principio de Bernoulli	26
Ilustración 3. Flujo laminar presentado en la tubería	27
Ilustración 4. Flujo turbulento presentado en la tubería	27
Ilustración 5. Relación entre la velocidad del fluido y la pérdida de presión	29
Ilustración 6. Válvula de cheque tipo cortina	31
Ilustración 7. Medidor de presión a utilizar en el Banco Hidráulico	32
Ilustración 8. Despiece de la estructura de medidor de presión	37
Ilustración 9. Marco conceptual del desarrollo del proyecto	41
Ilustración 10. Estado actual del banco de medidores	47



Ilustración 11. Representación de las medidas correspondientes del banco de medidores_____	48
Ilustración 12. Representación de las medidas en perfil del banco de medidores _____	48
Ilustración 13. Estructura hidráulica actual_____	49
Ilustración 14. Estructura hidráulica modificada_____	50
Ilustración 15. Dimensiones de la bomba a utilizar_____	51
Ilustración 16. Modificación del banco Hidráulico_____	52
Ilustración 17. Estructura base para estabilizar los componentes_____	53
Ilustración 18. Ubicación de la balanza_____	53
Ilustración 19. Instalación de la bomba_____	54
Ilustración 20. Instalación de accesorios_____	54
Ilustración 21. Perfil de soporte para la tubería saliente_____	55
Ilustración 22. Modelo de Banco Hidráulico sin modificaciones_____	56
Ilustración 23. Modelo de Banco Hidráulico con modificaciones_____	56
Ilustración 24. Acabados para la estructura de fijación del equipo_____	57
Ilustración 25. Ubicación de la bomba en la estructura_____	57

## Ilustración 26. Perforaciones respectivas para los cheques tipo

Cortina_____	58
Ilustración 27. Instalación de accesorios a implementar_____	59
Ilustración 28. Superficie de soporte para el tanque de 60 litros_____	60
Ilustración 29. Instalación de tubería y accesorios_____	60
Ilustración 30. Instalación de base para el tanque 2_____	61
Ilustración 31. Estructura terminada para la realización de aforos_____	61
Ilustración 32. Componentes del modelo estructural_____	62
Ilustración 33. Proceso operativo de banco hidráulico_____	63
Ilustración 34. Inclinación determinada para el desarrollo de los aforos_____	65
Ilustración 35. Procedimiento de operación de Banco Hidráulico_____	69
Ilustración 36. Punto de análisis en términos de energía_____	76
Ilustración 37. Gráfica para hallar el único valor de pérdidas (Km) en el accesorio_____	86
Ilustración 38. Valores encontrados en el desarrollo del aforo para el cheque con perforación $\frac{1}{4}$ "_____	87

Ilustración 39. Valor de pérdida (Km) en el cheque con perforación de $\frac{1}{4}$ "	93
Ilustración 40. Valores encontrados en el desarrollo del aforo para el cheque con perforación $\frac{1}{2}$ "	94
Ilustración 41. Valor de pérdida (Km) en el cheque con perforación de $\frac{1}{2}$ "	- 95

### ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	24
Ecuación 2	25
Ecuación 3	29
Ecuación 4	30
Ecuación 5	33
Ecuación 6	33
Ecuación 7	34
Ecuación 8	34
Ecuación 9	35
Ecuación 10	36
Ecuación 11	36
Ecuación 12	69
Ecuación 13	70
Ecuación 14	70
Ecuación 15	71
Ecuación 16	72
Ecuación 17	72
Ecuación 18	73
Ecuación 19	74
Ecuación 20	74
Ecuación 21	75

## Resumen

Se realiza la modificación del diseño y la distribución de diferentes accesorios en la construcción de un banco hidráulico, el cual tiene como objetivo, evaluar las pérdidas de carga presentadas por medio de la implementación de válvulas de cheque perforados a distintos diámetros, con el fin de demostrar el cambio de energía ocasionada en el punto de salida del tramo a analizar y así, lograr mejorar el banco hidráulico ya existente.

Su diseño tiene como fin ser un instrumento experimental para ser utilizado en trabajos prácticos y de investigación implementados en el laboratorio del programa de Ingeniería Civil, brindado por la Universidad Católica de Colombia, entre las mejoras a implementar, se destaca el desarrollo de aforos con el fin de evaluar la variación de la carga de presión (psi), puesto que, la variación indicada tiene como fin, obtener la potencia requerida en el bombeo, el cual transmite energía al fluido, por medio de la potencia de la bomba implementada en el nuevo diseño.

Con lo anterior, se tiene como objetivo, obtener de forma experimental el valor de las pérdidas de energía en los accesorios implementados (válvulas de cheque tipo cortina) y la medición de presiones mediante medidores propuestos (Manómetros), por medio de la toma de datos, para así, analizar e interpretar la información obtenida y expresarla gráficamente, con lo cual, se caracterizan los accesorios en estudio, para determinar las constantes asociadas a cada uno de ellos (km), con respecto a una perforación determinada.

Palabras clave: Banco, pérdidas menores, energía, presión, caudal y válvula.

## **Abstract**

Modification of the design and distribution of different accessories is carried out in the construction of a hydraulic bank, which aims to evaluate the pressure losses presented by means of the implementation of check valves drilled to different diameters, in order to demonstrate the change in energy caused at the exit point of the section to be analyzed and thus, improve the existing hydraulic bank.

Its design is intended to be an experimental instrument to be used in practical and research work implemented in the laboratory of the Civil Engineering program, provided by the Catholic University of Colombia, among the improvements to be implemented, the development of capacity with the In order to evaluate the variation of the pressure load (psi), since the indicated variation has the purpose of obtaining the required power in the pumping, which transmits energy to the fluid, by means of the power of the pump implemented in the new design.

With the above, the objective is to obtain experimentally the value of the energy losses in the accessories implemented (check valves type curtain) and the measurement of pressures by means of proposed meters (manometers), by means of data collection In order to analyze and interpret the information obtained and express it graphically, with which, the accessories under study are characterized, to determine the constants associated with each of them (km), with respect to a determined perforation.

**Keywords:** Bank, lower energy losses, pressure, flow and valve.

## INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de la investigación y mediante la búsqueda en la experimentación, la Universidad Católica de Colombia, por medio de su método de aprendizaje y herramientas brindadas a la comunidad estudiantil, ha logrado el desarrollo de diferentes capacidades para crear y llevar a cabo proyectos, los cuales están ligados a diferentes prácticas que comprenden el campo de la Ingeniería Civil; puesto que, llevar a cabo esta investigación tiene como fin generar un trabajo de grado basado en una Investigación experimental, la cual consiste en el desarrollo de un prototipo que abarque un estudio experimental y solucione el cuestionamiento sobre ¿Qué tipo de ecuación describe el comportamiento hidráulico de la curva de pérdidas de energía en cheques perforados?.

Con base a lo anterior, se propone realizar el análisis hidráulico en términos de presión para los accesorios implementados (válvulas de cheque perforados), a partir de la modificación en la construcción de un banco hidráulico, por ende, se desarrolla un amplio estudio del comportamiento de la presión de salida (psi) ejercida en el tramo a analizar.

Por lo cual, se busca analizar la pérdida de energía en accesorios en función del caudal cuando se trabaja con válvulas de cheques perforados, las cuales tienen como característica la variación de su diámetro expuesto a diferentes perforaciones y tiene como fin, encontrar la ecuación que cumple con el comportamiento hidráulico presentado en cada uno de los cheques perforados, teniendo en cuenta el caudal y la pérdida de energía presentada en el prototipo desarrollado.

Por ende, la fase de experimentación se centra en la modificación del prototipo

desarrollado (Ariza & Sánchez, 2019), con un cambio de bomba, de válvulas de cheque perforados y de un diseño nuevo, con el fin de que la toma de datos que se desarrolle en pruebas de laboratorio, se evidencie la mejora del prototipo, para lo cual, se registran los datos en función de la variación de presión que se presente en el tramo donde está ubicado el accesorio, con el fin de encontrar las pérdidas menores ocasionadas.

Finalmente, se realiza un análisis a los datos registrados, a través de la representación gráfica de las pérdidas de energías encontradas en los accesorios, los cuales tendrán una variación por el caudal presentado; lo que permite encontrar valores exactos que puedan ser usados por estudiantes y profesionales en el área de Ingeniería Civil.

## **GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO**

### **Línea de Investigación**

Analizando las diferentes líneas de investigación brindadas por la Facultad de Ingeniería desarrollada para los trabajos de grado en la Universidad Católica de Colombia, el presente trabajo de grado que se desarrolla, comprende la línea de investigación llamada “Saneamiento en comunidades”.

### **Antecedentes y Justificación**

Con base en diferentes estudios realizados por el IDEAM, se evidencia que el 50% de la población colombiana que habita en las áreas urbanas municipales está expuesta a sufrir problemas de suministro de agua, esto se genera por la presión sobre las cuencas hidrográficas y las restricciones de uso por contaminación de las aguas superficiales, donde más del 80% de los municipios cuentan como fuente de agua con pequeños riachuelos o quebradas que en épocas de estiaje no suplen el abastecimiento a la población, por lo cual, a esta preocupante situación se llevó a cabo una revisión de la implementación de distintos sistemas de acueductos desarrollados en diferentes países en prototipos de sistemas de aprovechamiento de agua (Ambiente & Naturales, 2011).

En la realización del estudio expuesto anteriormente, se evidenció un recuento histórico desde los primeros sistemas de aprovechamiento de agua, hasta los sistemas actuales manejados por diferentes entidades promotoras del suministro de agua, dando como resultado, la evolución que se presentan en diferentes zonas del país que poseen un mejor desarrollo respecto zonas municipales que no cuentan con aquellas oportunidades de desarrollo, por lo cual, se evidencia una afectación en las



necesidades de la población, pues no son suficientes los recursos disponibles (dinero para invertir y materiales de construcción), las condiciones ambientales actúan de forma negativa en la obtención del agua, la legislación vigente de cada región es insuficiente, afectando a distintos municipios del país donde no se ha generado una viabilidad positiva en la construcción de una red de acueducto, puesto que, el suministro es deficiente, la calidad del agua es baja, los costos del agua potable son altos y pueden llegar a darse a largo o mediano plazo en la mayoría de los municipios afectados.

No obstante, al evidenciar el déficit que los municipios viven diariamente en la obtención de agua potable, las empresas prestadoras del servicio implementaron medidas con el fin de brindar una solución a la comunidad en cuanto al abastecimiento de agua en cada vivienda, lo cual dio origen a la implementación sistemas de distribución, los cuales, deben contar con todos los elementos necesarios para captar, conducir, almacenar, tratar y distribuir de una manera eficiente el agua hasta los distintos sectores en donde se requiera el servicio (Ambiente & Naturales, 2011).

A su vez, para que el sistema implementado funcione de manera adecuada, debe contar con una red de distribución apropiada y se conforma por tuberías, accesorios o estructuras hidráulicas, que tienen como función la conducción del fluido. Uno de los componentes utilizados son las válvulas tipo cheque, que permiten el paso del agua en una sola dirección y son usadas en tuberías que están unidas a sistemas de bombeo, impidiendo que la bomba trabaje en vacío (Gerätebau, 2015).

Al momento de realizar el diseño hidrosanitario en construcciones propuestas, se pueden presentar cambios en la trayectoria del flujo, bien sea por el rozamiento continuo de la tubería o por una obstrucción en el sistema generando pérdidas de energía, lo cual evidencia una disminución de la presión que se presenta entre dos

puntos analizados del sistema hidráulico. Por ende, es importante que los componentes del mismo, cumplan con los requerimientos de funcionamiento y se empleen dimensiones similares en las interconexiones de sus componentes, con el fin de evitar daños en la estructura como fugas o corrosión y así, entregar a todos los usuarios la cantidad adecuada del fluido a presiones suficientes sin afectar la calidad y características del agua, pero sobretodo cuidando la salud de los consumidores.

Con base a lo anterior, se ha podido evidenciar que a las necesidades de la población responde a la solución el desarrollo de instrumentos industriales, los cuales han generado avances tecnológicos para el mundo moderno, por esta razón, es importante contar con dicha instrumentación, pues se logra tener un control, medición y registro del sistema al cual va a ser implementado, con el fin de mejorar cada uno de los recursos que estén presentes en el estudio.

Actualmente, se diseñan sistemas de distribución de agua, en donde los elementos que lo conforman, son fabricados con valores de coeficientes generales, basados en textos de investigación, normas o libros guía, por lo tanto, es importante desarrollar un estudio basado en conocer y entender el funcionamiento del sistema empleado y corroborar los coeficientes a emplear, con el fin de garantizar su adecuado funcionamiento y evitar contratiempos futuros en el sistema hidráulico.

Por esta razón, esta investigación busca que, a partir de la modificación del diseño y construcción de un banco hidráulico, se obtenga una ecuación que represente el comportamiento de las pérdidas de energía ocasionadas en los accesorios implementados, que tendrán distintos comportamientos, puesto que, el banco propuesto se compone de válvulas de cheque perforados a diferentes diámetros definiendo experimentalmente el coeficiente de pérdidas menores para cada uno de ellos y así, al

momento de llevar a cabo el diseño y construcción de instalaciones hidrosanitarias se genere una eficaz productividad en el desarrollo de aplicación obtenida y pueda ser usada por estudiantes y profesionales, al cumplir con todas las especificaciones analizadas.

## **PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **Planteamiento del problema**

El programa de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Colombia cuenta con un banco de medidores para determinar las pérdidas de energía por accesorios en tubería PVC, sin embargo, este no fue diseñado para determinar la presión del flujo con respecto a la medición de presión en una tubería, lo cual se indica mediante los tipos de instrumentos usados (Manómetros), por esta razón, es necesario realizar modificaciones al banco en donde se dotará de una válvula de cheque de cortina perforada con diferentes diámetros ( $\frac{1}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ " ) en su parte final, para analizar las pérdidas de energía ocasionadas por el cheque perforado, lo cual facilitará la comprensión de pérdidas en el accesorio.

Para el diseño de instalaciones hidráulicas se debe tener en cuenta entre otros, el tipo de cheque a utilizar y sus características, como el tipo de funcionamiento, el material con el que es construido, su diámetro, entre otros factores que pueden variar el comportamiento del fluido en la estructura. No obstante, dentro de las variables del diseño no se tiene en cuenta en este caso, los cambios en las características técnicas, lo que afectan también el comportamiento de los accesorios a implementar y el diseño previsto.

### **Formulación del problema**

Los profesionales en el diseño de instalaciones hidrosanitarias, calculan las pérdidas de energía presentadas en los accesorios conforme a lo establecido en la literatura técnica, pero la pregunta que abarca el tema a analizar es qué pasará con el comportamiento hidráulico del sistema, al instalar una válvula de cheque perforada a

diferentes diámetros, después de que el flujo pase por el manómetro, es la base a desarrollar para enmarcar la solución a dicha pregunta que abarca esta investigación.

Por lo cual, no existe información del estudio a realizar, por tal razón, se hace el estudio experimental mediante aforos para analizar los datos obtenidos y así, establecer valores reales de la pérdida de energía por accesorios, exactamente, las pérdidas generadas por la válvula de cheque tipo cortina implementada en la estructura.

Por lo anterior, surge el cuestionamiento ¿Qué tipo de ecuación describe el comportamiento hidráulico de la curva de pérdidas de energía en cheques perforados?.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Caracterizar accesorios de control de flujo (cheques perforados) para estimar el comportamiento hidráulico en términos de pérdidas de energía y caudal.

### **Objetivos específicos**

Generar una curva en función del caudal de demanda y las pérdidas de energías en accesorios, para establecer una ecuación que exprese el valor real de las pérdidas en cada uno de los tipos de accesorios a estudiar (válvulas de cheque perforados a diferentes diámetros  $\frac{1}{4}$ " Y  $\frac{1}{2}$ " ).

Llevar a cabo el diseño, construcción y puesta en marcha del nuevo banco de pérdidas para cheques perforados y medidores.

Diseñar un manual de operación del banco hidráulico para las prácticas de laboratorio, que asegure la calidad del funcionamiento y las técnicas implementadas para su utilización.

## MARCO DE REFERENCIA

### Marco teórico

#### Medición del agua

Es la cuantificación del caudal de agua que pasa por la sección transversal de la tubería, se le conoce como aforo, donde la medición del agua resulta de la necesidad de brindar mayor control sobre su uso y distribución, la cual se realiza a través de medidores de flujo, puesto que son dispositivos que utilizan diferentes principios mecánicos o físicos para permitir que un flujo de agua pueda ser cuantificado (Monroy, 2010).

#### Principio de continuidad

El principio de continuidad se indica en la Ecuación 1 donde se establece un balance de masa a través de dos secciones ( $A_1$  y  $A_2$ ) de un conducto o un tubo de corriente, por lo cual, indica que la masa que entra es igual a la masa que sale estableciendo que en el sistema no se obtienen pérdidas (Rangel, 2015).

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

*Ecuación 1*

Donde;

$V$ : Velocidad de longitud por unidad de tiempo  $\left[\frac{m}{s}\right]$ .

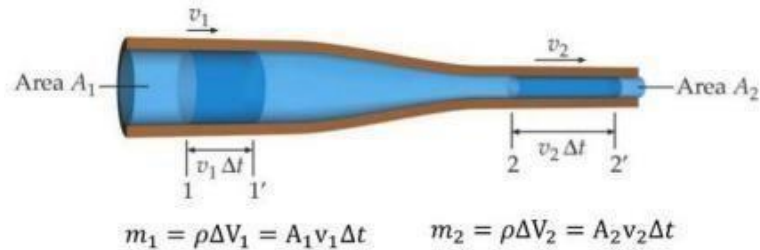
$A$ : Área de la sección transversal [m].

$\rho$ : Peso específico  $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ .

Como se muestra en la Ilustración 1, la densidad del fluido se tiene en cuenta

únicamente si es incompresible ya que  $\rho_1 = \rho_2$

*Ilustración 1. Diagrama de continuidad en tuberías.*



*Fuente. Saldarriaga, Hidráulica de tuberías, 2009.*

### Conservación de la energía

El Principio de conservación de la energía se basa en que la energía no se crea ni se destruye sólo se transforma, por lo cual la energía total que se presenta en el sistema permanece constante; es decir, la energía total es la misma antes y después de cada transformación.

La Ecuación 2 relaciona dicha conservación es la ecuación de Bernoulli, pues indica que para una línea de corriente, la suma de la energía potencial y la energía cinética es constante. Por lo tanto, en una tubería, el flujo ideal (es decir sin viscosidad), la energía E que se presenta en el punto 1 es igual a la energía en el punto 2, ya que, para un fluido real, no es energía pérdida sino transformada en calor debido a la fricción, por lo tanto (Rocha, 2007).

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_b = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{f_{1-2}} + h_m$$

**Ecuación 2**



Donde;

$\frac{v^2}{2g}$ : Altura cinemática [m.c.a].

$P$ : Presión [m.c.a].

$\gamma$ : Peso específico [ $\frac{N}{m^3}$ ].

$z$ : Altura de elevación con respecto a un plano horizontal de referencia [m].

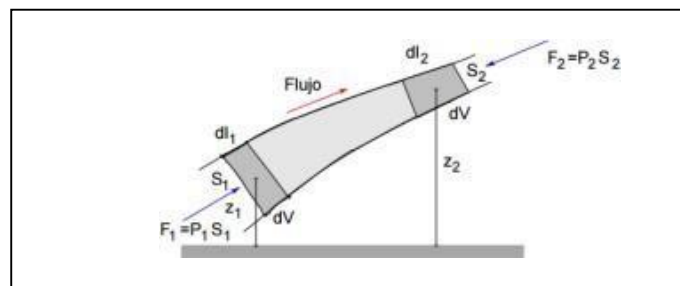
$h_b$ : Altura manométrica que proporciona la bomba [m.c.a].

$h_f$ : Pérdidas de carga por fricción en la tubería [m.c.a].

$h_m$ : Pérdidas localizadas en accesorios [m.c.a].

