



### **TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO**

Cálculo de las pérdidas de carga de un sistema de redes hidráulicas en una planta de tratamiento de agua industrial en Barrancabermeja, Santander

### **AUTORES**

Andrés León Naranjo 1.096.192.334

Jefferson Andrés Pertuz Bayona 1.096.229.141

Jefferson Lizarazo Rey 1.098.745.475

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS**  
**TECNOLOGIA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO**  
**BARRACABERMEJA**

**FECHA DE PRESENTACIÓN: 06-10-2019**



## **TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO**

Cálculo de las pérdidas de carga de un sistema de redes hidráulicas en una planta de tratamiento de agua industrial en Barrancabermeja, Santander

## **AUTORES**

Andrés León Naranjo  
Jefferson Andrés Pertuz Bayona  
Jefferson Lizarazo Rey

**Trabajo de Grado para optar al título de**  
Tecnólogo en operación y mantenimiento electromecánico

## **DIRECTOR**

Leidys Marleyn Rodriguez Castro

## **GRUPO DE INVESTIGACIÓN – DIANOIA**

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS**  
**TECNOLOGIA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO**  
**BARRACABERMEJA**

**FECHA DE PRESENTACIÓN: 06-10-2019**

Nota de Aceptación


---

---

---

---

---

  
Firma del jurado

---

Firma del Jurado

## DEDICATORIA

Este proyecto es dedicado a Dios quien ha sido mi guía y mi mayor respaldo durante este proceso, quien me ha permitido capacitarme para afrontar un futuro lleno de retos y metas por alcanzar, a cada uno de mis familiares y amigos quienes a lo largo de este proceso no cesaron de brindarme sus voces de aliento cuando sentía desfallecer, y a todas aquellas personas que hicieron posible dar por culminada esta etapa de mi vida.

**JEFFERSON LIZARAZO REY**

## AGRADECIMIENTOS

A mi Dios y su santa madre por ser compositores y directores de esta experiencia. Al Alma Mater que me brindo la dicha de pertenecer a uno de sus programas de formación tecnológica, y hoy podemos decir orgullosamente somos egresados de las Unidades Tecnológicas de Santander de la Facultad de Ciencias Naturales e ingeniería.

Al cuerpo de docentes de la formación de tecnólogo en operación y mantenimiento electromecánico por ser forjadores de conocimientos pero siempre con gran sentido de humanidad muy particularmente agradecemos a la ingeniera Leidys Marley Rodríguez Castro por su colosal conocimiento y atinada dirección, por no escatimar ayuda para ponerle punto final a este proceso, también al docente Marcos Duarte a través de sus acertados consejos y cambios constructivos al proceso. Pero sobre todo mil Gracias por favorecernos siempre a lo largo del trayecto de esta tarea anhelada que parecía no tener fin.

A todos nuestros familiares infinitos agradecimientos que han sido voces de aliento en este logro cumplido a todos, muchas gracias por mostrarse siempre sorprendentemente fieles de nuestras alegrías, tristezas, aciertos y desaciertos Finalmente agradecemos a todas las personas que fueron voces de aliento para la culminación de este proceso, les reitero mi sincera gratitud.

Por Andrés León Naranjo

## TABLA DE CONTENIDO

<b><u>RESUMEN EJECUTIVO .....</u></b>	<b><u>10</u></b>
<b><u>INTRODUCCIÓN .....</u></b>	<b><u>11</u></b>
<b><u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....</u></b>	<b><u>12</u></b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	12
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	14
1.3. OBJETIVOS .....	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES .....	16
<b><u>2. MARCOS REFERENCIALES .....</u></b>	<b><u>24</u></b>
2.1. MARCO TEÓRICO .....	24
2.1.1. PRINCIPIO DE BERNOULLI .....	24
2.1.2. LAS INVESTIGACIONES DE OSBORNE REYNOLDS.....	25
2.1.3. RELACIÓN ENTRE LA PERDIDA DE PRESIÓN Y LA VELOCIDAD DE FLUJO.....	26
2.1.4. FÓRMULA DE DARCY ECUACIÓN GENERAL DEL FLUJO DE FLUIDOS.....	27
2.2. MARCO HISTÓRICO.....	30
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	34
<b><u>3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....</u></b>	<b><u>37</u></b>
<b>3.1. DETERMINAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA A TRAVÉS DE LOS DIFERENTES ACCESORIOS INSTALADOS EN EL SISTEMA DE REDES HIDRÁULICAS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA INDUSTRIAL.</b>	<b>37</b>