Con lo anterior, la relación de las variables se ven consignadas en la ilustración 2:

*Ilustración 2. Principio de Bernoulli.*



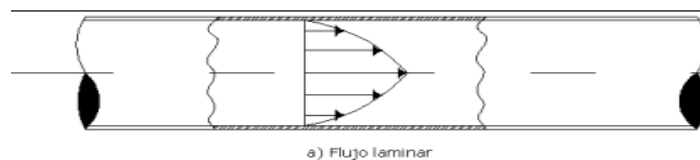
*Fuente, Guevara, Flujo a Presión, 1986.*

La pérdida de energía que se presenta en el fluido es debido a la fricción de las partículas del mismo contra las paredes del conducto que las transporta, ya que cualquier obstáculo que se presente en el conducto cambia la dirección de la corriente total o parcialmente produciendo una pérdida de presión (Reina, 2012).

### Pérdida de carga en válvulas

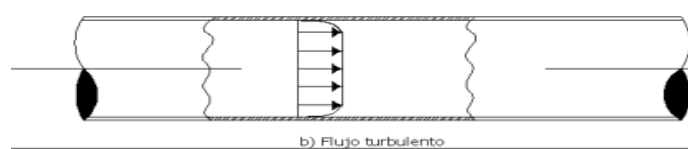
Cuando un fluido se desplaza uniformemente por una tubería recta, larga y de diámetro constante, la configuración del flujo, indicada por la distribución de la velocidad respecto del diámetro, adopta una forma característica (Rivera, Parra, Peña, & Varela, 2017), donde cualquier obstáculo en la tubería cambia la dirección de la corriente en forma total o parcial, altera la configuración característica de flujo y ocasiona turbulencia, causando una pérdida de energía mayor de la que normalmente se produce por simple fricción a lo largo de una tubería recta. Es claro que la instalación de válvulas en una línea de tubería altera la configuración de flujo, produciendo una pérdida de presión adicional, como se observa en la Ilustración 3 y 4.

*Ilustración 3. Flujo laminar presentado en la tubería.*



*Fuente. Rivera, Parra, Peña, & Varela, 2017.*

*Ilustración 4. Flujo turbulento presentado en la tubería.*



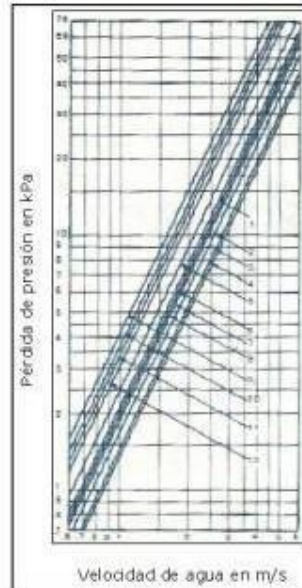
*Fuente. Rivera, Parra, Peña, & Varela, 2017.*

### Relación entre la pérdida de presión y velocidad de flujo

Muchos experimentos han demostrado que la pérdida de presión debida a válvulas es proporcional a la velocidad elevada a un exponente constante, pues cuando la caída de presión o pérdida de presión se grafica contra la velocidad en coordenadas logarítmicas, la curva resultante es por tanto una línea recta (Salvador & García, 2012).

En el régimen de flujo turbulento, el valor de exponente de la velocidad se ha encontrado que varía aproximadamente entre 1,8 y 2,1 para diseños de válvulas, sin embargo, en todos los casos prácticos, se acepta que la caída de presión o pérdida de presión debida al flujo de líquidos en régimen turbulento, a través de válvulas varía con el cuadrado de la velocidad, puesto que, la relación entre pérdida de presión y velocidad no es válida para todas las condiciones de funcionamiento, por ejemplo, en válvulas de retención es válida sólo si hay flujo suficiente para mantener el obturador totalmente abierto, donde el punto de desviación de la línea recta en las curvas obtenidas en ensayos, definen las condiciones de flujo necesarias para sostener el obturador de una válvula de retención en la posición de total apertura (Salvador & García, 2012), lo cual se evidencia en la Ilustración 5.

**Ilustración 5.** Relación entre la velocidad del fluido y la pérdida de presión.



**Fuente.** (Salvador & García, 2012).

### Ecuaciones de Caudal

Con base al volumen del fluido dado de un punto a otro en la tubería implementada, desarrollada un intervalo de tiempo el cual se evidenciará por medio de un cronómetro, se halla el caudal demandado en el sistema utilizado.

Por lo cual, la relación anteriormente mencionada, se encuentra mediante la ecuación 3:

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

**Ecuación 3**

Donde;

Q: Caudal  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$ .

V: Volumen  $[m^3]$ .

t: Tiempo [seg].

También, se evidencia que el volumen se desarrolla en relación de la masa y la

densidad del fluido a partir de la temperatura en la que se encuentra el mismo, por lo tanto, el volumen se expresa como una relación de la masa sobre densidad, por lo cual se ve expresado en la Ecuación 4:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

*Ecuación 4*

Donde;

V: Volumen [ $m^3$ ].

m: Masa [kg].

$\rho$ : Peso específico del fluido [ $\frac{kg}{m^3}$ ].

### **Instrumentos de medida de presiones**

Los instrumentos a implementar en el banco hidráulico a desarrollar son de tipo presión y tienen como objeto calcular la pérdida de presión que se presenta en el fluido, puesto que, cada variación presentada evidencia la pérdida de energía que se genera en el tramo a analizar con respecto a la perforación presentada en el accesorio, obteniendo una medición precisa en el sistema trabajado.

Los manómetros tienen como objetivo medir la presión relativa que se presenta en la estructura, para esto, el tipo de manómetro a utilizar es tubular (Bourdon) y consta de un fino tubo metálico de paredes delgadas, es de sección elíptica y está cerrado por un extremo que se une a una aguja móvil sobre un arco graduado. Cuando la presión crece en el interior del tubo, éste tiende a aumentar de volumen y a rectificarse, lo que pone en movimiento la aguja.

Se genera una identificación del tipo de instrumento de medición de presión que

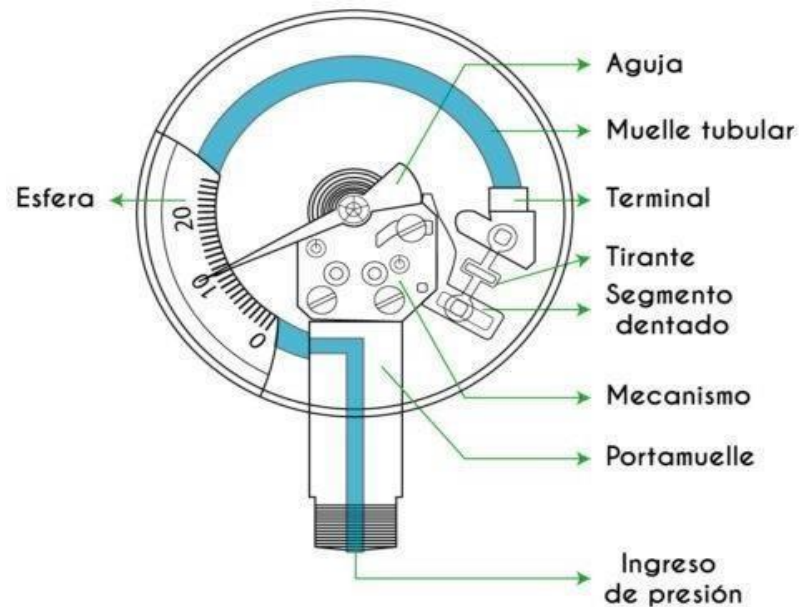
se utiliza, por lo cual cada componente que caracteriza su estructura, se observa en la Ilustración 6 y 7, como se muestra a continuación:

*Ilustración 6. Medidor de presión a utilizar en el Banco Hidráulico.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

*Ilustración 7. Despiece de la estructura de manómetro tipo Bourdon.*



*Fuente. Satel, 2019.*

### **Pérdida de energía en accesorios**

Las pérdidas en sistemas de tuberías se dan porque el fluido que se encuentra en movimiento genera una resistencia (fricción), la cual se convierte en energía térmica, esta se disipa a través de la tubería. En el caso de los accesorios, generalmente válvulas, cheques o codos, las pérdidas son mayores debido a que estas se encargan de controlar el flujo volumétrico generando turbulencia y así mismo ocasionando una pérdida de energía que es transformada en calor (Russi, 2015).

Un aspecto importante en el desarrollo del análisis presentado, es la pérdida de energía ocasionada por los accesorios presentados en el diseño, por lo cual, lo anterior se relaciona con la variación de las pérdidas menores en función de unidad de peso del fluido, por lo cual en la Ecuación 5, se obtiene el cálculo de las pérdidas menores de energía causadas por accesorios de la tubería estudiada.

$$H_m = K_m * \left( \frac{V^2}{2g} \right)$$

**Ecuación 5**

Donde;

H<sub>m</sub>: Pérdidas menores de energía [m.c.a].

K<sub>m</sub>: Pérdidas presentadas en el accesorio cheque tipo cortina con respecto a la perforación ¼" y ½".

V: Velocidad media del flujo presentada en el tramo analizado  $\left[ \frac{m}{s} \right]$ .

g: Aceleración de la gravedad  $\left[ \frac{m}{s^2} \right]$ .

Con lo anterior, se puede decir que la velocidad se halla a partir de la ecuación de continuidad, por lo cual se ve evidenciado en la Ecuación 6:

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

**Ecuación 6**

Donde;

V: Velocidad media del flujo presentada en el tramo analizado  $\left[ \frac{m}{s} \right]$ .

Q: Caudal  $\left[ \frac{m^3}{s} \right]$ .

A: Área de la sección circular (tubería), [m<sup>2</sup>].

Por lo cual, la velocidad puede ser sustituida por la relación encontrada en la ecuación 6, se obtiene el resultado de la Ecuación 7:

$$H_m = K_m * \left( \frac{Q^2}{A^2 * 2g} \right)$$

**Ecuación 7**

Donde;



$h_m$ : Pérdidas localizadas en accesorios [m.c.a].

$K_m$ : Pérdidas presentadas en el accesorio cheque tipo cortina con respecto a la perforación  $\frac{1}{4}$ " o  $\frac{1}{2}$ ".

Q: Caudal  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$ .

A: Área de la sección circular (tubería),  $[m^2]$ .

$g$ : Aceleración de la gravedad  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$ .

Así que, la ecuación que suple con todo lo anteriormente mencionado para las pérdidas menores presentadas en los accesorios, se ve representado en la Ecuación 8, entonces:

$$H_m = K_m * \left( \frac{Q^2}{2g * A^2} \right)$$

**Ecuación 8**

Donde;

$h_m$ : Pérdidas localizadas en accesorios [m.c.a].

$K_m$ : Pérdidas presentadas en el accesorio cheque tipo cortina con respecto a la perforación  $\frac{1}{4}$ " o  $\frac{1}{2}$ ".

Q: Caudal  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$ .

A: Área de la sección circular (tubería),  $[m^2]$ .

$g$ : Aceleración de la gravedad  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$ .

En donde se indica el área en términos de diámetro de la sección circular que se está analizando, como lo representa la Ecuación 9:

$$A_c = \frac{\pi * d^2}{4}$$

**Ecuación 9**

Donde;

$A_c$ : Área de la sección circular (tubería) [ $m^2$ ].

$d$ : Diámetro interno de la tubería [m].

A partir de la igualación entre la Ecuación 8 y la Ecuación 9, se obtiene el resultado de la Ecuación 10:

$$H_m = K_m * \frac{16}{\pi^2 * 2g} * \frac{Q^2}{d^4}$$

**Ecuación 10**

Donde;

$h_m$ : Pérdidas localizadas en accesorios [m.c.a].

$K_m$ : Pérdidas presentadas en el accesorio cheque tipo cortina con respecto a la perforación 1/4" o 1/2".

$Q$ : Caudal [ $\frac{m^3}{s}$ ].

$d$ : Diámetro interno de la tubería, [m].

$g$ : Aceleración de la gravedad [ $\frac{m}{s^2}$ ].

Por lo cual, reemplazando los valores de las variables constantes presentadas en la ecuación 10, se obtiene el modelo que presenta el comportamiento del valor de las pérdidas generadas en el accesorio a emplear, como se expresa en la Ecuación 11:

$$H_m = K_m * 0,0827 * \frac{Q^2}{d^4}$$

**Ecuación 11**

Donde;

$h_m$ : Pérdidas localizadas en accesorios [m.c.a].

$K_m$ : Pérdidas presentadas en el accesorio cheque tipo cortina con respecto a la perforación 1/4" o 1/2".

Q: Caudal  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$ .

d: Diámetro interno de la tubería [m].

Por lo tanto, Al despejar la Ecuación 11, se obtiene el valor de  $K_m$ , como se relaciona en la Ecuación 12, consignando las mismas variables mencionadas:

$$K_m = \frac{(H_m * d^4)}{Q^2 * 2g}$$

*Ecuación 12*

Donde;

$h_m$ : Pérdidas localizadas en accesorios [m.c.a].

$K_m$ : Pérdidas presentadas en el accesorio cheque tipo cortina con respecto a la perforación  $\frac{1}{4}$ " o  $\frac{1}{2}$ ".

Q: Caudal  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$ .

d: Diámetro interno de la tubería, [m].

g: Aceleración de la gravedad  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$ .

Los cheques que se utilizan en el banco de medidores son cheques tipo cortina (Ilustración 8), los cuales tienen como objetivo retener el fluido, haciendo que éste límite de flujo en un solo sentido, para lo cual se utilizan cheques de 1", los cuales estarán perforados por diámetros de  $\frac{1}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ " con el fin de evaluar el comportamiento hidráulico del mismo.

*Ilustración 8. Válvula de cheque tipo cortina.*



*Fuente. Cia, 2011.*

Finalmente, se obtendrá la curva la cual evaluará en comportamiento del caudal respecto al coeficiente de pérdidas menores obtenido en los accesorios ubicados en la tubería empleada.

### **Coeficientes de pérdidas menores ( $K_m$ )**

Los valores del coeficiente de pérdidas menores se evidencian por medio de textos investigativos, como lo es el libro de Hidráulica de tuberías desarrollado por Saldarriaga (2017), donde se evidencian valores de los cuales pueden ser guía mediante el estudio que se realiza (Russi, 2015), por lo tanto, se obtiene la Tabla 1:

*Tabla 1. Coeficientes para pérdidas en accesorios*

<b>Accesorio</b>	<b><math>K_m</math></b>
Válvula de globo, completamente abierta	10.0
Válvula en ángulo, completamente abierta	5.0
Válvula de cheque, completamente abierta	2.5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0.2
Válvula de compuerta, con $\frac{3}{4}$ de apertura	1.00-1.15
Válvula de compuerta, con $\frac{1}{2}$ de apertura	5.6
Válvula de compuerta, con $\frac{1}{4}$ de apertura	24.0

*Fuente. Saldarriaga, 2015.*

Sin embargo, estos valores dados son generales a partir de diferentes

experimentaciones realizadas, donde depende del material del accesorio, lo cual hace variar sus características, por lo cual, se obtiene distintos valores del coeficiente de pérdidas al utilizar diferentes accesorios en la tubería a emplear.

## MARCO CONCEPTUAL

**Instrumento (Manómetro):** Es el instrumento que se usa para medir una diferencia de presión en función de la altura de una columna líquida (Kenneth y Donald, 2001).

**Bomba centrífuga:** Son turbomáquinas utilizadas para el manejo de productos de baja viscosidad, se utiliza siempre que la aplicación concreta lo permita, ya que es la más barata en cuanto a compra, operación y mantenimiento, y también la más adaptable a diferentes condiciones de operación. Tiene por objeto el bombeo de todo tipo de líquidos de relativamente baja viscosidad y que no requieran un tratamiento particularmente suave (Villaflor, 2011).

**Presión:** Se define como la fuerza normal por unidad de área que actúa sobre la frontera del sistema. En los sistemas en reposo la presión es uniforme en todas las direcciones alrededor de un volumen elemental del fluido, sin embargo, la presión puede variar dentro del sistema en el caso de un fluido en presencia de un campo gravitatorio (Kenneth y Donald, 2001).

**Válvula:** Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza móvil que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos (Vam Industry, 2016).

**Pérdidas de carga locales:** Se generan por consecuencia de la turbulencia creada en el fluido por obstáculos tales como curvas, derivaciones, cambio de diámetro, el paso por accesorios tales como válvulas, filtros, etc. En las instalaciones de riesgo es imprescindible instalar toda clase de accesorios (Leopoldo & Andreau, 1994).

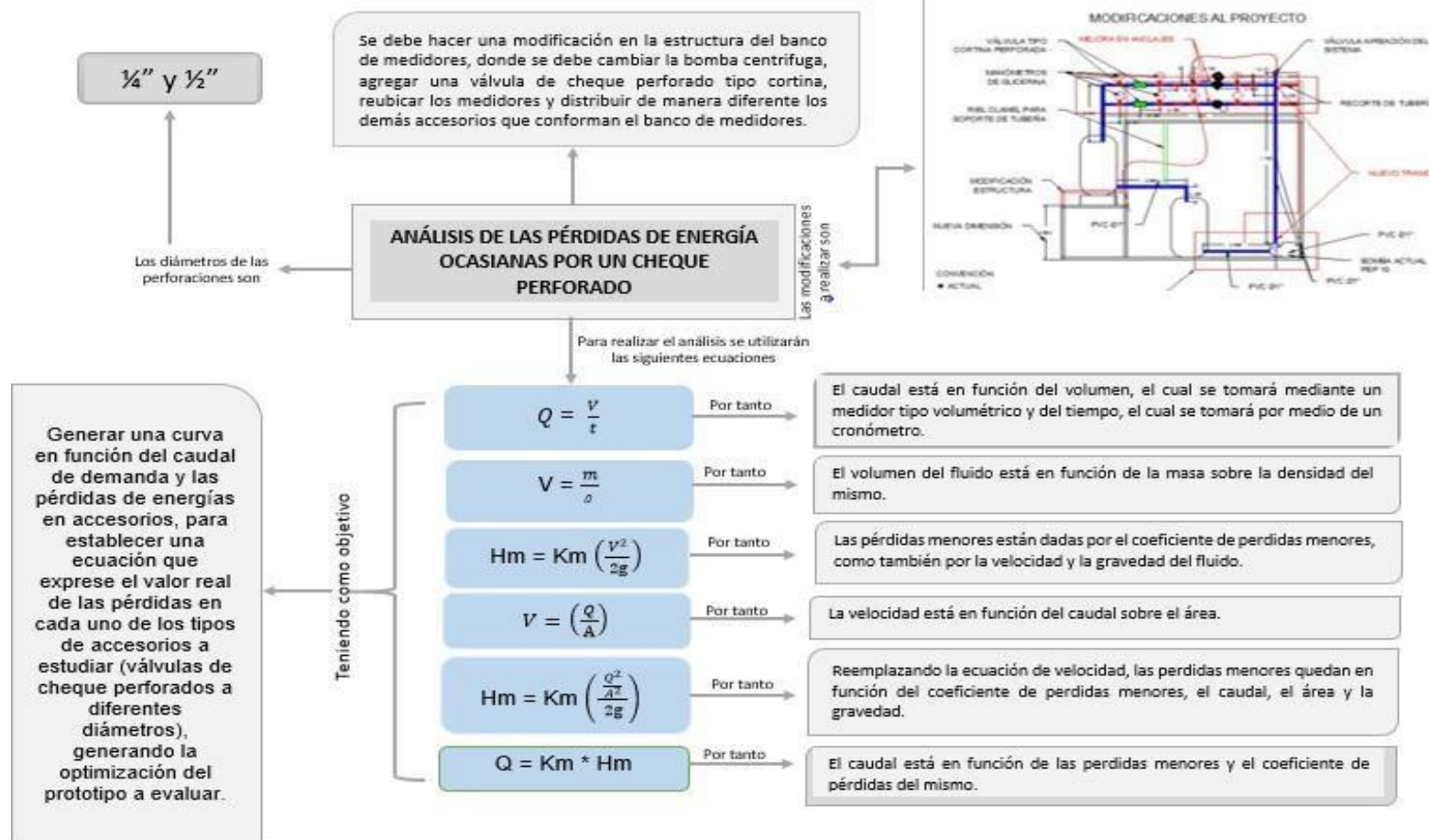
**Aforo gravimétrico:** Se define como el proceso para determinar la capacidad

total del tanque o las correspondientes capacidades parciales a diferentes alturas, dependiendo de la ubicación con respecto a la superficie. Por lo cual, para definir el método más apropiado, se requiere especificar el tipo de tanque que se va a tratar. (Russi y Castillo, 2006)

**Banco hidráulico:** Equipo para el estudio del comportamiento de los fluidos, la teoría hidráulica y las propiedades de la mecánica de fluidos (Edibon, 2016).

A continuación, se presenta los temas claves que contiene el desarrollo del proyecto, con el fin de generar una idea clara y concisa al momento de obtener el análisis del mismo, como se ve enmarcado en la Ilustración 9:

*Ilustración 9. Marco conceptual del desarrollo del proyecto.*



Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.



## ESTADO DEL ARTE

En la actualidad, existen diversos estudios en cuanto a pérdidas de energía en accesorios presentadas en una red de tubería hidráulica; en donde se exponen manuales de laboratorio, sirviendo como guía experimental para demostrar dicha pérdida; en el uso de accesorios de continuidad en determinada longitud, (Reina, 2012).

Una de las investigaciones en donde se desarrolló un nuevo banco de ensayo de pérdidas de carga en componentes hidráulicos ejecutada por (Shin, Kim, & Kang, 2018) da a conocer el diseño, construcción y accesibilidad de un nuevo banco de pruebas, para reemplazar el de la Facultad de la Universidad Nacional de Córdoba construido en la década de 1970, puesto que sufrió deterioros y obsolescencia por la implementación de tubería galvanizada, las bombas de agua de hierro fundido y el tanque de reserva de hierro presentó corrosión, con lo cual, se implementó medidores de caudal tipo Venturi y de placa orificio, agregando puntos de medición para conectar los sensores de presión, de esta manera llevaron a cabo el procedimiento experimental.

En mención de lo anterior, también se encontró pérdidas de energía en cruces de tuberías (Hernández, 2014) por esta razón, se determinó los tipos de pérdidas de energía que se presentan al momento de trabajar en tuberías, ocasionadas por la fricción del fluido con las paredes del tubo (pérdidas por fricción) y las generadas por la presencia de algún accesorio (pérdidas locales), (Vam Industry, 2016) presentando con esto, información acerca de las diferentes formas que se desarrollan para determinar los coeficientes de pérdida correspondientes, así como las pérdidas por cruces de

tuberías.

Así, por ejemplo tomando como referencia el diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de pérdidas de carga en tuberías y accesorios, muestra que se evidencia que las mayores pérdidas de carga se obtienen en tubería de Hierro Galvanizada en comparación con las tuberías de PVC y Cobre, lo cual indica que las pérdidas por fricción de tubería dependen del material con que está construida la tubería (Ramirez, 2017), por lo cual, se deduce la concordancia entre la pérdida de carga en función del coeficiente de resistencia  $K$ , puesto que los resultados obtenidos tienen relevancia con el criterio de clasificación que brindan los manuales de hidráulica, para llevar a cabo la investigación.

De cualquier manera, al realizar una comparación de pérdidas de energía entre válvulas comerciales de distinto material (Salvador & García, 2012) producidas en diferentes clases de válvulas, se genera la realización de ensayos de laboratorio para la obtención de resultados experimentales comparados con datos brindados por textos investigativos, con el objetivo de brindar un estudio calificado en el campo de la Ingeniería se determina que para proyectos de agua potable, basados en calidad, resistencia, costo y generando menores pérdidas de energía, las válvulas de bronce ofrecen una de las mejores alternativas, por lo cual es una idea innovadora al momento de realizar prototipos los cuales se ven afectados por el comportamiento del fluido que contenga la estructura. (Salinas, 2018)

Considerando que, la determinación de las pérdidas de energía en tuberías por fricción y accesorios lleva a analizar los cambios de presión a través de un manómetro

en U el cual transporta un fluido en un sistema de tuberías, así mismo, se determinan las pérdidas generadas por fricción entre el fluido, la tubería y por la utilización de accesorios dentro de este mismo sistema (Chavez, Herazo, Mercado, Palencia, & Vargas, 2012).

Se deduce mediante la investigación que las pérdidas producidas por los accesorios en las tuberías dependen directamente del número de accesorios presentes en el tramo de tubería, asimismo las pérdidas de energía generadas por la fricción es proporcional a la velocidad y a un factor que depende de la superficie de las paredes de la tubería sobre la que el fluido es conducido, analizando el comportamiento del mismo.

Al mismo tiempo, en la determinación experimental del coeficiente de pérdidas menores y el comportamiento hidráulico de diferentes válvulas tipo cheque usadas en sistemas internos de distribución de agua potable (Russi, 2015), la medición experimental de los coeficientes de pérdida menores (Km) en diferentes accesorios tipo cheque utilizados de la empresa Helbert y Cia se desarrolla mediante pruebas en un banco de presión de la Pontificia Universidad Javeriana, en el cual se realizó el montaje de cinco tuberías de diámetros de  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ ", 1", 1  $\frac{1}{2}$ " y 2" donde se utilizaron válvulas tipo cheque para hacer un respectivo análisis de caudal y diferencia de presión generando un análisis de diferente tipos de cheques, evidenciando que los resultados varían considerablemente entre diámetros y tipo de cheque, así que no se cumplió con el objetivo, por ende, no se realizó el documento de soporte técnico con los coeficientes de pérdidas menores para cada uno de los elementos esto como resultado a la variedad e inconsistencia de los datos presentados puesto que no son totalmente confiables para

la industria.

A causa de lo anterior, se presentan diferentes investigaciones sobre el tema a analizar, y se verán desarrolladas a nivel nacional e internacional, donde se analizarán los objetivos alcanzados, los resultados obtenidos y los aportes que se han generado con el óptimo avance y los resultados o aportes realizados en los mismos.

En consecuencia de esto, no hay información que avale el análisis de las pérdidas de energía en válvulas de cheque perforadas internamente a diferentes diámetros  $\frac{1}{4}$  " y  $\frac{1}{2}$  " ; relacionando la pérdida de presión debida a las válvulas y a la velocidad del flujo, para esto se realiza un procedimiento experimental en donde se establece una ecuación que expresa el valor real de cada una de las pérdidas en las válvulas de cheque estudiadas, analizando la variación de presión en el banco hidráulico transportando un fluido y optimizando el prototipo a evaluar.

## **METODOLOGÍA**

### **Tipo de estudio**

El trabajo propuesto, está basado en el desarrollo de una investigación experimental, la cual abarca el análisis de experimentación por medio de la metodología científica propuesta, con el fin de realizar los ensayos de medición de la pérdida de energía en accesorios a utilizar, también, se implementan instrumentos para la medición de presión, como manómetros los cuales abarcan el comportamiento del fluido en la tubería propuesta, por ende, se obtiene la temperatura a la cual se encuentra el fluido, la presión que se presenta al estar afectada por la perforación respectiva del cheque utilizado en un tramo determinado y la variación del caudal mediante distintos cambios de diámetro que se evidenciaran en los accesorios designados a la estructura del banco hidráulico.

### **Diseño metodológico**

La modificación del banco hidráulico está ubicado en el laboratorio de hidráulica, exactamente en la sede claustro de la Universidad Católica de Colombia, en base al modelo generado, que se representa en la Ilustración 10 y 11, las características de aplicación son las siguientes:

- Estructura metálica.
- Medidor tipo volumétrico.
- Medidor tipo velocidad.
- Tubería PVC Ø 1".
- Accesorios como: Codos, Uniones, Válvulas, Manómetros.

- Tanques de almacenamiento de 60 l/s de capacidad.
- Bomba de 1 HP.
- Bascula de 150 kilogramos.

### **Estado actual del proyecto**

A continuación, se hará un análisis de la estructura actual del banco hidráulico que se modificara, el estado actual se ve enmarcado en la Ilustración 10, 11 y 12, las cuales evidencian las respectivas medidas que tiene el banco actualmente.

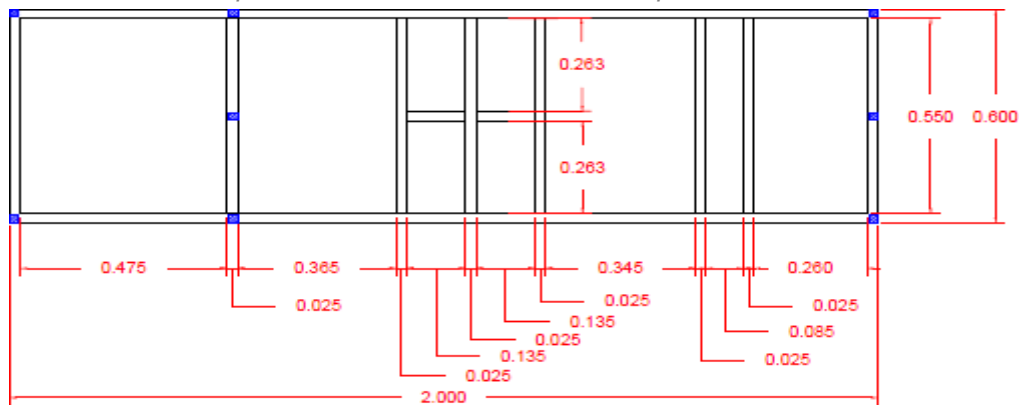
*Ilustración 10. Estado actual del banco de medidores.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

## Planta de la estructura

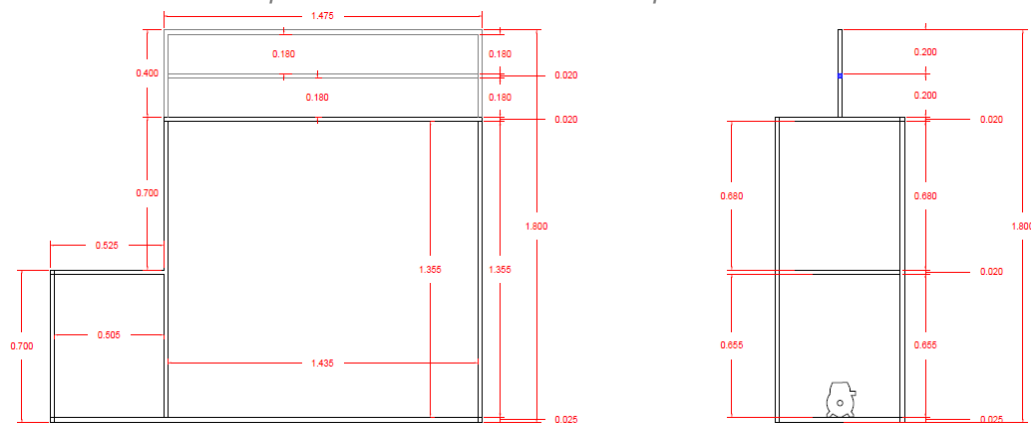
*Ilustración 11. Representación de las medidas correspondientes del banco de medidores.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

## Perfil de la estructura

*Ilustración 12. Representación de las medidas en perfil del banco de medidores.*

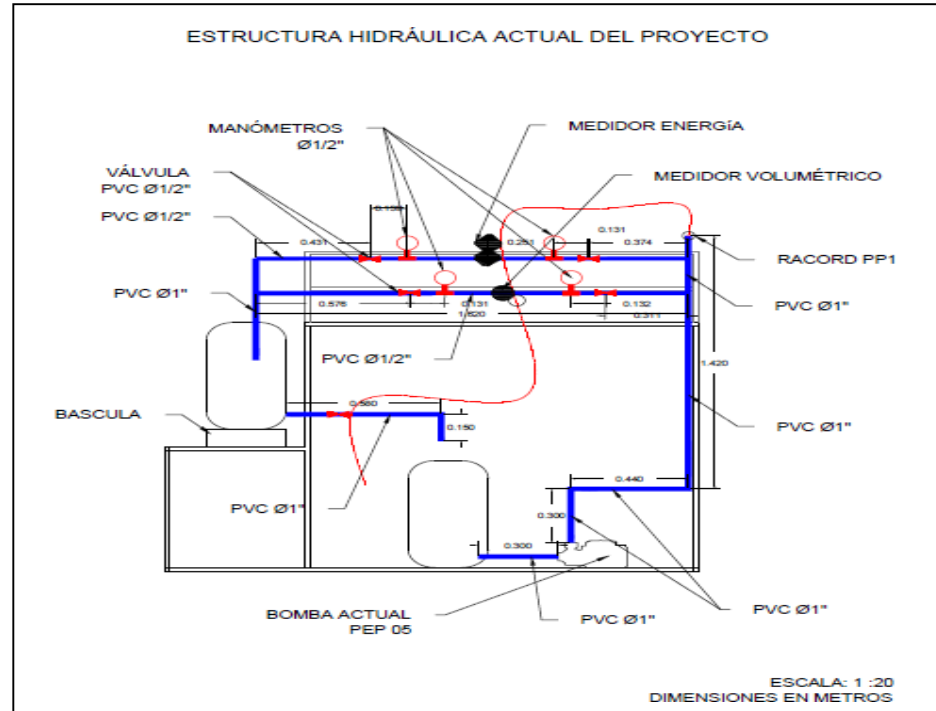


*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

## Estructura hidráulica actual del banco de medidores

En la Ilustración 13, se ve la composición de diferentes accesorios que componen la tubería actual, por lo tanto:

*Ilustración 13. Estructura hidráulica actual.*



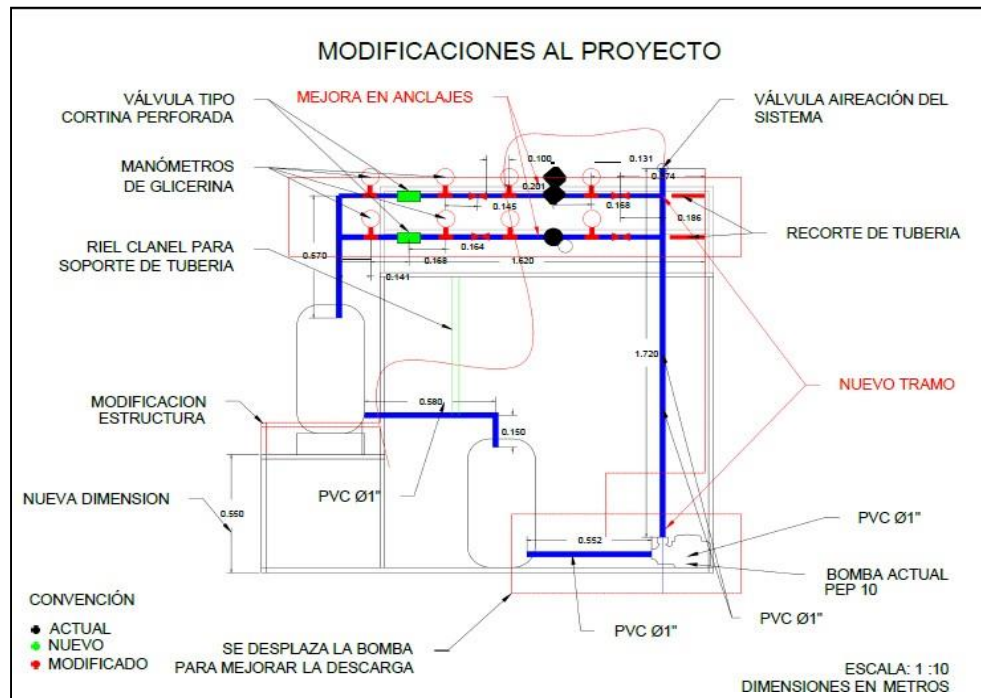
*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

### **Modificaciones correspondientes para el banco hidráulico**

En la Ilustración 14, se evidencia las modificaciones correspondientes al proyecto, donde se genera la caracterización de los diferentes componentes del banco hidráulico, indicando los instrumentos actuales, los accesorios nuevos y los cambios que se realizan en la estructura:



*Ilustración 14. Estructura hidráulica modificada.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

## Especificaciones de la bomba

Se realiza una modificación de la bomba puesto que la que está actualmente implementada no supe completamente la optimización del flujo por la tubería del banco hidráulico, la Ilustración 15 indica que la nueva bomba será de 1 HP, por lo cual se tiene que:

*Ilustración 15. Dimensiones de la bomba a utilizar.*

**Pump dimensions / Dimensiones de la bomba**

MODELO / MODELO	DN1	DN2	L (mm)	A (mm)	H (mm)	L1 (mm)	A1 (mm)	H1 (mm)	L2 (mm)
PEP 05	1"	1"	260	132	155	46.5	100	63	80
PEP 07	1"	1"	282	147	183	51	112	71	90
PEP 10	1"	1"	300	147	183	54.5	112	71	90
PEP 10	1"	1"	338	165	210	56	100	125	85

CONVENCIÓN

- ACTUAL
- NUEVO
- MODIFICADO

*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

### Proceso constructivo

A continuación, se describe el proceso constructivo de la modificación del banco hidráulico para aforos de caudal, pérdida de presión al paso por una válvula de cheque perforada a diferentes diámetros  $\frac{1}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ ", como se observa en la Ilustración 16:

Primeramente, se realiza el desmonte de accesorios instalados tales como:

Tubería existente.

Medidor tipo volumétrico.

Medidor tipo velocidad.

Bomba de  $\frac{1}{2}$  hp.

4 Manómetros de glicerina a la entrada y salida de cada medidor.

*Ilustración 16. Modificación del Banco Hidráulico.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

Luego se implementa la modificación de la estructura existente en un taller de ornamentación de la siguiente manera:

Como primera medida, se instala un perfil de fijación para estabilizar la tubería de recirculación y la válvula de retorno, como se observa en la Ilustración 17.

*Ilustración 17. Estructura base para estabilizar los componentes.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

Posteriormente, en la Ilustración 18 se observa una reducción a la altura de la base que soporta la balanza a 21 cm.

*Ilustración 18. Ubicación de la balanza.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

También, se modifica el soporte de la bomba para que sea instalada en el costado derecho, como se indica en la Ilustración 19.

*Ilustración 19. Instalación de la bomba.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

En la Ilustración 20, se refleja la instalación de dos guías en perfil para los dos chequeos a aforar y la tubería de 1”.

*Ilustración 20. Instalación de accesorios.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

Por lo tanto, se instala el perfil de soporte para la tubería saliente de la bomba de manera vertical, como se observa en la Ilustración 21.

*Ilustración 21. Perfil de soporte para la tubería saliente.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

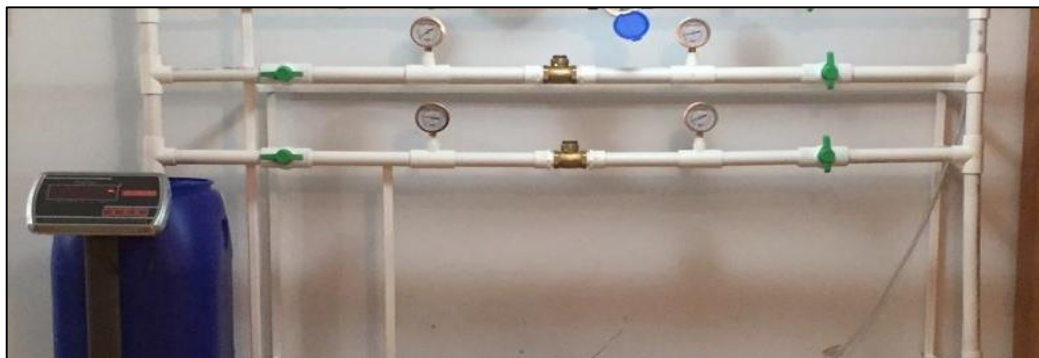
A continuación, se retiran los esquineros superiores del banco como se indica en la Ilustración 22 y 23, ya que obstruyen la movilidad del Profesional a realizar los Aforos o mediciones.