<b>3.2. EVALUAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN LAS TUBERÍAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS DE CONSERVACIÓN DE ENERGÍA Y EL TEOREMA DE BERNOULLI. ....</b>	<b>41</b>
3.2.1. PERDIDAS DE CARGA LINEALES (TUBERÍA): .....	42
3.2.2. PERDIDAS DE CARGA SINGULARES.....	43
<b>3.3. REALIZAR UN INFORME FINAL DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS, QUE PERMITA IDENTIFICAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA DE UN SISTEMA DE REDES HIDRÁULICAS.....</b>	<b>45</b>
<b><u>4. RESULTADOS.....</u></b>	<b><u>46</u></b>
<b><u>5. CONCLUSIONES.....</u></b>	<b><u>49</u></b>
<b><u>6. RECOMENDACIONES .....</u></b>	<b><u>50</u></b>
<b><u>7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</u></b>	<b><u>51</u></b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 Perdidas de cargas lineales (Tuberia) .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 2 Perdidas de carga singulares (Valvulas) .....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 3 Perdidas de carga singulares (Accesorios) .....</b>	<b>45</b>



**LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b> Nomenclatura de los materiales.....	37
<b>Tabla 2</b> Información suministrada .....	37
<b>Tabla 3</b> Nomenclatura de válvulas .....	38
<b>Tabla 4</b> Listado de válvulas.....	39
<b>Tabla 5</b> Accesorios .....	41
<b>Tabla 6</b> Valores de diseño de la rugosidad de tubos .....	42
<b>Tabla 7</b> Factor de fricción en la zona de turbulencia completa para tubería de acero comercial , nueva y limpia. ....	43
<b>Tabla 8</b> Resultados de perdidas lineales del sistema .....	46
<b>Tabla 9</b> Resultados de perdidas singulares del sistema (válvulas).....	47
<b>Tabla 10</b> Resultados de perdidas singulares del sistema (accesorios).....	48

## RESUMEN EJECUTIVO

En este proyecto se va a analizar un sistema de redes hidráulicas de una planta de tratamiento de aguas residuales a través del uso de fórmulas matemáticas. El análisis parte inicialmente de la recopilación de datos como diámetro de la tubería, caudal, temperatura, longitud de tubería, etc., con el propósito de determinar las pérdidas de carga del sistema.

Este proyecto investigativo determinara las pérdidas de carga utilizando los principios de conservación de energía y el teorema de Bernoulli, los cuales serán formulados en una hoja de Excel con el propósito de obtener el resultado de las perdidas mayores y menores del sistema

**PALABRAS CLAVE** : Perdidas de carga, caudal, diámetro tubería, temperatura, teorema de Bernoulli.

## INTRODUCCIÓN

Las pérdidas de carga ( $\Delta H$ ) es la altura que se pierde por los rozamientos que ofrecen al paso del líquido las tuberías, válvulas, filtros, curvas y otros accesorios. Teniendo en cuenta las clases de tuberías y modo de transporte se puede tener pérdidas de carga por el material transportado y el mantenimiento de tuberías, presión de carga y diámetro de la misma debido a la presencia de fenómenos locales originados por cambios en la alineación de la tubería, por cambios en la sección de la tubería, por la presencia de emboques y desemboques y por la presencia de elementos que puedan obstaculizar o alterar las condiciones del flujo, como es el caso de válvulas o derivaciones (Pérdidas localizadas). (Gutierrez L., 2007 - 2008)

Las pérdidas debidas a la instalación y desgaste de las tuberías son conocidas con el nombre de pérdidas reales o técnicas, y son las pérdidas físicas de agua, pues las otras son debidas a problemas en la medición o gestión del sistema. Cuando una tubería es sometida a altas presiones en la red (Montoya & Montoya, 2012)

En este proyecto determinaremos las pérdidas de carga que tiene un sistema de redes hidráulicas de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante un software que se desarrollara.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia muchas empresas no cuentan con el personal capacitado para calcular las pérdidas de carga de un sistema de redes hidráulicas que le permita conocer si la bomba instalada es eficiente. La variedad de esas aplicaciones de la hidráulica y de la mecánica de fluidos es tan grande, que cualquier ingeniero ha sentido la necesidad de familiarizarse por lo menos con las leyes elementales del flujo de fluidos para satisfacer la necesidad de un tratado simple y práctico sobre flujo de fluidos en tuberías, Crane Co. Publicó una edición revisada sobre el flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías en 1942.

En la Provincia de Barcelona, la empresa (Pirobloc & 2019) calculó la pérdida de carga en un circuito de fluido térmico, que les permitió diseñar el diámetro de las tuberías de forma correcta para que cada aparato consumidor reciba el caudal requerido para su proceso productivo. De igual manera la Universidad experimental Pedagógica Libertador Instituto Pedagógico de Barquisimeto & 2014, se calcularon las pérdidas por accesorios, para luego proceder a calcular el volumen óptimo del bombeo requerido y finalmente se eligió el modelo de bomba disponible en el mercado. Actualmente en Colombia están mejorando en capacitar a los estudiantes como en la (Universidad Católica de Colombia & 2017) los estudiantes Diseñaron y construyeron un banco hidráulico con tuberías CPVC de diámetros estandarizados que permita realizar prácticas de pérdidas de carga en el laboratorio.

Actualmente no se cuenta con los cálculos necesarios para determinar las pérdidas de carga del sistema de redes hidráulicas en la planta de tratamiento de agua residuales, lo cual podría generar un aumento excesivo o un déficit en la presión o fallas del fluido por lo cual generaría una deficiencia del sistema, del caudal y en la

velocidad. Esta problemática nos genera la siguiente pregunta ¿Cómo determinar las pérdidas de carga en un sistema de redes hidráulicas de una planta de tratamiento de aguas industriales?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

En el siguiente proyecto se analizará cada uno de los elementos del sistema de redes hidráulicas de una planta de tratamiento de agua industrial en Barrancabermeja, Santander, para después calcular dichas pérdidas y obtener un vasto conocimiento de su sistema de transporte de fluidos.

Para realizar este proyecto se analizará todo el sistema de redes hidráulicas tomando todos los datos suministrados por la empresa y después realizar el cálculo de las pérdidas de carga usando los principios de Bernoulli y fórmulas matemáticas, con el propósito de obtener los resultados de las pérdidas de carga del sistema de redes hidráulicas.

Es importante resaltar que con este proyecto se obtiene la información de pérdidas de carga del sistema a fin de identificar y corregir las fallas del sistema como por ejemplo aumentar o disminuir la presión del fluido, optimizar el sistema de transporte, mejorar el caudal y velocidad y de esta manera entregara un servicio más eficiente a la comunidad de Barrancabermeja, adicionalmente podemos poner en práctica la formación adquirida durante la carrera de operación y mantenimiento electromecánico y obtener el título de tecnólogo.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Calcular las pérdidas de carga de un sistema de redes hidráulicas usando los principios de Bernoulli en una planta de tratamiento de agua industrial en Barrancabermeja, Santander.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las pérdidas de carga a través de los diferentes accesorios instalados en el sistema de redes hidráulicas en una planta de tratamiento de agua industrial.
- Evaluar las pérdidas de carga en las tuberías mediante la aplicación de los principios de conservación de energía y el teorema de Bernoulli.
- Realizar un informe final de los resultados obtenidos, que permita identificar las pérdidas de carga de un sistema de redes hidráulicas.

#### 1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

A nivel nacional se encontró un proyecto de investigación titulado “Perdida de carga durante el transporte en régimen laminar de pulpas de cieno carbonatado” de la universidad colegio mayor de Cundinamarca (Martinez-Rojas, 2014) presenta el siguiente resumen: Las pulpas de cieno carbonatado constituyen un fluido no newtoniano. Se utilizan en la industria cubana del níquel para la neutralización de licores derivados del proceso de lixiviación acida de menas lateríticas ferruginosas. En esta investigación se estableció, a partir del comportamiento reológico del cieno, el modelo de pérdida de carga para el transporte de este fluido en régimen laminar por tuberías. Se reveló que, para concentraciones de sólido mayor que 40 %, las pulpas de cieno se comportan como un plástico ideal, ajustable al modelo de Bingham, mientras que a 32 % es un fluido pseudoplástico. El modelo obtenido constituye la base del cálculo para la selección, evaluación y racionalización del proceso de transporte por tuberías del cieno carbonatado, en relación con las propiedades físicas del mismo. Este proyecto se conecta debido al manejo de pérdidas de carga.