*Ilustración 22. Modelo de Banco Hidráulico sin modificaciones.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

*Ilustración 23. Modelo de Banco Hidráulico con modificaciones.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

En la Ilustración 24, se retiraron los esquineros superiores que conformaban la estructura del modelo, luego se lija, se masilla y se pinta la estructura de esmalte blanco mate.

*Ilustración 24. Acabados para la estructura de fijación del equipo.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

Conforme a lo anterior, se procede a instalar la bomba de recirculación marca BARNES de referencia QB80/BE 1 10-1 HF, E0326 en el costado inferior derecho como lo indica la Ilustración 25.

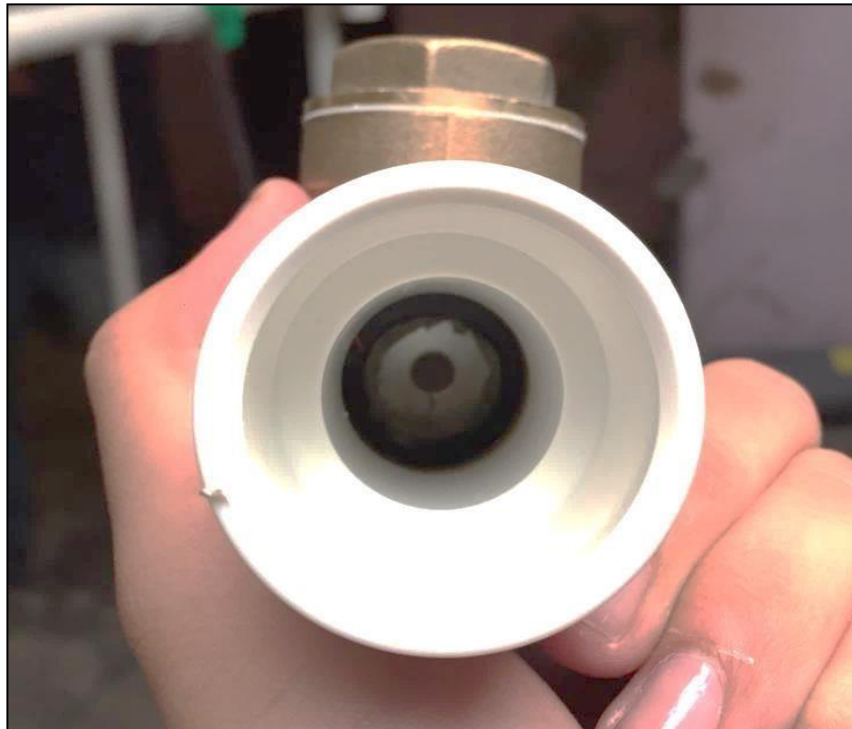
*Ilustración 25. Ubicación de la bomba en la estructura.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

Para obtener un funcionamiento mejorado del banco Hidráulico y de los accesorios a implementar, se llevan las válvulas de cheque al torno para ser perforadas en su compuerta interior; la válvula superior llevara una perforación de  $\frac{1}{2}$ " y la válvula inferior llevara una perforación de  $\frac{1}{4}$ " como se observa en la Ilustración 26.

*Ilustración 26. Perforaciones respectivas para los cheques tipo cortina.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

La Ilustración 27 corresponde a la caracterización de los nuevos accesorios en la modificación del banco y se inicia la instalación:



*Ilustración 27. Instalación de accesorios a implementar.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

- 4 registros de 1" PVC.
- 2 válvulas de cheque tipo cortina perforadas.
- 4 Tee de 1" PVC.
- 4 Tee de 1" x ½" PVC.
- 4 reducciones de ½" x 3/8" PVC.
- 2 uniones de 1" lisas PVC.
- 4 uniones de 1" x 1" hembra macho PVC.
- 3 m de tubería de 1" PVC.
- 4 manómetros de glicerina de 15 psi.
- 1 semi- codo 45° PVC.

En la Ilustración 28, se ve reflejado la instalación de la superficie de soporte para tanque # 2 de 60 L.

*Ilustración 28. Superficie de soporte para tanque de 60 Litros.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

Por lo tanto, en la Ilustración 29 se realiza la instalación de la tubería y accesorios de entrada y salida de la bomba de recirculación en el sistema propuesto.

*Ilustración 29. Instalación de tubería y accesorios.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

En la Ilustración 30, se identifica la instalación de la base en madera para tanque #2 en el banco hidráulico.

*Ilustración 30. Instalación de base para el tanque 2.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

Por último, se asegura la tubería a la estructura metálica, obteniendo la estructura final del Banco Hidráulico como se observa en la Ilustración 31, dando inicio a la realización de los aforos.

*Ilustración 31. Estructura terminada para la realización de aforos.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

## RESULTADOS - MODELO ESTRUCTURAL

Para llevar a cabo el desarrollo del procedimiento propuesto, se genera el montaje final, como se representa en la Ilustración 32, la cual hace referencia a los cambios generados y a la implementación de nuevos elementos adheridos a la estructura.

*Ilustración 32. Componentes del modelo estructural.*

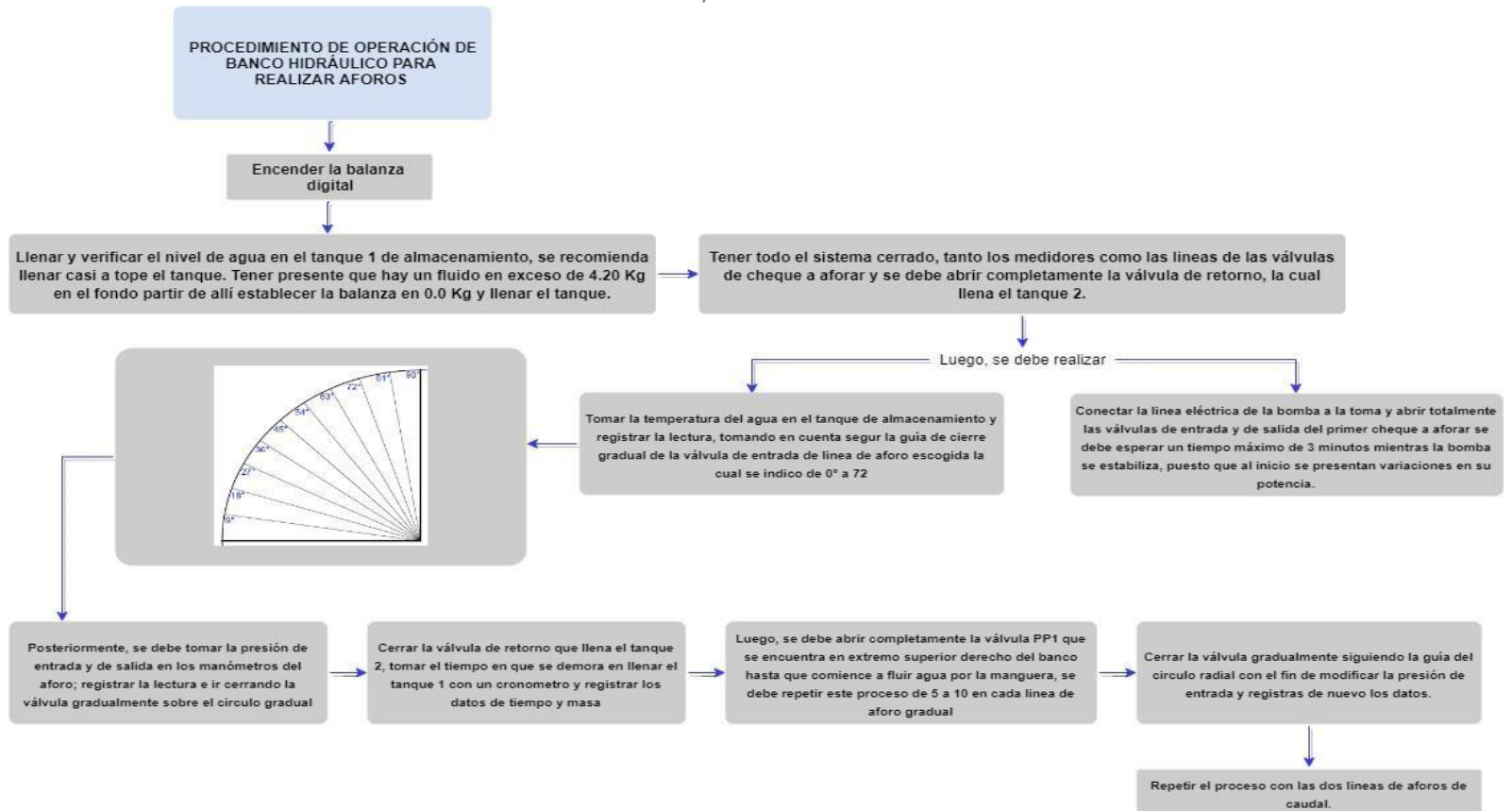


*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

## PROCESO OPERATIVO DEL BANCO HIDRÁULICO

A continuación, se indica el proceso de operación para el banco hidráulico al momento de realizar aforos, como se observa en la Ilustración 33.

*Ilustración 33. Proceso operativo del banco hidráulico.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

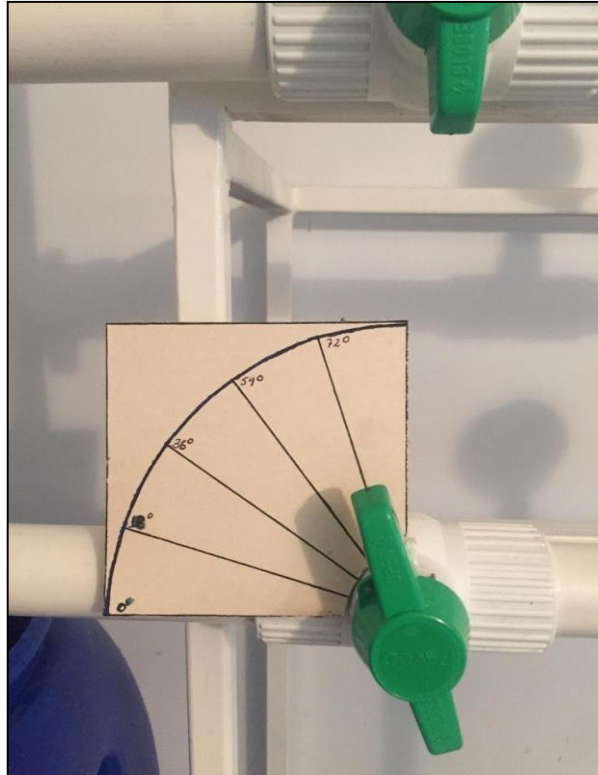
## RESULTADOS DE TOMA DE DATOS

Inicialmente, se llevó a cabo la recolección de datos para el cheque cortina de  $\frac{1}{4}$ ", en donde se generan 7 tomas de datos con (5) tiempos diferentes para cada aforo desarrollado presentando diferentes temperaturas.

No obstante, se realizaron 8 tomas de datos para el cheque tipo cortina con una perforación de  $\frac{1}{2}$ ", con lo cual, para cada dato se obtuvieron (5) tiempos diferentes presentado en la toma de datos y a una temperatura determinada, puesto que, al momento de poner en marcha la estructura del banco hidráulico, el agua fue controlada mediante los registros, los cuales tienen como característica principal una inclinación determinada para su funcionamiento.

Los valores de inclinaciones que se utilizaron fueron  $0^\circ, 9^\circ, 18^\circ, 27^\circ, 36^\circ, 45^\circ, 54^\circ, 63^\circ$  y  $72^\circ$ , como se observa en la Ilustración 34, donde se determina la abertura del registro respecto a la inclinación que se desea trabajar:

**Ilustración 34.** *Inclinación determinada para el desarrollo de los aforos.*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

Respecto a los datos obtenidos, se evidencia que en la inclinación de  $63^\circ$  y  $72^\circ$  para el cheque perforado de  $\frac{1}{4}$ " no fue posible realizar la toma de datos, puesto que la presión de entrada supera el rango de medición del manómetro (15 psi), no obstante, para el cheque perforado de  $\frac{1}{2}$ " fue posible realizar la toma de datos en la inclinación de  $72^\circ$ , porque la presión de salida subió de 1,2 a 1,5 psi respecto al dato anterior, por lo cual, la presión no puede ser mayor ya que viene descendiendo con respecto a los aforos desarrollados.

La presión con la que se inició la toma de datos fue 14.9 libras sobre pulgada cuadrada (psi), puesto que es el valor máximo que genera la bomba propuesta, a medida que la inclinación varia la presión disminuye, obteniendo presiones de entrada de 14.7, 14.5, 14.1, 13.8, 11.7, y encontrando como presión mínima un valor de 9.8 Psi con

respecto al cheque perforado de  $\frac{1}{4}$ ".

Por ende, para el cheque perforado de  $\frac{1}{2}$ " la presión máxima presentada al desarrollar la toma de datos fue de 4,5 libras por pulgada cuadrada (Psi) con una inclinación de  $0^\circ$ , a medida que la inclinación varia se obtienen presiones menores de entrada como 4.4, 4.3, 4.2, 4.1 y como presión mínima se obtuvo un valor de 2.7 Psi, con respecto a las inclinaciones presentadas.

A continuación, se presentan los datos generados para cada toma de datos que se desarrolló con el equipo, como se ve reflejado en la Tabla 2 y 3.



Tabla 2. Toma de datos para el cheque perforado de ¼".

DATO	DIAMETRO DE PERFORACIÓN DE CHEQUE	INCLINACIÓN	TEMPERATURA DEL AGUA	PRESIÓN		MASA AFORO GRAVIMETRICO (Kg)	TIEMPO (Seg)	RANGO BALANZA (Kg)
				PRESIÓN DE ENTRADA (Psi)	PRESIÓN DE SALIDA (Psi)			
1	¼	0°	18	14,9	5,8	3	4,55	26 - 29
	¼	0°	18,2				4,59	24 - 27
	¼	0°	18,4				4,6	26 - 29
	¼	0°	18,7				4,53	24 - 27
	¼	0°	18,9				4,62	26 - 29
2	¼	9°	18,7	14,7	5,8	3	4,67	24 - 27
	¼	9°	18,9				4,76	26 - 29
	¼	9°	19				4,8	24 - 27
	¼	9°	19,2				4,71	26 - 29
	¼	9°	19,2				4,74	24 - 27
3	¼	18°	19	14,5	5,7	3	4,8	26 - 29
	¼	18°	19				4,83	24 - 27
	¼	18°	19,3				4,78	26 - 29
	¼	18°	19,4				4,87	24 - 27
	¼	18°	19,7				4,91	26 - 29
4	¼	27°	19,4	14,1	5,7	3	5	24 - 27
	¼	27°	19,6				5,07	26 - 29
	¼	27°	19,7				4,98	24 - 27
	¼	27°	19,9				4,97	26 - 29
	¼	27°	19,9				5,03	24 - 27
5	¼	36°	19,7	13,8	5,6	3	5,12	26 - 29
	¼	36°	19,8				5,15	24 - 27
	¼	36°	20				5,3	26 - 29
	¼	36°	20,2				5,21	24 - 27
	¼	36°	20,2				5,29	26 - 29
6	¼	45°	19,9	11,7	5,6	3	5,51	24 - 27
	¼	45°	20,1				5,43	26 - 29
	¼	45°	20,3				5,39	24 - 27
	¼	45°	20,3				5,47	26 - 29
	¼	45°	20,4				5,36	24 - 27
7	¼	54°	20,3	9,8	5,5	3	5,56	26 - 29
	¼	54°	20,4				5,58	24 - 27
	¼	54°	20,5				5,7	26 - 29
	¼	54°	20,5				5,63	24 - 27
	¼	54°	20,5				5,68	26 - 29
8	¼	63°		No se tomaron los datos porque la presión de entrada supera el rango de medición del manómetro a 15 psi				
	¼	63°						
	¼	63°						
	¼	63°						
	¼	63°						
9	¼	72°		No se tomaron los datos porque la presión de entrada supera el rango de medición del manómetro a 15 psi				
	¼	72°						
	¼	72°						
	¼	72°						
	¼	72°						

Fuente. (Barbosa &amp; Bustos, 2020).

Tabla 3. Toma de datos para el cheque perforado de 1/8".

DATO	DIAMETRO DE PERFORACIÓN DE CHEQUE	INCLINACIÓN	TEMPERATURA DEL AGUA	PRESIÓN		MASA AFORO GRAVIMETRICO (Kg)	TIEMPO (Seg)	RANGO BALANZA (Kg)
				PRESIÓN DE ENTRADA (PSI)	PRESIÓN DE SALIDA (PSI)			
1	1/8	0°	18,3	4,5	1,6	3	4,4	36 - 39
	1/8	0°	18,3				4,5	34 - 37
	1/8	0°	18,4				4,48	36 - 39
	1/8	0°	18,5				4,39	34 - 37
	1/8	0°	18,7				4,44	36 - 39
2	1/8	9°	18,6	4,4	1,5	3	4,61	34 - 37
	1/8	9°	18,8				4,53	36 - 39
	1/8	9°	18,9				4,58	34 - 37
	1/8	9°	19,2				4,59	36 - 39
	1/8	9°	19,4				4,6	34 - 37
3	1/8	18°	19,3	4,4	1,4	3	4,65	36 - 39
	1/8	18°	19,5				4,67	34 - 37
	1/8	18°	19,5				4,71	36 - 39
	1/8	18°	19,7				4,65	34 - 37
	1/8	18°	19,9				4,57	36 - 39
4	1/8	27°	19,7	4,3	1,4	3	4,8	34 - 37
	1/8	27°	19,9				4,79	36 - 39
	1/8	27°	19,9				4,86	34 - 37
	1/8	27°	20,2				4,83	36 - 39
	1/8	27°	20,5				4,77	34 - 37
5	1/8	36°	20,4	4,3	1,4	3	5,01	36 - 39
	1/8	36°	20,6				5,05	34 - 37
	1/8	36°	20,7				4,98	36 - 39
	1/8	36°	20,9				4,93	34 - 37
	1/8	36°	21,1				4,91	36 - 39
6	1/8	45°	20	4,2	1,3	3	5,2	34 - 37
	1/8	45°	20,3				5,1	36 - 39
	1/8	45°	20,5				5,16	34 - 37
	1/8	45°	20,9				5,12	36 - 39
	1/8	45°	21,2				5,17	34 - 37
7	1/8	54°	21,1	4,1	1,3	3	5,67	36 - 39
	1/8	54°	21,4				5,6	34 - 37
	1/8	54°	21,7				5,66	36 - 39
	1/8	54°	21,8				5,72	34 - 37
	1/8	54°	22				5,63	36 - 39
8	1/8	63°	21,9	2,7	1,2	3	9,11	34 - 37
	1/8	63°	22,4				9,13	36 - 39
	1/8	63°	22,7				9,16	34 - 37
	1/8	63°	23,5				9,05	36 - 39
	1/8	63°	23,8				9,15	34 - 37
9	1/8	72°		No se tomaron los datos porque la presión de salida subió de 1,2 a 1,5 psi y esta no puede ser mayor ya que viene descendiendo				
	1/8	72°						
	1/8	72°						
	1/8	72°						
	1/8	72°						

Fuente. (Barbosa &amp; Bustos, 2020).

Con el fin de obtener los resultados apropiados, se debe identificar el punto de análisis en términos de energía en el punto 1 y en el punto 2 como se observa en la Ilustración 35, tomando en cuenta el sentido del flujo.



Por lo cual, se genera un análisis de energía desde el punto 1 hacia el punto 2, donde se relaciona la carga la posición ( $z$ ), la carga de presión  $\left(\frac{P}{\gamma}\right)$ , la carga de velocidad  $\left(\frac{V^2}{2g}\right)$  y por último la pérdida de energía del punto 1 al punto 2 ( $hm$ ), como se evidencia en la Ecuación 12:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{2g} + \frac{V_2^2}{2g}$$

*Ecuación 12*

Donde;

$\left(\frac{V^2}{2g}\right)$ : Altura cinemática [m.c.a].