A nivel nacional se encontró un proyecto de investigación titulada “Aproximación cuadrática al flujo de carga óptimo en sistemas de distribución considerando generación distribuida” de la Universidad Tecnológica de Pereira (Restrepo Cardona, 2016) presenta el siguiente resumen: El flujo de carga óptimo tiene como objetivo la planeación del sistema de potencia permitiendo que este trabaje de forma segura y contable, y as suministrar la demanda que el sistema requiera minimizando una función objetivo mientras que satisface restricciones operativas de la red. Este trabajo de grado busca encontrar por medio de una aproximación cuadrática soluciones convexas al flujo de carga óptimo considerando generación distribuida. Utilizando la herramienta CVX de Matlab se realizó el flujo de carga óptimo con el objetivo de minimizar las pérdidas y encontrar la potencia generada de los



generadores distribuidos que se consideraron. La metodología se desarrolló en los sistemas de prueba IEEE33 e IEEE13. Los resultados que se obtuvieron muestran que la implementación de generación distribuida disminuye las pérdidas del sistema. Este proyecto se enlaza debido al cálculo utilizado en las tuberías y el fluido.

A nivel nacional se encontró un artículo científico titulado “Efecto de la presión sobre las fugas de agua en un sistema de tubería simple” de la universidad colegio mayor de Cundinamarca (Luis Montoya, Rubén Montoya & 2012) presenta el siguiente resumen: Este artículo es un resultado del proyecto de investigación "Estudio del efecto de la presión en una red de distribución sobre las fugas de agua, utilizando una red de experimentación en laboratorio" y en él se analizan las relaciones entre la sobrepresión generada por el transigente hidráulico originado por el cierre rápido de una válvula y las fugas inducidas mediante orificios en un sistema experimental de tuberías. El presente artículo se concentra en describir las alteraciones en la onda de presión cuando se presentan fugas de agua en un sistema de tuberías simple. Para ello, se analizan los resultados obtenidos en un montaje experimental y se comparan las ondas obtenidas con y sin fuga, en condiciones similares de caudal. Se observó que existe un decaimiento en las presiones máximas en el sistema al comparar las presiones en los sistemas con fuga y sin fuga. Comparando los resultados obtenidos para el ensayo con fugas y sin fugas se observa una mayor atenuación de la onda ante la presencia de fugas. Este texto empalma de acuerdo con el análisis que se hizo al sistema de tuberías.

A nivel nacional se encontró un artículo científico titulado “Expresiones analíticas del coeficiente de pérdida K para la ampliación brusca o gradual del diámetro” de la universidad colegio mayor de Cundinamarca (Villegas-León & López-Lambraño, 2018) presenta el siguiente resumen: Este trabajo obtiene expresiones analíticas para calcular el coeficiente de pérdida (K), para expansiones súbitas o graduales de

diámetro, operando bajo presión. La revisión de la literatura mostró que los métodos típicamente utilizados para evaluar la pérdida de energía en estos dispositivos no sólo proporcionan coeficientes diferentes; sino que también requiere manipular fórmulas, tablas y gráficos. Utilizando los métodos proporcionados en la literatura, determinamos los valores medios para el coeficiente local de pérdida, ajustado por regresiones lineales múltiples, para obtener una ecuación representativa para cada caso estudiado. Este texto se acopla por el cálculo utilizado para hallar el coeficiente de pérdida.

A nivel nacional se encontró un proyecto de investigación titulada “Diseño de una planta de tratamiento de aguas para lavado automotor, para la empresa Translogam S.A.S.” De la universidad de América (Cardozo Gamboa, 2017) presenta el siguiente resumen: El presente proyecto consiste en el diseño de una planta de tratamiento de aguas para reutilizar el agua que se utiliza en los lavaderos de automóviles. Se realizó un trabajo de campo con la finalidad de conocer la situación actual de los procesos de lavado en la ciudad de Girardot, de igual forma dicho trabajo de campo contribuyó a la parametrización de aspectos claves en el diseño de la planta como lo es el caudal de lavado y la cantidad de agua a tratar. Se plantearon alternativas de diseño encaminadas a un correcto tratamiento del agua, para luego ejecutar un diseño detallado de los procesos que componen el tratamiento del agua. El diseño de ingeniería incluye la selección de componentes comerciales, los correspondientes cálculos analíticos de estructuras como el sedimentador y los cálculos hidráulicos de pérdidas en tuberías, accesorios y potencia de bombas necesarias en el sistema de tratamiento. Los sistemas que componen la planta fueron modelados en el software Solid Edge y para verificar los cálculos analíticos se utilizó el software de elementos finitos NX 9.0 Por último, se realizaron los manuales para la instalación, operación y mantenimiento de los equipos que componen la planta. Este proyecto se conecta debido al cálculo de pérdidas en tuberías, accesorios.

A nivel nacional se encontró un proyecto de investigación titulada “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” de la Pontificia Universidad Javeriana (Russi Russi, 2015) presenta el siguiente resumen: El objetivo de esta investigación consistió en la medición experimental de los coeficientes de pérdida menores Km en diferentes accesorios tipo cheque de la empresa Helbert y Cía. teniendo en cuenta la importancia de contar con valores reales de estos coeficientes para utilizarlos en el cálculo de sistemas de distribución de agua potable. Para las pruebas se utilizó el banco de presión de la Pontificia Universidad Javeriana en el cual se puede hacer el montaje de cinco tuberías de diámetros de  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ ", 1", 1  $\frac{1}{2}$ " y 2" donde se montaron las válvulas tipo cheque para hacer respectivo análisis de caudal y diferencia de presión. Se analizaron en total 45 cheques, para cada uno se tomaron 10 caudales diferentes que luego fueron analizados con métodos y software estadísticos con el fin de obtener un valor promedio del Km de cada accesorio. Los resultados obtenidos variaron de manera considerable entre modelo y diámetro por lo que cada uno de los elementos analizados tienen un coeficiente de pérdidas diferente y en algunos casos no son valores confiables por lo que se hacen algunas recomendaciones con el fin de garantizar resultados óptimos en futuras mediciones. Este proyecto se conecta debido al uso de fórmulas matemáticas.

A nivel internacional se encontró un proyecto de investigación titulado “Estudio experimental de las pérdidas de carga en tuberías con flujos de mezclas sólidos líquido no-newtoniano en régimen laminar” de la universidad de chile (Montserrat Michelini, 2015) presenta el siguiente resumen: El transporte hidráulico de sólidos a través de sistemas de tuberías es ampliamente utilizado en distintos procesos de la industria química, minera y alimenticia, entre otros. Para su correcto diseño, el cálculo de la velocidad de depósito y las pérdidas de carga es fundamental para asegurar el transporte total de las partículas presentes en la mezcla sólidos- líquido.

En la literatura, se encuentran varios estudios en esta materia cuando el fluido utilizado como medio de transporte de los sólidos es newtoniano. Sin embargo, dependiendo de la concentración de sólidos y de la presencia de finos, el fluido newtoniano junto a los finos se puede modelar como una mezcla no newtoniana que interactúa con las fracciones más gruesas de sólidos. Este tipo de mezclas con características no newtonianas se utiliza extensivamente en la industria minera nacional para el transporte de pulpas y relaves. No obstante, en la literatura existen escasos estudios que se reiteran al cálculo de la velocidad de depósito y pérdidas de carga en mezclas sólidos líquido no newtonianas. Con el fin de calcular escalas físicas, se construyó una instalación experimental que consiste en un sistema cerrado de tuberías por el cual escurre una mezcla bifásica, en que la fase líquida es un fluido no newtoniano de ley de potencia y la fase sólida son microesferas de vidrio. Experimentalmente se encontró que la velocidad de depósito para partículas de 120, 300 y 600 micrones, a concentraciones en volumen de sólidos entre 17 % y 32 %, ocurre en régimen laminar. Adicionalmente, se observó que las partículas de 300 y 600 micrones nunca lograron formar un lecho estático en la tubería, incluso a números de Reynolds inferiores a 100. Además, mediante imágenes tomográficas de concentración, se observó un proceso migratorio importante de las partículas desde el interior hacia los bordes de la tubería. A partir de los datos experimentales, se propone un modelo para el cálculo de la velocidad de depósito y del factor de fricción de la mezcla sólidos líquido no newtoniana. El modelo propuesto para las pérdidas de carga tiene un error cuadrático medio de 11.2 % respecto a los resultados experimentales. El modelo propuesto para la velocidad de depósito muestra un buen ajuste con los resultados experimentales y muestra una buena correlación con los resultados de Shah and Lord (1991) con una diferencia porcentual entre un 10 % y 20 %. Respecto al fenómeno de migratorio de partículas, este fue analizado cualitativamente mediante un modelo difusivo basado en la frecuencia de colisiones. Finalmente, los resultados de esta investigación son un

aporte importante en el desarrollo y comprensión de los fenómenos que rigen el transporte de mezclas sólidos líquido no newtonianas.