P: Presión [m.c.a].

$\gamma$ : Peso específico  $\left[\frac{N}{m^2}\right]$ .

$z$ : Altura de elevación con respecto a un plano horizontal de referencia [m].

$hm$ : Pérdidas localizadas en accesorios [m.c.a].

Respecto al comportamiento del flujo, se tiene que  $z_1$  y  $z_2$  tienen el mismo valor, puesto que la tubería se ubica totalmente horizontal, también, mediante el principio de continuidad se indica que la velocidad entre el punto 1 y el punto 2 es la misma por lo que el caudal que existe entre el punto 1 y el punto 2 es constante y el área del tramo no cambia, por lo tanto, la Ecuación 13 describe las pérdidas menores de energía existentes en el accesorio analizado:

$$\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} = h_{m\ 1-2}$$

*Ecuación 13*

Donde;

P: Presión [m.c.a].

$\gamma$ : Peso específico  $\left[\frac{N}{m^2}\right]$ .

$h_m$ : Pérdidas localizadas en accesorios [m.c.a].

La ecuación 10, representa la diferencia de las cargas de presión entre el punto 1 y 2, también, se requiere el valor de  $\gamma$  del agua por lo cual se relaciona con la temperatura que se presente en el fluido, por lo cual los valores de la densidad se evidencian en la tabla 4:

Tabla 4. Propiedades del agua.

Temperatura (°C)	Peso específico ( $\gamma$ ) $Kn/m^3$	Densidad ( $\rho$ ) $kg/m^3$	Viscosidad dinámica ( $\mu$ ) $Pa \cdot seg$	Viscosidad cinemática ( $\nu$ ) $m^2/seg$
0	9,81	1000	$1,75 \cdot 10^{-3}$	$1,75 \cdot 10^{-6}$
5	9,81	1000	$1,52 \cdot 10^{-3}$	$1,52 \cdot 10^{-6}$
10	9,81	1000	$1,30 \cdot 10^{-3}$	$1,30 \cdot 10^{-6}$
15	9,81	1000	$1,15 \cdot 10^{-3}$	$1,15 \cdot 10^{-6}$
20	9,79	998	$1,02 \cdot 10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-6}$
25	9,78	997	$8,91 \cdot 10^{-4}$	$8,94 \cdot 10^{-7}$
30	9,77	996	$8,00 \cdot 10^{-4}$	$8,03 \cdot 10^{-7}$
35	9,75	994	$7,18 \cdot 10^{-4}$	$7,22 \cdot 10^{-7}$
40	9,73	992	$6,51 \cdot 10^{-4}$	$6,56 \cdot 10^{-7}$
45	9,71	990	$5,94 \cdot 10^{-4}$	$6,00 \cdot 10^{-7}$
50	9,69	988	$5,41 \cdot 10^{-4}$	$5,48 \cdot 10^{-7}$
55	9,67	986	$4,98 \cdot 10^{-4}$	$5,05 \cdot 10^{-7}$
60	9,65	984	$4,60 \cdot 10^{-4}$	$4,67 \cdot 10^{-7}$
65	9,62	981	$4,31 \cdot 10^{-4}$	$4,39 \cdot 10^{-7}$
70	9,59	978	$4,02 \cdot 10^{-4}$	$4,11 \cdot 10^{-7}$
75	9,56	975	$3,73 \cdot 10^{-4}$	$3,83 \cdot 10^{-7}$
80	9,53	971	$3,50 \cdot 10^{-4}$	$3,60 \cdot 10^{-7}$
85	9,50	968	$3,30 \cdot 10^{-4}$	$3,41 \cdot 10^{-7}$
90	9,47	965	$3,11 \cdot 10^{-4}$	$3,22 \cdot 10^{-7}$
95	9,44	962	$2,92 \cdot 10^{-4}$	$3,04 \cdot 10^{-7}$
100	9,40	958	$2,82 \cdot 10^{-4}$	$2,94 \cdot 10^{-7}$

Fuente. (Robert L. Mott, 1996).

El modelo de la ecuación 11 caracteriza la determinación de la pérdida en el accesorio, por lo que retomando el principio de continuidad se representa dicha caracterización en términos de caudal, como se ve desarrollado en la Ecuación 14:

$$H_m = K_m * \left( \frac{V^2}{2g} \right)$$

Ecuación 14

Donde;

$h_m$ : Pérdidas localizadas en accesorios [m.c.a].

$K_m$ : Pérdidas presentadas en el accesorio cheque tipo cortina con respecto a la perforación  $\frac{1}{4}$ " o  $\frac{1}{2}$ ".

$V$ : Velocidad media del flujo presentada en el tramo analizado  $\left[ \frac{m}{s} \right]$ .

$g$ : Aceleración de la gravedad  $\left[ \frac{m}{s^2} \right]$ .

A partir de la igualación entre la Ecuación 6 y la Ecuación 14, se obtiene el resultado de la Ecuación 15.

$$H_m = K_m * \left( \frac{Q^2}{A} \right)$$

$$H_m = K_m * \left( \frac{Q^2}{A^2 * 2g} \right)$$

**Ecuación 15**

Donde;

$h_m$ : Pérdidas localizadas en accesorios [m.c.a].

$K_m$ : Pérdidas presentadas en el accesorio cheque tipo cortina con respecto a la perforación 1/4" o 1/2".

$Q$ : Caudal  $\left[ \frac{m^3}{s} \right]$ .

$A$ : Área de la sección circular (tubería),  $[m^2]$ .

$g$ : Aceleración de la gravedad  $\left[ \frac{m}{s^2} \right]$ .

En donde se indica el área en términos de diámetro de la sección circular que se está analizando, como lo representa la Ecuación 16:

$$A_c = \frac{\pi * d^2}{4}$$

**Ecuación 16**

Donde;

$A_c$ : Área de la sección circular (tubería)  $[m^2]$ .

$d$ : Diámetro interno de la tubería [m].

Reemplazando la Ecuación 16 en la Ecuación 15, se puede deducir la Ecuación 17:

$$H_m = K_m * \left( \frac{Q^2}{\frac{\pi * d^2}{4} * 2g} \right)$$

$$H_m = K_m * \left( \frac{4^2 * Q^2}{(\pi * d^2)^2 * 2g} \right)$$

$$H_m = K_m * \left( \frac{16Q^2}{\pi^2 * d^4 * 2g} \right)$$

$$H_m = K_m * \frac{16}{\pi^2 * 2g} * \frac{Q^2}{d^4}$$

$$H_m = K_m * 0,0827 * \frac{Q^2}{d^4}$$

**Ecuación 17**

Donde;

$h_m$ : Pérdidas localizadas en accesorios [m.c.a].

$K_m$ : Pérdidas presentadas en el accesorio cheque tipo cortina con respecto a la perforación ¼" o ½".

Q: Caudal  $\left[ \frac{m^3}{s} \right]$ .

$d$ : Diámetro interno de la tubería [m].

Con respecto a la Ecuación 17, se encuentra el valor del caudal que se presenta para cada pérdida menor que existe en el accesorio, por lo cual se debe encontrar el volumen del fluido que está en función de la masa del fluido sobre la densidad del agua; esta relación se representa en la Ecuación 18:

$$V = \frac{m_{agua}}{\rho_{agua}}$$

**Ecuación 18**

Donde;

$\forall$ : Volumen del fluido [ $m^3$ ].

$m$ : Masa del fluido [kg].

$\rho$ : Densidad del fluido [ $\frac{kg}{m^3}$ ].

Luego, la Ecuación 18 permite encontrar el caudal en términos de magnitud, puesto que relaciona el volumen del fluido y el tiempo establecido al realizar el aforo, como se observa en la Ecuación 19:

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

*Ecuación 19*

Donde;

$Q$ : Caudal [ $\frac{m^3}{s}$ ].

$\forall$ : Volumen del fluido [ $m^3$ ].

$t$ : Tiempo [seg].

Retomando la Ecuación 17, se puede deducir el valor de  $K_m$ , ya que se conoce el valor de las demás variables como las pérdidas menores en el accesorio ( $H_m$ ), el caudal presentado ( $Q$ ) Y El diámetro interno de la tubería, que tiene un valor de 30,20 mm para una relación diámetro – espesor de RDE 21, como lo indica la Ecuación 20:

$$K_m = \frac{H_m * d^4}{0,0827 * Q^2}$$

*Ecuación 20*

Donde;

$hm$ : Pérdidas localizadas en accesorios [m.c.a].

$K_m$ : Pérdidas presentadas en el accesorio cheque tipo cortina con respecto a la



perforación  $\frac{1}{4}$ " o  $\frac{1}{2}$ ".

Q: Caudal  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$ .

d: Diámetro interno de la tubería [m].

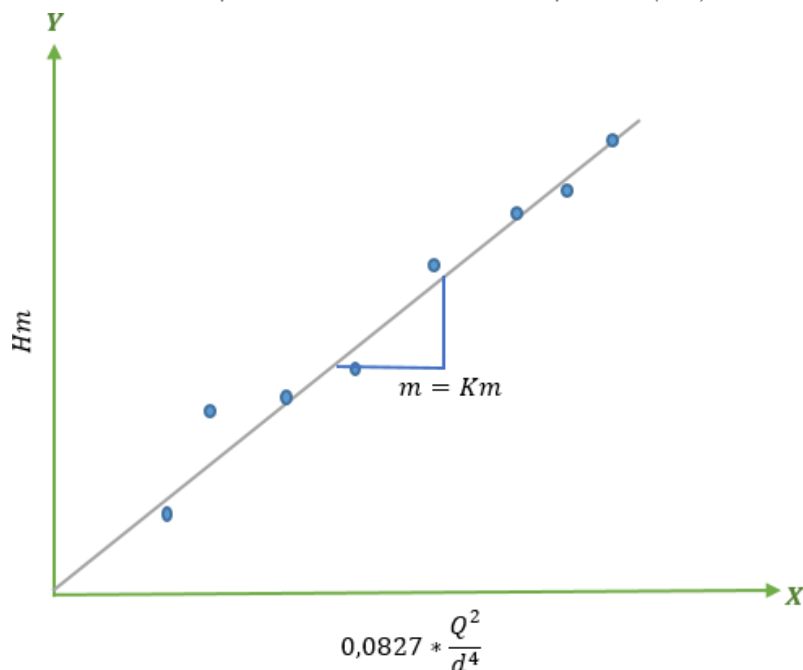
Al aplicar el procedimiento para todos los datos se hallan varios valores de Km, puesto que, para cada perforación realizada, se debe encontrar un único valor de Km el cual será representado de forma gráfica.

Para llevar a cabo el proceso gráfico, se retoma la ecuación 17, con el fin de encontrar la función lineal que caracteriza a la gráfica, basando el punto de corte desde el punto cero, se tiene que:

$$Hm = Km * 0,0827 * \frac{Q^2}{d^4}$$

Donde el valor de  $y$  se representa en las pérdidas menores (Hm), el valor de  $x$  representa la expresión  $0,0827 * \frac{Q^2}{d^4}$  y la pendiente representa el único valor de Km para cada cheque perforado presentado en el modelo, como se ve reflejado en la Ilustración 36:

**Ilustración 36.** Gráfica para hallar el único valor de pérdida (Km) en el accesorio.



*Fuente.* Barbosa & Bustos, 2020.

Con el fin de presentar resultados en los cálculos que se desarrollan con la metodología presentada, se tomará un dato del aforo realizado para cada cheque, por lo cual para la perforación de  $\frac{1}{4}$ " se toman los datos indicados en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Toma número 1 para el cheque perforado de  $\frac{1}{4}$ ".

DATO	DIAMETRO DE PERFORACIÓN DE CHEQUE	INCLINACIÓN	TEMPERATURA DEL AGUA	PRESIÓN		MASA AFORO GRAVIMETRICO (Kg)	TIEMPO (Seg)
				PRESIÓN DE ENTRADA (PSI)	PRESIÓN DE SALIDA (PSI)		
1	$\frac{1}{4}$	0°	18	14,9	5,8	3	4,55
	$\frac{1}{4}$	0°	18,2				4,59
	$\frac{1}{4}$	0°	18,4				4,6
	$\frac{1}{4}$	0°	18,7				4,53
	$\frac{1}{4}$	0°	18,9				4,62

*Fuente.* (Barbosa & Bustos, 2020)

Con los datos propuestos se obtiene la diferencia de presión, lo cual se desarrolla de la siguiente manera:

$$\Delta p = (14,9 - 5,8) = 9,1 \text{ psi}$$

Se debe realizar una conversión de psi a Pa:

$$\Delta p = 9,1 \frac{lb}{in^2} * \frac{9,807 N}{2,2 lb} * \frac{(1 in)^2}{(0,0254 m)^2} = \mathbf{62876,36 \frac{N}{m^2}}$$

Luego, para hallar la diferencia de la carga de presión se debe dividir el valor anterior por el gamma del agua respecto a la temperatura presentada:

$$\frac{\Delta p}{\gamma} = H_m = \frac{62876,36 \frac{N}{m^2}}{9798 \frac{N}{m^3}} = \mathbf{6,417 m. c. a}$$

Por lo cual, la diferencia de carga de presión equivale al valor de la pérdida de energía (Hm) presentada entre el punto 1 y el punto 2 del tramo.

Asimismo, se debe calcular el volumen, para lo cual se obtuvo una masa de 3 kg y respecto a una temperatura de 18°C se indica la el valor de la densidad del agua el cual es  $998,80 \frac{kg}{m^3}$ :

$$V = \frac{3 kg}{998,80 \frac{kg}{m^3}} = \mathbf{0,0030036 m^3}$$

El cálculo respectivo debe realizarse para cada una de las temperaturas indicadas, entonces:

*para una temperatura de 18,2°C*

$$V = \frac{3 kg}{998,72 \frac{kg}{m^3}} = \mathbf{0,0030038 m^3}$$

*para una temperatura de 18,4°C*

$$V = \frac{3 kg}{998,64 \frac{kg}{m^3}} = \mathbf{0,0030040 m^3}$$

para una temperatura de 18,7°C

$$V = \frac{3 \text{ kg}}{998,52 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,0030044 \text{ m}^3$$

para una temperatura de 18,4°C

$$V = \frac{3 \text{ kg}}{998,44 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,0030047 \text{ m}^3$$

Con el valor del volumen obtenido, ahora se calcula el caudal en términos de magnitud, entonces:

$$Q_1 = \frac{V}{t} = \frac{0,0030036 \text{ m}^3}{4,55 \text{ seg}} = 0,00066 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$Q_2 = \frac{V}{t} = \frac{0,0030038 \text{ m}^3}{4,59 \text{ seg}} = 0,000654 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$Q_3 = \frac{V}{t} = \frac{0,0030040 \text{ m}^3}{4,60 \text{ seg}} = 0,000653 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$Q_4 = \frac{V}{t} = \frac{0,0030044 \text{ m}^3}{4,53 \text{ seg}} = 0,000663 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$Q_5 = \frac{V}{t} = \frac{0,0030047 \text{ m}^3}{4,62 \text{ seg}} = 0,00065 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

Respecto a los datos anteriores, se obtiene un caudal medio, por lo que:

$$Q_{\text{medio}} = \frac{(0,00066 + 0,000654 + 0,000653 + 0,000663 + 0,00065) \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}}{5}$$

$$Q_{medio} = 0,000656 \frac{m^3}{seg}$$

Al relacionar todos los datos anteriores en la ecuación que caracteriza el modelo, incluyendo el diámetro interno de la tubería de 1" el cual tiene como valor 0,03020 m con respecto a una relación diámetro – espesor de RDE 21, se obtiene el valor de Km:

$$K_m = \frac{H_m * d^4}{0,0827 * Q^2} = \frac{(6,417) * (0,03020)^4}{0,0827 * (0,00656)^2} = 149,878$$

Obteniendo los respectivos datos, se realiza la gráfica que representa el comportamiento de los datos, al agruparse y obtener una tendencia lineal, la función presentada indicará la pendiente el cual será el valor para Km encontrado para los cheques perforados de ¼" y ½".

A partir de lo ya descrito, se repite el procedimiento para los datos tomados en los aforos realizados como se ve desarrollado en la Tabla 6, donde se indican los resultados de la diferencia de presión respecto a cada dato registrado con respecto a la perforación de ¼" presentada en el cheque:

Tabla 6. Datos de presiones presentadas para el cheque perforado de ¼".

DATO	DIAMETRO DE PERFORACIÓN DE CHEQUE	INCLINACIÓN	TEMPERATURA DEL AGUA	PRESIÓN		Ap (PSI)	Ap (Pa)
				PRESIÓN DE ENTRADA (PSI)	PRESIÓN DE SALIDA (PSI)		
1	¼	0°	18	14,9	5,8	9,1	62876,369
	¼	0°	18,2				
	¼	0°	18,4				
	¼	0°	18,7				
	¼	0°	18,9				
2	¼	9°	18,7	14,7	5,8	8,9	61494,471
	¼	9°	18,9				
	¼	9°	19				
	¼	9°	19,2				
	¼	9°	19,2				
3	¼	18°	19	14,5	5,7	8,8	60803,522
	¼	18°	19				
	¼	18°	19,3				
	¼	18°	19,4				
	¼	18°	19,7				
4	¼	27°	19,4	14,1	5,7	8,4	58039,725
	¼	27°	19,6				
	¼	27°	19,7				
	¼	27°	19,9				
	¼	27°	19,9				
5	¼	36°	19,7	13,8	5,6	8,2	56657,827
	¼	36°	19,8				
	¼	36°	20				
	¼	36°	20,2				
	¼	36°	20,2				
6	¼	45°	19,9	11,7	5,6	6,1	42147,896
	¼	45°	20,1				
	¼	45°	20,3				
	¼	45°	20,3				
	¼	45°	20,4				
7	¼	54°	20,3	9,8	5,5	4,3	29710,812
	¼	54°	20,4				
	¼	54°	20,5				
	¼	54°	20,5				
	¼	54°	20,5				

Fuente. (Barbosa &amp; Bustos, 2020).

En la Tabla 7, se evidencian las pérdidas menores de energía presentadas en el accesorio para cada dato:

Tabla 7. Datos de pérdidas de energía para el cheque perforado de ¼".

DATO	DIAMETRO DE PERFORACIÓN DE CHEQUE	INCLINACIÓN	TEMPERATURA DEL AGUA	$\Delta p$ (Pa)	$\gamma \left( \frac{N}{m^3} \right)$	$Hm: \frac{P}{\gamma}$ (m.c.a)
1	¼	0°	18	62876,369	9798,00	6,4173
	¼	0°	18,2		9792,20	6,4211
	¼	0°	18,4		9796,40	6,4183
	¼	0°	18,7		9752,20	6,4474
	¼	0°	18,9		9794,40	6,4196
2	¼	9°	18,7	61494,471	9752,20	6,3057
	¼	9°	18,9		9794,40	6,2785
	¼	9°	19		9794,00	6,2788
	¼	9°	19,2		9793,20	6,2793
	¼	9°	19,2		9793,20	6,2793
3	¼	18°	19	60803,522	9794,00	6,2082
	¼	18°	19		9794,00	6,2082
	¼	18°	19,3		9792,80	6,2090
	¼	18°	19,4		9792,40	6,2093
	¼	18°	19,7		9791,20	6,2100
4	¼	27°	19,4	58039,725	9792,40	5,9270
	¼	27°	19,6		9791,60	5,9275
	¼	27°	19,7		9791,20	5,9277
	¼	27°	19,9		9790,40	5,9282
	¼	27°	19,9		9790,40	5,9282
5	¼	36°	19,7	56657,827	9791,20	5,7866
	¼	36°	19,8		9790,80	5,7868
	¼	36°	20		9790,00	5,7873
	¼	36°	20,2		9789,60	5,7876
	¼	36°	20,2		9789,60	5,7876
6	¼	45°	19,9	42147,896	9790,40	4,3050
	¼	45°	20,1		9788,00	4,3061
	¼	45°	20,3		9789,40	4,3055
	¼	45°	20,3		9789,40	4,3055
	¼	45°	20,4		9789,20	4,3056
7	¼	54°	20,3	29710,812	9789,40	3,0350
	¼	54°	20,4		9789,20	3,0351
	¼	54°	20,5		9789,00	3,0351
	¼	54°	20,5		9789,00	3,0351
	¼	54°	20,5		9789,00	3,0351

Fuente. (Barbosa & Bustos, 2020).