Este proyecto se enlaza debido al cálculo de pérdidas de carga en régimen laminar.

A nivel internacional se encontró un proyecto de investigación titulado “Automatización del banco de pérdidas del laboratorio de turbo maquinaria de la facultad de mecánica” de la escuela superior politécnica de Chimborazo, Ecuador (Ordoñez & Quisnancela, 2013) presenta el siguiente resumen: Se construyó y se automatizó la adquisición de datos del banco de pérdidas en el laboratorio de Turbo maquinaria de la Facultad de Mecánica. Este equipo consta de cuatro partes: El primero, un tablero de pruebas que cuenta con tres ramales horizontales de tuberías de PVC de diferente diámetro y en cada uno de sus ramales consta de diferentes accesorios, el agua es impulsada a con la ayuda de una bomba periférica. El segundo, un banco hidráulico compuesto de un tanque de almacenamiento y un sistema de un tanque provisional que previa la selección de la circulación del fluido por medio de una palanca permite realizar mediciones para determinar el caudal que circula por cualquiera de los ramales o el sistema en conjunto del tablero de pruebas. El tercero, un módulo de adquisición de datos compuesto por dos sensores de presión, un caudalímetro de paletas y una tarjeta de adquisición encargada de realizar el proceso de transformación de datos físicos a variables manipulables. El cuarto, se trata del software encargado de realizar la interfaz gráfica para la visualización, adquisición y generación de reportes adquiridos por los dispositivos antes mencionados. Se realizó el análisis económico de la construcción y automatización del banco alcanzando una inversión de 4402,17 dólares. Este proyecto se acopla por el cálculo de pérdidas de carga en tuberías.

A nivel internacional se encontró un proyecto de investigación titulado “Diseño y construcción de un banco de pruebas de tubo de escape total para modificar

parámetros” , de la Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador (Herrera Guerra, 2017) presenta el siguiente resumen : El diseño y construcción de un banco de pruebas de tubo de escape se desarrolló con la finalidad de brindar a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Tecnológica Equinoccial un sistema operativo didáctico para el análisis y comprensión del comportamiento de los gases de la combustión en el sistema de escape como los cambios de los parámetros de operación de temperatura, presión y velocidad de los gases en los diferentes tramos del sistema de escape debido a la existencia de expansiones y contracciones de forma brusca o gradual en sus secciones.

Se determinó el diseño más adecuado para el banco de pruebas para evitar grandes pérdidas de flujo por la fricción o por el cambio de sección en el sistema conforme los gases pasan de un tramo de tubo determinado a otro más grande, que provocara una disminución en su carga de velocidad con un aumento de la carga de presión o por otra parte conforme los gases pasan de un tramo de tubo determinado a otro más pequeño que provocara un aumento de la carga de velocidad con una disminución de la carga de presión conforme disminuye el área entre otros aspectos. Producto de este proceso se obtuvo un banco de pruebas para analizar y diagnosticar los inconvenientes que se pueden presentar al diseñar, fabricar o reparar un sistema de escape obteniendo resultados como una variación de la velocidad desde  $4.5 \text{ m/s}$  hasta  $355.1 \text{ m/s}$ , una variación de la presión entre  $1 \text{ atm}$  y  $2 \text{ atm}$ , junto con una temperatura constante de  $58.7^{\circ}\text{C}$ , una variación de las longitudes a las que se producen las pérdidas por fricción desde  $0.011 \text{ m}$  hasta  $1877.7 \text{ m}$  y las pérdidas por el cambio de sección desde  $338.37 \text{ m}$  hasta  $644.86 \text{ m}$  a través de los diferentes tramos de tubo. Este proyecto se acopla por el cálculo de pérdidas de carga del fluido en las tuberías.