A partir de la masa registrada en el aforo desarrollado, y la densidad del fluido con respecto a la temperatura que se presenta en cada dato, se obtiene el volumen como se ve calculado en la Tabla 8:

Tabla 8. Volumen presentado en cada aforo para el cheque perforado de ¼".

DATO	DIAMETRO DE PERFORACIÓN DE CHEQUE	INCLINACIÓN	TEMPERATURA DEL AGUA	MASA AFORO GRAVIMETRICO (Kg)	TIEMPO (Seg)	PAGUA $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	¼	0°	18	3	4,55	998,80	0,00300360
	¼	0°	18,2		4,59	998,72	0,00300384
	¼	0°	18,4		4,6	998,64	0,00300409
	¼	0°	18,7		4,53	998,52	0,00300445
	¼	0°	18,9		4,62	998,44	0,00300469
2	¼	9°	18,7	3	4,67	998,52	0,00300445
	¼	9°	18,9		4,76	998,44	0,00300469
	¼	9°	19		4,8	998,40	0,00300481
	¼	9°	19,2		4,71	998,32	0,00300505
	¼	9°	19,2		4,74	998,32	0,00300505
3	¼	18°	19	3	4,8	998,40	0,00300481
	¼	18°	19		4,83	998,40	0,00300481
	¼	18°	19,3		4,78	998,28	0,00300517
	¼	18°	19,4		4,87	998,24	0,00300529
	¼	18°	19,7		4,91	998,12	0,00300565
4	¼	27°	19,4	3	5	998,24	0,00300529
	¼	27°	19,6		5,07	998,16	0,00300553
	¼	27°	19,7		4,98	998,12	0,00300565
	¼	27°	19,9		4,97	998,04	0,00300589
	¼	27°	19,9		5,03	998,04	0,00300589
5	¼	36°	19,7	3	5,12	998,12	0,00300565
	¼	36°	19,8		5,15	998,08	0,00300577
	¼	36°	20		5,3	998,00	0,00300601
	¼	36°	20,2		5,21	997,96	0,00300613
	¼	36°	20,2		5,29	997,96	0,00300613
6	¼	45°	19,9	3	5,51	998,04	0,00300589
	¼	45°	20,1		5,43	997,98	0,00300607
	¼	45°	20,3		5,39	997,94	0,00300619
	¼	45°	20,3		5,47	997,94	0,00300619
	¼	45°	20,4		5,36	997,92	0,00300625
7	¼	54°	20,3	3	5,56	997,94	0,00300619
	¼	54°	20,4		5,58	997,92	0,00300625
	¼	54°	20,5		5,7	997,90	0,00300631
	¼	54°	20,5		5,63	997,90	0,00300631
	¼	54°	20,5		5,68	997,90	0,00300631

Fuente. (Barbosa & Bustos, 2020).



En la Tabla 9, se hace referencia a los cálculos realizados para hallar el caudal que se presenta en el tramo analizado, el cual depende del tiempo de duración y el volumen, por lo cual:

Tabla 9. Caudal presentado para cada dato tomado el cheque perforado de ¼".

DATO	DIAMETRO DE PERFORACIÓN DE CHEQUE	INCLINACIÓN	TEMPERATURA DEL AGUA	TIEMPO (Seg)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Q ( $\frac{m^3}{s}$ )	Q <sub>promedio</sub> ( $\frac{m^3}{s}$ )
1	¼	0°	18	4,55	0,00300360	0,0006601	0,00065625
	¼	0°	18,2	4,59	0,00300384	0,0006544	
	¼	0°	18,4	4,6	0,00300409	0,0006531	
	¼	0°	18,7	4,53	0,00300445	0,0006632	
	¼	0°	18,9	4,62	0,00300469	0,0006504	
2	¼	9°	18,7	4,67	0,00300445	0,0006434	0,00063452
	¼	9°	18,9	4,76	0,00300469	0,0006312	
	¼	9°	19	4,8	0,00300481	0,0006260	
	¼	9°	19,2	4,71	0,00300505	0,0006380	
	¼	9°	19,2	4,74	0,00300505	0,0006340	
3	¼	18°	19	4,8	0,00300481	0,0006260	0,00062121
	¼	18°	19	4,83	0,00300481	0,0006221	
	¼	18°	19,3	4,78	0,00300517	0,0006287	
	¼	18°	19,4	4,87	0,00300529	0,0006171	
	¼	18°	19,7	4,91	0,00300565	0,0006121	
4	¼	27°	19,4	5	0,00300529	0,0006011	0,00059996
	¼	27°	19,6	5,07	0,00300553	0,0005928	
	¼	27°	19,7	4,98	0,00300565	0,0006035	
	¼	27°	19,9	4,97	0,00300589	0,0006048	
	¼	27°	19,9	5,03	0,00300589	0,0005976	
5	¼	36°	19,7	5,12	0,00300565	0,0005870	0,00057662
	¼	36°	19,8	5,15	0,00300577	0,0005836	
	¼	36°	20	5,3	0,00300601	0,0005672	
	¼	36°	20,2	5,21	0,00300613	0,0005770	
	¼	36°	20,2	5,29	0,00300613	0,0005683	
6	¼	45°	19,9	5,51	0,00300589	0,0005455	0,00055346
	¼	45°	20,1	5,43	0,00300607	0,0005536	
	¼	45°	20,3	5,39	0,00300619	0,0005577	
	¼	45°	20,3	5,47	0,00300619	0,0005496	
	¼	45°	20,4	5,36	0,00300625	0,0005609	
7	¼	54°	20,3	5,56	0,00300619	0,0005407	0,00053402
	¼	54°	20,4	5,58	0,00300625	0,0005388	
	¼	54°	20,5	5,7	0,00300631	0,0005274	
	¼	54°	20,5	5,63	0,00300631	0,0005340	
	¼	54°	20,5	5,68	0,00300631	0,0005293	

Fuente. (Barbosa & Bustos, 2020).

En la Tabla 10 se indica el valor encontrado Km para cada dato tomado, el cual comprende el análisis realizado respecto al funcionamiento del banco hidráulico y el comportamiento del flujo al generar una perforación de ¼” en el cheque utilizado:

Tabla 10. Valor de Km para cada dato tomado el cheque perforado de ¼”.

DATO	DIAMETRO DE PERFORACIÓN DE CHEQUE	INCLINACIÓN	TEMPERATURA DEL AGUA	TIEMPO (Seg)	$Q \left(\frac{m^3}{s}\right)$	$Q_{promedio} \left(\frac{m^3}{s}\right)$	Km	Km – promedio
1	¼	0°	18	4,55	0,0006601	0,00065625	149,8787	150,0532
	¼	0°	18,2	4,59	0,0006544		149,9675	
	¼	0°	18,4	4,6	0,0006531		149,9032	
	¼	0°	18,7	4,53	0,0006632		150,5826	
	¼	0°	18,9	4,62	0,0006504		149,9338	
2	¼	9°	18,7	4,67	0,0006434	0,00063452	157,5327	156,9986
	¼	9°	18,9	4,76	0,0006312		156,8539	
	¼	9°	19	4,8	0,0006260		156,8603	
	¼	9°	19,2	4,71	0,0006380		156,8731	
3	¼	9°	19,2	4,74	0,0006340	0,00062121	156,8731	161,8304
	¼	18°	19	4,8	0,0006260		161,8119	
	¼	18°	19	4,83	0,0006221		161,8119	
	¼	18°	19,3	4,78	0,0006287		161,8317	
	¼	18°	19,4	4,87	0,0006171		161,8383	
4	¼	18°	19,7	4,91	0,0006121	0,00059996	161,8582	165,6397
	¼	27°	19,4	5	0,0006011		165,6194	
	¼	27°	19,6	5,07	0,0005928		165,6330	
	¼	27°	19,7	4,98	0,0006035		165,6397	
	¼	27°	19,9	4,97	0,0006048		165,6533	
5	¼	27°	19,9	5,03	0,0005976	0,00057662	165,6533	175,0669
	¼	36°	19,7	5,12	0,0005870		175,0497	
	¼	36°	19,8	5,15	0,0005836		175,0569	
	¼	36°	20	5,3	0,0005672		175,0712	
	¼	36°	20,2	5,21	0,0005770		175,0783	
6	¼	36°	20,2	5,29	0,0005683	0,00055346	175,0783	141,3737
	¼	45°	19,9	5,51	0,0005455		141,3576	
	¼	45°	20,1	5,43	0,0005536		141,3922	
	¼	45°	20,3	5,39	0,0005577		141,3720	
	¼	45°	20,3	5,47	0,0005496		141,3720	
7	¼	45°	20,4	5,36	0,0005609	0,00053402	141,3749	107,0461
	¼	54°	20,3	5,56	0,0005407		107,0430	
	¼	54°	20,4	5,58	0,0005388		107,0452	
	¼	54°	20,5	5,7	0,0005274		107,0474	
	¼	54°	20,5	5,63	0,0005340		107,0474	
	¼	54°	20,5	5,68	0,0005293	107,0474		

Fuente. (Barbosa & Bustos, 2020).

Finalmente, retomando el concepto de la ecuación modelo, se realiza un gráfica donde el eje “x” comprende la expresión  $0,0827 * \frac{Q^2}{d^4}$  y el eje “y” comprende las pérdidas menores de energía que se presentan en el accesorio (Hm), los datos obtenidos se evidencian en la Tabla 11:

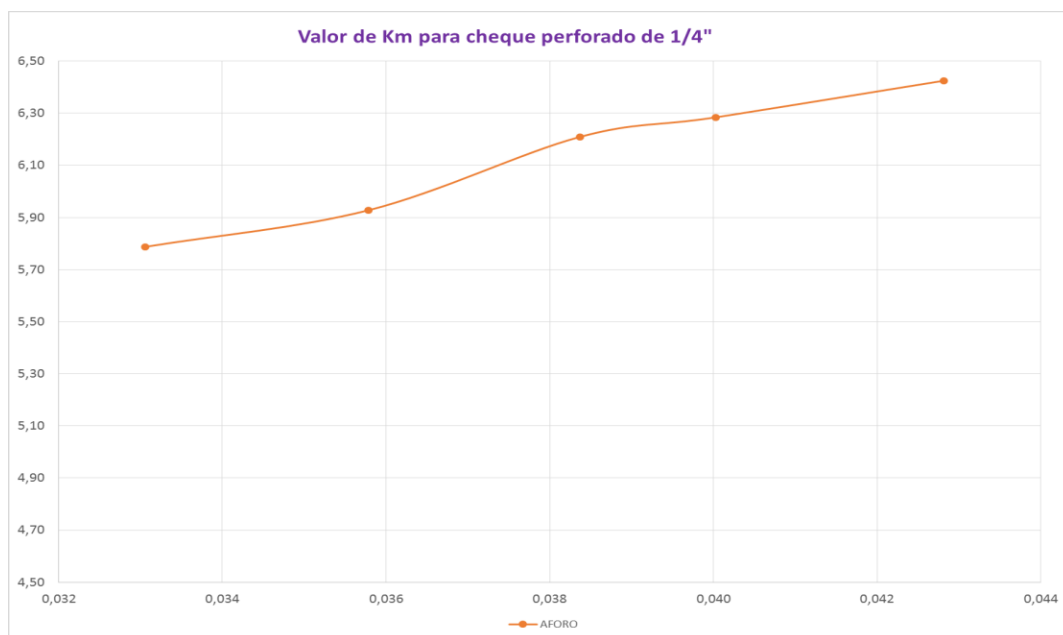
Tabla 11. Valores en eje (x) y en eje (y) para el cheque perforado de 1/4”.

X: $\left(0,0827 * \frac{Q^2}{d^4}\right)$	Y: (Hm)
0,0428164	6,4247
0,0400279	6,2843
0,0383670	6,2090
0,0357870	5,9277
0,0330569	5,7872
0,0304548	4,3055
0,0283531	3,0351

Fuente. (Barbosa & Bustos, 2020).

En la Ilustración 37 se representa gráficamente la relación de los datos experimentales obtenidos:

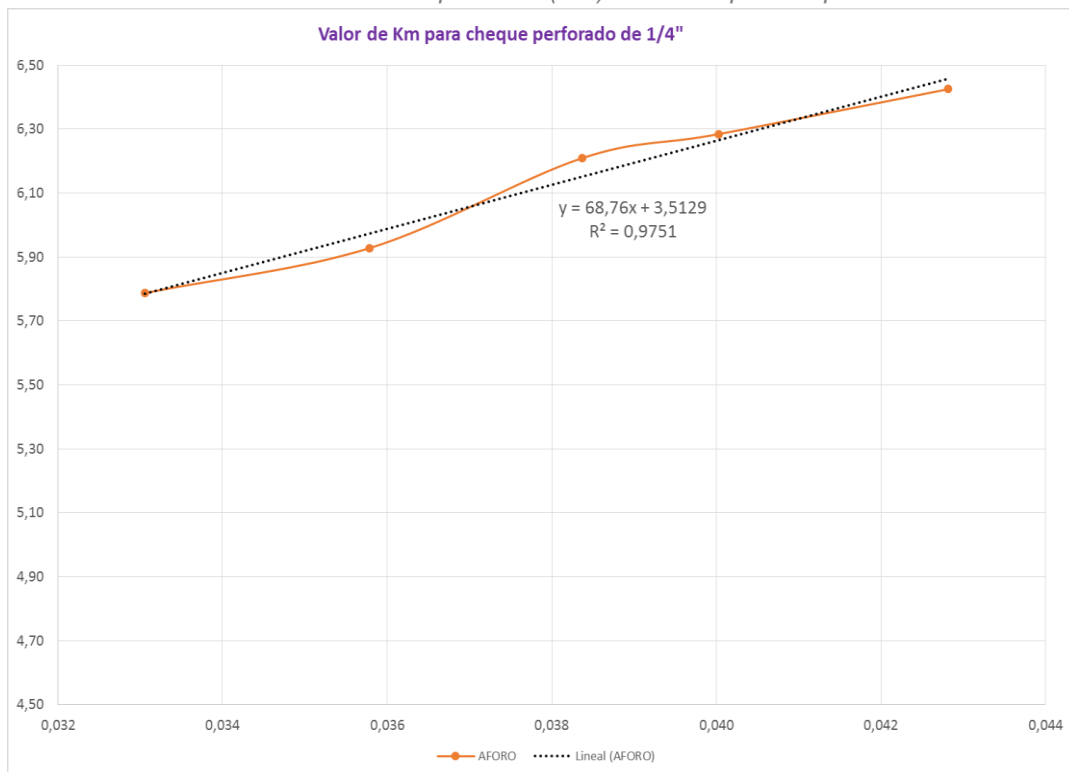
Ilustración 37. Valores encontrados en el desarrollo del aforo para el cheque con perforación 1/4”



. Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.

Al agregar una línea de tendencia para los datos realizados, se refleja la relación que se presenta para cada toma experimental, por lo cual la Ilustración 38 representa la pendiente respectiva para la curva en función del caudal de demanda y las pérdidas de energía en accesorios, se obtiene el valor único (Km) que se evidencia para el cheque con una perforación de ¼", el cual tiene un valor de **68,76**.

*Ilustración 38. Valor de pérdidas (Km) en el cheque con perforación de ¼".*



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

El procedimiento anterior presentado para los datos tomados en los aforos realizados se agrupa en la Tabla 12, donde se indican los resultados de la diferencia de presión con respecto a la perforación de ½" presentada en el cheque implementado:

Tabla 12. Datos de presiones presentadas para el cheque perforado de ½".

DATO	DIAMETRO DE PERFORACIÓN DE CHEQUE	INCLINACIÓN	TEMPERATURA DEL AGUA	PRESIÓN		$\Delta p$ (PSI)	$\Delta p$ (Pa)
				PRESIÓN DE ENTRADA (PSI)	PRESIÓN DE SALIDA (PSI)		
1	½	0°	18,3	4,5	1,6	2,9	20037,524
	½	0°	18,3				
	½	0°	18,4				
	½	0°	18,5				
	½	0°	18,7				
2	½	9°	18,6	4,4	1,5	2,9	20037,524
	½	9°	18,8				
	½	9°	18,9				
	½	9°	19,2				
	½	9°	19,4				
3	½	18°	19,3	4,4	1,4	3	20728,473
	½	18°	19,5				
	½	18°	19,5				
	½	18°	19,7				
	½	18°	19,9				
4	½	27°	19,7	4,3	1,4	2,9	20037,524
	½	27°	19,9				
	½	27°	20,2				
	½	27°	20,5				
	½	27°	20,5				
5	½	36°	20,4	4,3	1,4	2,9	20037,524
	½	36°	20,6				
	½	36°	20,7				
	½	36°	20,9				
	½	36°	21,1				
6	½	45°	20	4,2	1,3	2,9	20037,524
	½	45°	20,3				
	½	45°	20,5				
	½	45°	20,9				
	½	45°	21,2				
7	½	54°	21,1	4,1	1,3	2,8	19346,575
	½	54°	21,4				
	½	54°	21,7				
	½	54°	21,8				
	½	54°	22				
8	½	63°	21,9	2,7	1,2	1,5	10364,237
	½	63°	22,4				
	½	63°	22,7				
	½	63°	23,5				
	½	63°	23,8				

Fuente. (Barbosa &amp; Bustos, 2020).

En la Tabla 13, se evidencian las pérdidas menores de energía presentadas en el accesorio con respecto a cada dato tomado:

Tabla 13. Datos de pérdidas de energía presentadas para el cheque perforado de ½".

DATO	DIAMETRO DE PERFORACIÓN DE CHEQUE	INCLINACIÓN	TEMPERATURA DEL AGUA	$\Delta p$ (Pa)	$\gamma \left( \frac{N}{m^3} \right)$	$H_m: \frac{\Delta P}{\gamma}$ (m.c.a)	$H_{m-prom}(m.c.a)$
1	½	0°	18,3	20037,524	9796,80	2,0453	2,0472
		0°	18,3		9796,80	2,0453	
		0°	18,4		9796,40	2,0454	
		0°	18,5		9796,00	2,0455	
		0°	18,7		9752,20	2,0547	
2	½	9°	18,6	20037,524	9795,60	2,0456	2,0459
		9°	18,8		9794,80	2,0457	
		9°	18,9		9794,40	2,0458	
		9°	19,2		9793,20	2,0461	
		9°	19,4		9792,40	2,0462	
3	½	18°	19,3	20728,473	9792,80	2,1167	2,1169
		18°	19,5		9792,00	2,1169	
		18°	19,5		9792,00	2,1169	
		18°	19,7		9791,20	2,1171	
		18°	19,9		9790,40	2,1172	
4	½	27°	19,7	20037,524	9791,20	2,0465	2,0467
		27°	19,9		9790,40	2,0467	
		27°	19,9		9790,40	2,0467	
		27°	20,2		9789,60	2,0468	
		27°	20,5		9789,00	2,0469	
5	½	36°	20,4	20037,524	9789,20	2,0469	2,0470
		36°	20,6		9788,80	2,0470	
		36°	20,7		9788,60	2,0470	
		36°	20,9		9788,20	2,0471	
		36°	21,1		9787,80	2,0472	
6	½	45°	20	20037,524	9790,00	2,0467	2,0470
		45°	20,3		9789,40	2,0469	
		45°	20,5		9789,00	2,0469	
		45°	20,9		9788,20	2,0471	
		45°	21,2		9787,60	2,0472	
7	½	54°	21,1	19346,575	9787,80	1,9766	1,9768
		54°	21,4		9787,20	1,9767	
		54°	21,7		9786,60	1,9768	
		54°	21,8		9786,40	1,9769	
		54°	22		9786,00	1,9770	
8	½	63°	21,9	10364,237	9786,20	1,0591	1,0593
		63°	22,4		9785,20	1,0592	
		63°	22,7		9784,60	1,0592	
		63°	23,5		9783,00	1,0594	
		63°	23,8		9782,40	1,0595	

Fuente. (Barbosa & Bustos, 2020).

A partir de la masa registrada en el aforo desarrollado, y la densidad del fluido con respecto a la temperatura que se presenta en cada dato, se obtiene el volumen como se ve calculado en la Tabla 14:

Tabla 14. Volúmenes presentados en cada dato tomado para el cheque perforado de ½"

DATO	DIAMETRO DE PERFORACIÓN DE CHEQUE	INCLINACIÓN	TEMPERATURA DEL AGUA	MASA AFORO GRAVIMETRICO (Kg)	TIEMPO (Seg)	Ap (Pa)	$\rho_{AGUA} \left(\frac{kg}{m^3}\right)$	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	½	0°	18,3	3	4,4	20037,524	998,68	0,00300397
		0°	18,3		4,5		998,68	0,00300397
		0°	18,4		4,48		998,64	0,00300409
		0°	18,5		4,39		998,60	0,00300421
		0°	18,7		4,44		998,52	0,00300445
2	½	9°	18,6	3	4,61	20037,524	998,56	0,00300433
		9°	18,8		4,53		998,48	0,00300457
		9°	18,9		4,58		998,44	0,00300469
		9°	19,2		4,59		998,32	0,00300505
		9°	19,4		4,6		998,24	0,00300529
3	½	18°	19,3	3	4,65	20728,473	998,28	0,00300517
		18°	19,5		4,67		998,20	0,00300541
		18°	19,5		4,71		998,20	0,00300541
		18°	19,7		4,65		998,12	0,00300565
		18°	19,9		4,57		998,04	0,00300589
4	½	27°	19,7	3	4,8	20037,524	998,12	0,00300565
		27°	19,9		4,79		998,04	0,00300589
		27°	19,9		4,86		998,04	0,00300589
		27°	20,2		4,83		997,96	0,00300613
		27°	20,5		4,77		997,90	0,00300631
5	½	36°	20,4	3	5,01	20037,524	997,92	0,00300625
		36°	20,6		5,05		997,88	0,00300637
		36°	20,7		4,98		997,86	0,00300643
		36°	20,9		4,93		997,82	0,00300655
		36°	21,1		4,91		997,78	0,00300667
6	½	45°	20	3	5,2	20037,524	998,00	0,00300601
		45°	20,3		5,1		997,94	0,00300619
		45°	20,5		5,16		997,90	0,00300631
		45°	20,9		5,12		997,82	0,00300655
		45°	21,2		5,17		997,76	0,00300674
7	½	54°	21,1	3	5,67	19346,575	997,78	0,00300667
		54°	21,4		5,6		997,72	0,00300686
		54°	21,7		5,66		997,66	0,00300704
		54°	21,8		5,72		997,64	0,00300710
		54°	22		5,63		997,60	0,00300722
8	½	63°	21,9	3	9,11	10364,237	997,62	0,00300716
		63°	22,4		9,13		997,52	0,00300746
		63°	22,7		9,16		997,46	0,00300764
		63°	23,5		9,05		997,30	0,00300812
		63°	23,8		9,15		997,24	0,00300830

Fuente. (Barbosa & Bustos, 2020).

En la Tabla 15 se hace referencia a los cálculos realizados para hallar el caudal que se presenta en el tramo analizado, el cual depende del tiempo de duración y el volumen, por lo cual:

Tabla 15. Caudal presentado en cada dato tomado para el cheque perforado de ½".

DATO	DIAMETRO DE PERFORACIÓN DE CHEQUE	INCLINACIÓN	TEMPERATURA DEL AGUA	MASA AFORO GRAVIMETRICO (Kg)	TIEMPO (Seg)	$\rho_{AGUA} \left(\frac{kg}{m^3}\right)$	Volumen (m <sup>3</sup> )	$Q \left(\frac{m^3}{s}\right)$	$Q_{media} \left(\frac{m^3}{s}\right)$
1	½	0°	18,3	3	4,4	998,68	0,00300397	0,00068272	0,00067637
	½	0°	18,3		4,5	998,68	0,00300397	0,00066755	
	½	0°	18,4		4,48	998,64	0,00300409	0,00067055	
	½	0°	18,5		4,39	998,60	0,00300421	0,00068433	
	½	0°	18,7		4,44	998,52	0,00300445	0,00067668	
2	½	9°	18,6	3	4,61	998,56	0,00300433	0,00065170	0,00065580
	½	9°	18,8		4,52	998,48	0,00300457	0,00066216	
	½	9°	18,9		4,58	998,44	0,00300469	0,00065605	
	½	9°	19,2		4,59	998,32	0,00300505	0,00065469	
	½	9°	19,4		4,6	998,24	0,00300529	0,00065332	
3	½	18°	19,3	3	4,65	998,28	0,00300517	0,00064627	0,00064641
	½	18°	19,5		4,67	998,20	0,00300541	0,00064356	
	½	18°	19,5		4,71	998,20	0,00300541	0,00063809	
	½	18°	19,7		4,65	998,12	0,00300565	0,00064638	
	½	18°	19,9		4,57	998,04	0,00300589	0,00065774	
4	½	27°	19,7	3	4,8	998,12	0,00300565	0,00062618	0,00062497
	½	27°	19,9		4,79	998,04	0,00300589	0,00062753	
	½	27°	19,9		4,86	998,04	0,00300589	0,00061850	
	½	27°	20,2		4,83	997,96	0,00300613	0,00062239	
	½	27°	20,5		4,77	997,90	0,00300631	0,00063025	
5	½	36°	20,4	3	5,01	997,92	0,00300625	0,00060005	0,00060426
	½	36°	20,6		5,05	997,88	0,00300637	0,00059532	
	½	36°	20,7		4,98	997,86	0,00300643	0,00060370	
	½	36°	20,9		4,93	997,82	0,00300655	0,00060985	
	½	36°	21,1		4,91	997,78	0,00300667	0,00061236	
6	½	45°	20	3	5,2	998,00	0,00300601	0,00057808	0,00058379
	½	45°	20,3		5,1	997,94	0,00300619	0,00058945	
	½	45°	20,5		5,16	997,90	0,00300631	0,00058262	
	½	45°	20,9		5,12	997,82	0,00300655	0,00058722	
	½	45°	21,2		5,17	997,76	0,00300674	0,00058157	
7	½	54°	21,1	3	5,67	997,78	0,00300667	0,00053028	0,00053167
	½	54°	21,4		5,6	997,72	0,00300686	0,00053694	
	½	54°	21,7		5,66	997,66	0,00300704	0,00053128	
	½	54°	21,8		5,72	997,64	0,00300710	0,00052572	
	½	54°	22		5,63	997,60	0,00300722	0,00053414	
8	½	63°	21,9	3	9,11	997,62	0,00300716	0,00033009	0,00032980
	½	63°	22,4		9,13	997,52	0,00300746	0,00032940	
	½	63°	22,7		9,16	997,46	0,00300764	0,00032834	
	½	63°	23,5		9,05	997,30	0,00300812	0,00033239	
	½	63°	23,8		9,15	997,24	0,00300830	0,00032878	

Fuente. (Barbosa & Bustos, 2020).



La Tabla 16 indica el valor encontrado  $K_m$  para cada dato tomado, el cual comprende el análisis realizado respecto al funcionamiento del banco hidráulico y el comportamiento del flujo al generar una perforación de  $\frac{1}{2}$ " en el cheque utilizado:

Tabla 16. Valor de  $K_m$  para cada dato tomado el cheque perforado de  $\frac{1}{2}$ ".

DATO	DIAMETRO DE PERFORACIÓN DE CHEQUE	INCLINACIÓN	TEMPERATURA DEL AGUA	MASA AFORO GRAVIMETRICO (Kg)	TIEMPO (Seg)	$\rho_{AGUA} \left( \frac{kg}{m^3} \right)$	$Q_{medio} \left( \frac{m^3}{s} \right)$	$K_m$	$K_{m-promedio}$
1	$\frac{1}{2}$	0°	18,3	3	4,4	998,68	0,00067637	56,6880	56,7412
	$\frac{1}{2}$	0°	18,3		4,5	998,68		56,6880	
	$\frac{1}{2}$	0°	18,4		4,48	998,64		56,6903	
	$\frac{1}{2}$	0°	18,5		4,39	998,60		56,6926	
	$\frac{1}{2}$	0°	18,7		4,44	998,52		56,9472	
2	$\frac{1}{2}$	9°	18,6	3	4,61	998,56	0,00065580	60,3058	60,3151
	$\frac{1}{2}$	9°	18,8		4,53	998,48		60,3107	
	$\frac{1}{2}$	9°	18,9		4,58	998,44		60,3132	
	$\frac{1}{2}$	9°	19,2		4,59	998,32		60,3206	
	$\frac{1}{2}$	9°	19,4		4,6	998,24		60,3255	
3	$\frac{1}{2}$	18°	19,3	3	4,65	998,28	0,00064641	64,2304	64,2378
	$\frac{1}{2}$	18°	19,5		4,67	998,20		64,2357	
	$\frac{1}{2}$	18°	19,5		4,71	998,20		64,2357	
	$\frac{1}{2}$	18°	19,7		4,65	998,12		64,2409	
	$\frac{1}{2}$	18°	19,9		4,57	998,04		64,2462	
4	$\frac{1}{2}$	27°	19,7	3	4,8	998,12	0,00062497	66,4330	66,4404
	$\frac{1}{2}$	27°	19,9		4,79	998,04		66,4385	
	$\frac{1}{2}$	27°	19,9		4,86	998,04		66,4385	
	$\frac{1}{2}$	27°	20,2		4,83	997,96		66,4439	
	$\frac{1}{2}$	27°	20,5		4,77	997,90		66,4480	
5	$\frac{1}{2}$	36°	20,4	3	5,01	997,92	0,00060426	71,0803	71,0853
	$\frac{1}{2}$	36°	20,6		5,05	997,88		71,0832	
	$\frac{1}{2}$	36°	20,7		4,98	997,86		71,0847	
	$\frac{1}{2}$	36°	20,9		4,93	997,82		71,0876	
	$\frac{1}{2}$	36°	21,1		4,91	997,78		71,0905	
6	$\frac{1}{2}$	45°	20	3	5,2	998,00	0,00058379	76,1458	76,1548
	$\frac{1}{2}$	45°	20,3		5,1	997,94		76,1504	
	$\frac{1}{2}$	45°	20,5		5,16	997,90		76,1536	
	$\frac{1}{2}$	45°	20,9		5,12	997,82		76,1598	
	$\frac{1}{2}$	45°	21,2		5,17	997,76		76,1644	
7	$\frac{1}{2}$	54°	21,1	3	5,67	997,78	0,00053167	88,6601	88,6692
	$\frac{1}{2}$	54°	21,4		5,6	997,72		88,6655	
	$\frac{1}{2}$	54°	21,7		5,66	997,66		88,6710	
	$\frac{1}{2}$	54°	21,8		5,72	997,64		88,6728	
	$\frac{1}{2}$	54°	22		5,63	997,60		88,6764	
8	$\frac{1}{2}$	63°	21,9	3	9,11	997,62	0,00032980	123,4559	123,4801
	$\frac{1}{2}$	63°	22,4		9,13	997,52		123,4685	
	$\frac{1}{2}$	63°	22,7		9,16	997,46		123,4761	
	$\frac{1}{2}$	63°	23,5		9,05	997,30		123,4963	
	$\frac{1}{2}$	63°	23,8		9,15	997,24		123,5039	

Fuente. (Barbosa & Bustos, 2020).

Finalmente, retomando el concepto de la ecuación modelo, se realiza un gráfica donde el eje “x” comprende la expresión  $0,0827 * \frac{Q^2}{d^4}$  y el eje “y” comprende las pérdidas menores de energía que se presentan en el accesorio (Hm), los datos obtenidos se evidencian en la Tabla 17:

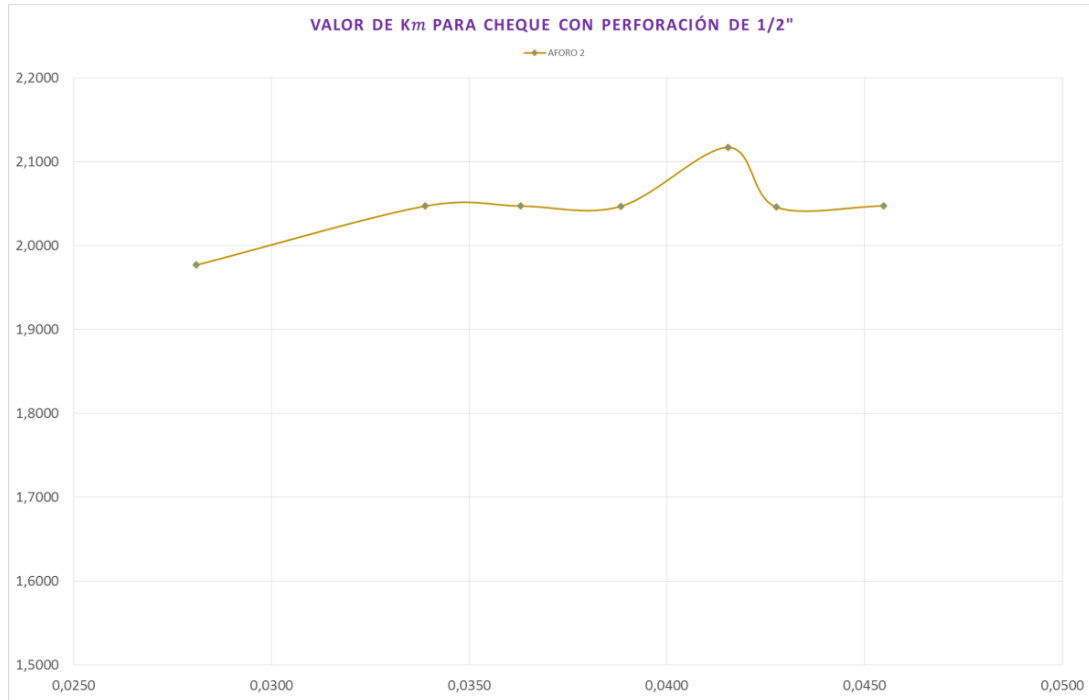
*Tabla 17. Valores en eje (x) y en eje (y) para el cheque perforado de ½".*

x: $\left(0,0827 * \frac{Q^2}{d^4}\right)$	y: (Hm)
0,0455	2,0472
0,0428	2,0459
0,0415	2,1169
0,0388	2,0467
0,0363	2,0470
0,0339	2,0470
0,0281	1,9768
0,0108	1,0593

*Fuente. (Barbosa & Bustos, 2020).*

En la Ilustración 39 se demuestra la gráfica que representa la relación de los datos experimentales obtenidos:

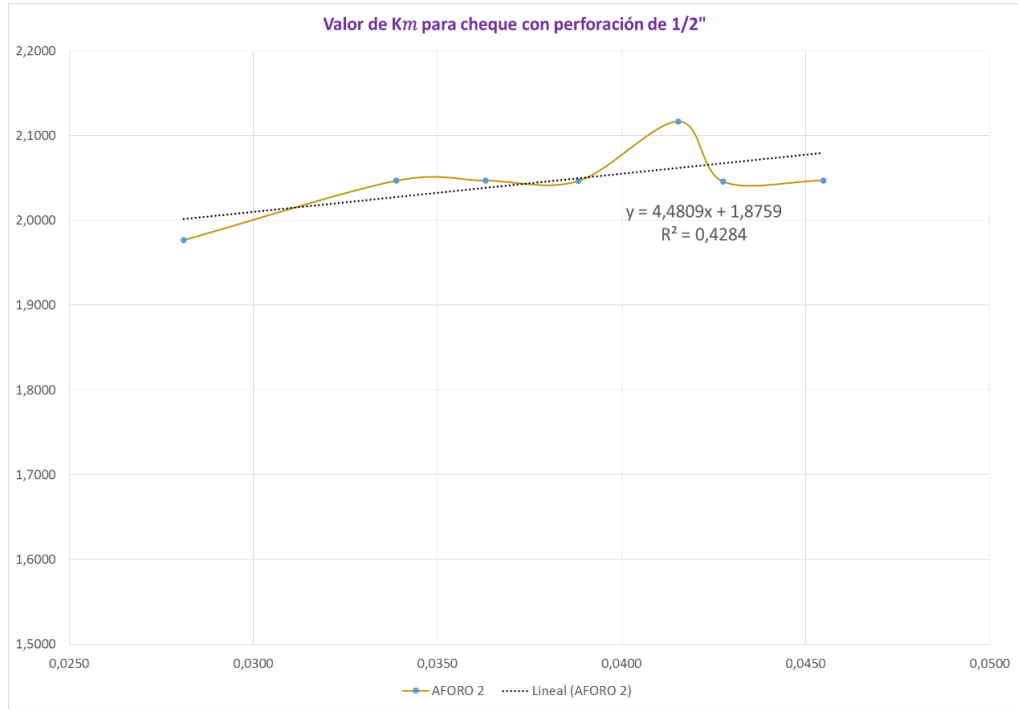
**Ilustración 39.** Valores encontrados en el desarrollo del aforo para el cheque con perforación  $\frac{1}{2}$ ".



*Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.*

Al agregar una línea de tendencia para los datos realizados, se refleja la relación que se presenta para cada toma experimental, por lo cual la pendiente de la curva en función del caudal de demanda y las pérdidas de energía en accesorios que se observa en la Ilustración 40 representa el valor único (Km) que se presenta para el cheque con una perforación de  $\frac{1}{4}$ ", el cual tiene un valor de 4,4809.

**Ilustración 40.** Valor de pérdidas (Km) en el cheque con perforación de 1/2".



Fuente. Barbosa & Bustos, 2020.

## DIFICULTADES PRESENTADAS

Durante el proceso constructivo y desarrollo del banco hidráulico se presentaron dificultades debido a la situación presentada por la pandemia mundial COVID – 19.

El banco hidráulico se retiró de la Universidad Católica de Colombia el día 22 de Febrero del año en curso, inmediatamente, fue llevado al taller de ornamentación para ser modificado estructuralmente, en este proceso se requirió de 20 días culminando el día 13 de marzo del año en curso, comprando en este mismo tiempo los accesorios y la bomba a instalar.

El día 18 de marzo se inició la instalación de los accesorios, por ende, las válvulas de cheque debían ser perforadas en un torno a diámetros de  $\frac{1}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ ", así que las válvulas fueron llevadas para ser modificadas el día 20 de marzo y dejadas en el taller; este mismo día inicio el simulacro de aislamiento preventivo a nivel Nacional, el cual finalizó el día lunes 23 de marzo del año en curso pero por orden del Gobierno se extendió permanentemente dando inicio a la cuarentena obligatoria.

El establecimiento que prestó el servicio del torno cerró sus puertas al público generando un agravio al no tener forma alguna de recuperar las válvulas, de igual manera el taller de ornamentación donde reposaba el banco de medidores también cerró sus puertas permanentemente.

Durante la semana del 23 al 31 de marzo se buscó la manera de obtener las válvulas perforadas y de trabajar en la instalación del montaje en el banco propuesto pero no fue posible, por lo que el cronograma asignado empezó a tener retrasos en las fechas programadas.

De manera cordial y amablemente se logró recuperar las válvulas perforadas el día lunes 6 de abril, dando inicio al montaje de accesorios el día 11 de abril, puesto que, el banco reposaba en el taller y el ornamentador brindo su consentimiento para poder trabajar a puerta cerrada en sus instalaciones.

El banco hidráulico quedó en funcionamiento el día 15 de abril, pero no fue posible su traslado a la Universidad Católica de Colombia debido a las restricciones de movilidad y a que las instituciones educativas, tanto colegios como universidades cerraron permanentemente por la situación presentada en el país.

Se presentó una ventaja con percances, puesto que, al tener el prototipo fuera de las instalaciones educativas se podían realizar los aforos y toma de datos para el desarrollo del proyecto, con lo que no se contaba fue que el dueño del taller de ornamentación no lo permitió, ya que se tenía que conectar la bomba, generando un consumo de energía elevado y al tener cerrado no obtenía ingresos.

El banco hidráulico fue trasladado el día 17 de abril a las instalaciones de uno de los familiares de los integrantes del proyecto de grado, los aforos se realizaron con tutoría y cuidado permanente del Ing. Juan Sebastián De Plaza Solórzano mediante video llamadas, desde el día lunes 20 de abril hasta el día lunes 27 de abril, así como la continua retroalimentación para el desarrollo del proyecto.

A la fecha, el banco propuesto no ha sido posible llevarlo a las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia hasta tanto la ley y el Gobierno Colombiano lo permitan.

## CONCLUSIONES

Se cumplió el objetivo de llevar a cabo la modificación y restauración del banco hidráulico, con el fin de estimar el comportamiento hidráulico en términos de pérdidas de energía y caudal en accesorios de control de flujo (válvulas de cheque tipo cortina implementando una perforación interna de  $\frac{1}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ ").

Se desarrolló el estudio experimental propuesto para hallar el coeficiente de pérdidas menores presentado en válvulas de cheque ( $K_m$ ) y mediante las perforaciones realizadas en su mecanismo interno ( $\frac{1}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ "), se evidenció la variación de presión que se presenta en el punto de entrada y en el punto de salida del tramo analizado, esto se realizó mediante un manual de operación diseñado para el banco hidráulico con el fin de obtener un manejo óptimo y garantizar que los datos obtenidos fueran confiables y coherentes.

Sin embargo, al generar la curva en función del caudal de demanda y las pérdidas de energía en accesorios, se corroboró que el valor real de las pérdidas encontradas para la válvula de cheque tipo cortina varían considerablemente en comparación a los datos que se brindan por diferentes textos investigativos, puesto que los datos brindados son generales, lo cual al no realizar un estudio experimental para este tipo de accesorios puede que se presenten errores al momento de diseñar un sistema hidráulico generando grandes costos de mantenimiento y presentándose ineficiencia en el mismo.

Con respecto al valor de pérdida de energía encontrado para el accesorio de



perforación de  $\frac{1}{4}$ " se encuentra un valor (Km) alto, por lo que se puede indicar que se presenta una alteración en la dirección de flujo ocasionando turbulencias, provocando con esto, una pérdida de energía mayor de la que normalmente ocurre, puesto que la pérdida de presión en el punto de salida es superior y este efecto puede generar un valor elevado.

## RECOMENDACIONES

- Al momento de utilizar algún tipo de accesorio para ser implementado en un sistema de distribución de agua es recomendable que los valores de pérdidas menores (Km), con respecto al tipo de accesorio, se diseñen mediante curvas de pérdidas de carga, las cuales deben ser proporcionadas por el fabricante, para estimar directamente el valor con respecto al caudal que va a circular.
- Para proporcionar un buen funcionamiento en los instrumentos de medida de presión, se debe realizar una revisión detallada con respecto a la calibración del manómetro, puesto que la lectura del punto de calibración debe decrecer hasta el punto cero, este procedimiento debe realizarse de 3 a 6 meses desde su instalación.
- El mantenimiento del banco hidráulico es importante para obtener datos confiables al momento de realizar los ensayos, por lo cual, se debe revisar periódicamente la estructura y los accesorios que lo conforman, también, se debe realizar limpieza en los tanques de almacenamiento de agua, revisar que no se presenten fugas en la estructura y generar limpieza en la tubería con el fin de eliminar cualquier obstrucción que afecte el paso del flujo.

## BIBLIOGRAFÍA

Ambiente, M., & Naturales, Y. L. O. S. R. (2011). *Informe del estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables 2011*.

Ariza, J. A. E., & Sánchez, J. A. Á. (2019). Diseño, construcción y puesta en marcha de banco de medidores.

*Universidad Católica de Colombia*, 6(1), 5–10.  
<https://doi.org/10.1109/MTAS.2004.1371634> Barbosa, K. A., & Bustos, O. J. (2020). *Propia*.

Chavez, D., Herazo, S., Mercado, D., Palencia, J., & Vargas, H. (2012). Determinación De Las Pérdidas De Energía En Tuberías Por Fricción Y Accesorios. *Vitae, Revista De La Facultad De Química Farmacéutica*, 1–20. Retrieved from [http://www.academia.edu/5184043/Determinación\\_de\\_las\\_pérdidas\\_de\\_energía\\_en\\_tuberías\\_por\\_fricción\\_y\\_accesorios](http://www.academia.edu/5184043/Determinación_de_las_pérdidas_de_energía_en_tuberías_por_fricción_y_accesorios).

Cia, H. y. (2011). *Conval, Distribuidor mayorista de materiales para construcción*. Retrieved from <http://www.coval.com.co/>.

Gerätebau, G. (2015). *Hidráulica para ingenieros civiles 4*.

Guevara. M. E. (1986). Flujo a Presión. Popayán: Universidad del Cauca Hernández, I. B. (2014). Pérdidas de energía en cruces de tuberías. *Universidad Nacional Autónoma de México*.

Kenneth, W. J., & Donald, R. (2014). *Termodinámica, sexta edición*, 1–535.

Leopoldo, J. G., & Andreau, R. (1994). *Hidráulica aplicada. Presión hidrostática. Principios de conservación de la masa y la energía. Perdidas de carga: medición y estimación mediante modelos matemáticos*. 368. Medición y Verificación en la Gestión de Proyectos de Eficiencia Energética. (2020). Retrieved from <https://www.edibon.com/es/equipment/hydraulics-bench>.

Monroy, M. (2010). Medidores De Flujo En Canales Abiertos. *Biblioteca.Usac.Edu.Gt*, 1–119.

Ramirez, O. (2017). Diseño y construcción de banco hidráulico para determinar las pérdidas de energía en tuberías CPVC. *Universidad Católica de Colombia*, 14(7), 450. <https://doi.org/10.1177/0309133309346882>.

Rivera, L., Parra, M., Peña, L., & Varela, C. (2017). Teoría de flujo en válvulas y accesorios. *Psychology Applied to Work: An Introduction to Industrial and Organizational Psychology*, Tenth Edition Paul, 53(9), 1689–1699.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

Robert L. Mott. (1996). *Mecanica de fluidos aplicada*.

Rocha, A. F. (2007). Hidraulica De Tuberias Y Canales. *Susferrinmaquinas.Com.Ar*, 530.

Russi, D. I. R. (2015). Determinación experimental del coeficiente de pérdidas menores y el comportamiento hidráulico de diferentes válvulas tipo cheque usadas en sistemas internos de distribución de agua potable. *International Journal of Soil Science*, 10(1), 1–14. <https://doi.org/10.3923/ijss.2017.32.38>

Salinas, S. D. (2018). Estudio de la caída de presión a través de una válvula de bola al generar variaciones en el ángulo de apertura y en el caudal de flujo, mediante el uso del software de ingeniería ANSYS. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 2, 227–249. Instrumentación Industrial Mánómetros. (2019). [https://blog.satelimportadores.com/instrumentacion\\_industrial/manometros/](https://blog.satelimportadores.com/instrumentacion_industrial/manometros/).

Salvador, C., & García, G. (2012). *Válvulas Comerciales De Distinto Material*.

Shin, S. M., Kim, D. S., & Kang, H. G. (2018). Power-operated check valve in abnormal situations. *Nuclear Engineering and Design*, 330, 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2018.01.017>

Vam Industry. (2016). *Tuberías, válvulas y accesorios*. 50.

Villaflor, G., Morales, G., Velasco, J., Significant Variables in the Combustion Process of Natural Gas (2011), Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ingeniería, CIUNSa, Instituto de Beneficio de Minerales (INBEMI), Instituto de Investigaciones.

# ANEXO 1

**ESTRUCTURA ACTUAL DEL PROYECTO**

**PLANTA**

**FRONTAL**

**ESTADO ACTUAL**

**ESPECIFICACIONES DE BOMBA**

Parámetro	Valor
Flujo	100 l/min
Altura manométrica	10 m
Consumo eléctrico	100 W
Material	Acero inoxidable
Presión de trabajo	10 bar
Temperatura de operación	0 a 40 °C
Medida de protección de energía	Medida de protección de energía

**CONVENCIÓN**

- ACTUAL
- NUEVO
- MODIFICADO

**ESTRUCTURA HIDRÁULICA ACTUAL DEL PROYECTO**

**ESCALA: 1:20**  
**DIMENSIONES EN METROS**

UNIVERSIDAD DE COLOMBIA

Facultad de Ingeniería

**U CATÓLICA**

Programa de Ingeniería en Mecánica

Proyecto de Ingeniería

Nombre del Proyecto: ...

Nombre del Estudiante: ...

Fecha: ...

Escuela: ...

Curso: ...

Nombre del Profesor: ...

Nombre del Asesor: ...

Nombre del Supervisor: ...

PLANO 01 DE 01



## ANEXO 3

Tabla 21. Peso específico del agua a diferentes temperaturas.

TEMPERATURA (°C)	PESO ESPECIFICO DEL AGUA ( $\frac{N}{m^3}$ )
18	9798,0
18,2	9797,2
18,3	9796,8
18,4	9796,4
18,5	9796,0
18,6	9795,6
18,7	9795,2
18,8	9794,8
18,9	9794,4
19	9794,0
19,2	9793,2
19,3	9792,8
19,4	9792,4
19,5	9792,0
19,6	9791,6
19,7	9791,2
19,8	9790,8
19,9	9790,4
20	9790,0
20,1	9788,0
20,2	9789,6
20,3	9789,4
20,4	9789,2
20,5	9789,0
20,6	9788,8
20,7	9788,6
20,9	9788,2
21,1	9787,8
21,2	9787,6
21,4	9787,2
21,7	9786,6
21,8	9786,4
21,9	9786,2
22	9786,0
22,4	9785,2
22,7	9784,6
23,5	9783,0
23,8	9782,4

## ANEXO 4

Tabla 22. Densidad del agua a diferentes temperaturas.

TEMPERATURA (°C)	DENSIDAD DEL AGUA $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$
18	998,80
18,2	998,72
18,3	998,68
18,4	998,64
18,5	998,60
18,6	998,56
18,7	998,52
18,8	998,48
18,9	998,44
19	998,40
19,2	998,32
19,3	998,28
19,4	998,24
19,5	998,20
19,6	998,16
19,7	998,12
19,8	998,08
19,9	998,04
20	998,00
20,1	997,98
20,2	997,96
20,3	997,94
20,4	997,92
20,5	997,90
20,6	997,88
20,7	997,86
20,9	997,82
21,1	997,78
21,2	997,76
21,4	997,72
21,7	997,66
21,8	997,64
21,9	997,62
22	997,60
22,4	997,52
22,7	997,46
23,5	997,30
23,8	997,24



## ANEXO 5



## Tuberías Presión PAVCO WAVIN

**RDE 9 PVC**

Presión de Trabajo a 23°C: 500 PSI

**RDE 11 PVC**

Presión de Trabajo a 23°C: 400 PSI

**RDE 13.5 PVC**

Presión de Trabajo a 23°C: 315 PSI

**RDE 21 PVC**

Presión de Trabajo a 23°C: 200 PSI

**RDE 26 PVC**

Presión de Trabajo a 23°C: 160 PSI

**RDE 32.5 PVC**

Presión de Trabajo a 23°C: 125 PSI

**RDE 41 PVC**

Presión de Trabajo a 23°C: 100 PSI

Diámetro Nominal		Referencia	Peso	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo		Diámetro Interior Promedio
mm	puig.			mm	puig.	mm	puig.	
21	1/2	2900266	218	21.34	0.84	2.37	0.09	16.60
26	3/4	2900210	304	26.67	1.05	2.43	0.09	21.81
21	1/2	2902449	157	21.34	0.84	1.58	0.06	18.18
33	1	2900213	364	33.40	1.31	2.46	0.09	28.48
26	3/4	2900237	189	26.7	1.05	1.52	0.06	23.63
33	1	2900220	252	33.4	1.31	1.60	0.06	30.20
42	1.1/4	2900225	395	42.2	1.66	2.01	0.08	38.14
48	1.1/2	2902450	514	48.3	1.90	2.29	0.09	43.68
60	2	2902453	811	60.3	2.37	2.87	0.11	54.58
73	2.1/2	2900230	1185	73.0	2.87	3.48	0.14	66.07
88	3	2900233	1761	88.9	3.50	4.24	0.17	80.42
114	4	2900240	2904	114.3	4.50	5.44	0.21	103.42
168	6	2904616	5835	168.3	6.62	8.03	0.32	152.22
60	2	2900246	655	60.3	2.37	2.31	0.09	55.70
73	2.1/2	2900248	964	73.0	2.87	2.79	0.11	67.45
88	3	2900251	1438	88.9	3.50	3.43	0.13	82.04
114	4	2900254	2376	114.3	4.50	4.39	0.17	105.52
168	6	2904617	4759	168.3	6.62	6.48	0.25	155.32
88	3	2900256	1157	88.9	3.50	2.74	0.11	83.42
114	4	2900258	1904	114.3	4.50	3.51	0.14	107.28
114	4	2900261	1535	114.3	4.50	2.79	0.11	108.72

## ANEXO 6



# BOMBAS PERIFERICAS

## BE 1 5-1 HF / BE 1 10-1 HF

Modelo	Ref.	Potencia (HP)	Voltaje (v)	Amperaje (+Fas)	H max. (mca) *	D max (GPM) **	Succión	Descarga	Peso (Kg)
BE 1 5-1 HF	E0280	0.5	110/220	4.9	35	8	1"	1"	4.9
BE 1 10-1 HF	E0326	1.0	110/220	10.0	55	10	1"	1"	9.3

\* La altura (H) máxima se logra con la válvula totalmente cerrada. (mca= metros columna de agua).

\*\* El caudal (Q) máximo se logra con la válvula totalmente abierta. (gpm= galones por minuto).

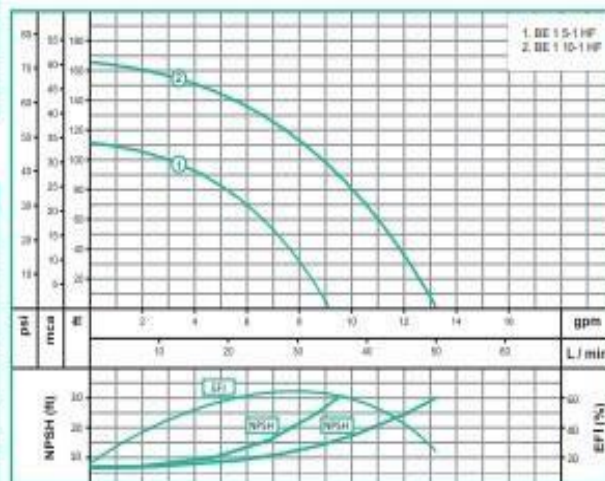


Materiales	
Cuerpo	Hierro fundido ASTM A-48, Clase 30
Impulsor	Bronce
Sello mecánico	Carbón/Cerámica/Buna-N
Acople intermedio	Hierro fundido ASTM A-48, Clase 30
Empaques	Buna Nitrilo

Características de la bomba	
Tipo de bomba	Centrifuga
Tipo de acoplamiento	Monobloque
Succión	1" NPT
Descarga	1" NPT
Tipo de impulsor	Abierto <small>Balancado dinámicamente según ISO G6.3</small>
Cantidad de impulsores	1
Tipo de sello	Sello mecánico 5/8" TIPO 6
Temperatura Max. Líquido	104° F (40° C) Continua

Características del Motor	
Tipo	Eléctrico
Potencia	0.5 o 1.0 (Según modelo)
Diseño	N/A
Velocidad	3.450 RPM (nominal)
Aislamiento	Clase B
Voltaje	110/220
Factor de servicio	1.0
Frecuencia	60Hz
Fases	1

Aplicaciones	
•	Aprovisionamiento de aguas limpias
•	Recirculación de agua en torres de enfriamiento
•	Refrigeración de maquinaria/Circuitos de recirculación
•	Sistemas de Presión
•	Equipos contraincendio
•	Plantas de tratamiento
•	Riego por goteo



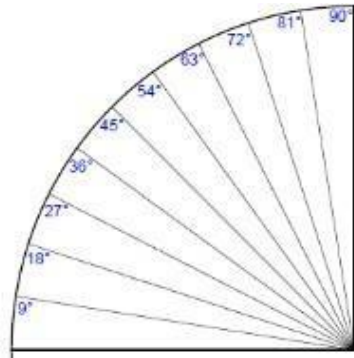
## MANUAL DE OPERACIÓN BANCO HIDRÁULICO - AFOROS DE CAUDAL

A continuación, se realiza una descripción sobre el paso a paso para la correcta operación del banco hidráulico al realizar aforos de caudal y desarrollar las pruebas de la pérdida de presión de agua al paso por una válvula de cheque perforada a diferentes diámetros  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{2}$ .

1. Encender la balanza digital.
2. Llenar y verificar el nivel de agua en el tanque 1 de almacenamiento, se recomienda llenar casi a tope del tanque. Tener presente que hay un fluido en exceso de 4.20 Kg en el fondo del tanque partir de allí establecer la balanza en 0.0 Kg y llenar el tanque.
3. Tener todo el sistema cerrado tanto los medidores como las líneas de las válvulas de cheque a aforar.
4. Abrir completamente la válvula de retorno, la cual llena el tanque 2.
5. Conectar línea eléctrica de la bomba a la toma y se debe abrir totalmente las válvulas de entrada y de salida del primer cheque a aforar.
6. Esperar en tiempo máximo de 3 minutos mientras la bomba se estabiliza puesto que al inicio tiene variaciones en su potencia.
7. Tomar la temperatura del agua en el tanque de almacenamiento y registrar la lectura.

8. Seguir la guía de cierre gradual de la válvula de entrada de línea de aforo escogida los cuales son:

- 0°
- 9°
- 18°
- 27°
- 36°
- 45°
- 54°
- 63°
- 72°



9. Tomar la presión de entrada y la presión de salida en los manómetros de la línea de aforo; registrar la lectura, ir cerrando la válvula de entrada gradualmente según el círculo radial presentado anteriormente.
10. Posteriormente cerrar la válvula de retorno que llena el tanque 2 tomar el tiempo en que se demora en llenar el tanque 1 con un cronómetro, midiendo una masa de 3 o 5 Kg. Registrar datos tales como tiempo y masa.
11. Abrir completamente la válvula PP1 que se encuentran en el extremo superior derecho del banco hasta que comience a fluir agua por la manguera.

Repetir este proceso de 5 a 10 veces en cada línea de aforo gradual propuesta según el círculo radial.

Registrados los datos anteriormente mencionados, se procede a modificar la presión de entrada cerrando la válvula gradualmente siguiendo la guía del círculo radial y tomar de

nuevo los datos requeridos.

Repetir el proceso con las dos líneas de aforos de caudal.

### **Consideraciones**

- Nunca prender la bomba con el tanque vacío.
- Entre más datos se tomen la gráfica nos arroja un dato más exacto.
- En el momento de realizar los aforos se evidencio que para la línea de aforo de  $\frac{1}{4}$ , se logra tomar datos hasta un cierre gradual de  $54^\circ$  se recomienda instalar un manómetro de 20 PSI para tomar más datos con un mayor cierre gradual.
- En el momento de realizar los aforos se evidencio que para la línea de aforo de  $\frac{1}{2}$ , se logra tomar datos hasta un cierre gradual de  $63^\circ$  se recomienda instalar un manómetro de 20 PSI para tomar más datos con un mayor cierre gradual.
- Tomar los datos de manera exacta.
- A medida que se realiza el cierre gradual de la válvula de entrada la bomba trabaja con más esfuerzo incrementando la temperatura del agua.