A nivel internacional se encontró un proyecto de investigación titulado “Modelación hidráulica de un reactor de electrocoagulación tubular de sección anular” , del

Instituto mexicano de tecnología del agua, México (Canto Rios & Martin Dominguez, 2017) presenta el siguiente resumen : El presente trabajo se enfoca en el estudio de las pérdidas de carga totales en un reactor de electrocoagulación con flujo a presión y sección transversal anular simple y múltiple, donde esta última característica depende del arreglo de los electrodos. Se presenta el análisis de las pérdidas de carga por cortante y accesorios, las cuales se modelaron utilizando diferentes expresiones empíricas y se compararon con las mediciones realizadas a escala semipiloto. Como resultado del análisis se observó que la ecuación de Bahramir, Yovanovich y Culham (2006) asemeja las pérdidas reales en secciones anulares múltiples, mientras que la expresión propuesta por Davis describe mejor la sección anular simple. Estos resultados permitirán tener herramientas para diseñar reactores de electrocoagulación a escala real. Este proyecto se acopla por el cálculo de pérdidas de carga de un sistema.

## 2. MARCOS REFERENCIALES

### 2.1. Marco teórico

#### 2.1.1. Principio de Bernoulli

También denominado ecuación de Bernoulli o trinomio de Bernoulli, describe el comportamiento de un líquido moviéndose a lo largo de una línea de corriente. Fue expuesto por Daniel Bernoulli en su obra Hidrodinámica (1738), y expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido. Aunque Bernoulli dedujo que la presión disminuye cuando aumenta la velocidad del flujo, fue Leonhard Euler, quien derivó la ecuación de Bernoulli en su forma habitual en 1752. El principio solo es aplicable a los flujos isentrópicos, es decir, cuando los efectos de los procesos irreversibles, como la turbulencia y los procesos no adiabáticos, como la radiación de calor, son pequeños y pueden despreciarse. (Crane, 1942)

$$\frac{p_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A = h_R + h_L + \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

$P_1$  = Presión inicial

$P_2$  = Presión final

$\gamma$  = Peso específico

$Z_1$  = Altura punto 1

$Z_2$  = Altura punto 2

$h_A$  = Energía añadida a la bomba

$h_R$  = Pérdidas mayores (tuberías)

$h_L$  = Pérdidas menores (accesorios)



$V_1$  = Velocidad del fluido inicial

$V_2$  = velocidad del fluido final

$g$  = es la aceleración de la gravedad = 9,81 m/s<sup>2</sup>.

### **2.1.2. Las investigaciones de Osborne Reynolds**

Se ha demostrado que el régimen de flujo en tuberías, es decir, si es laminar o turbulento, depende del diámetro de la tubería, de la densidad y la viscosidad del fluido y de la velocidad del flujo (García, 2003).

El valor numérico de una combinación adimensional de estas cuatro variables, conocido como el número de Reynolds, puede considerarse como la relación de las fuerzas dinámicas de la masa del fluido respecto a los esfuerzos de deformación ocasionados por la viscosidad. Factor de fricción para condiciones de flujo laminar ( $Re < 2000$ ) es función sólo del número de Reynolds; mientras que para el flujo turbulento ( $Re > 4000$ ) es también función del tipo de pared de la tubería. (Munson, 1999)

Así se define el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\text{fuerzas inerciales}}{\text{fuerzas viscosas}} = \frac{\rho * D * v}{\mu} = \frac{v * D}{\nu} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Dónde:

$V_s$  = Velocidad característica del fluido

$D$  = Diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido o longitud característica del sistema

$\nu$  = Viscosidad cinemática del fluido

$Q$  = caudal

$\pi = 3.14159$

### **2.1.3. Relación entre la pérdida de presión y la velocidad de flujo**

Existen datos sobre pruebas de pérdida de presión para una amplia variedad de válvulas y accesorios, fruto del trabajo de muchos investigadores. Se han realizado estudios en este campo por los laboratorios de Crane; sin embargo, debido al tiempo y costo de tales pruebas, en la práctica es imposible obtener datos de pruebas de cada medida, tipo de válvula y conexión. Por lo anterior, es deseable proporcionar medios confiables de extrapolación de la información disponible sobre pruebas para abarcar aquellos elementos que no han sido o no pueden ser probados con facilidad. Los conceptos que a menudo se usan para llevar a cabo esto son la “longitud equivalente L/D”, “coeficiente de resistencia K”, y “coeficiente de flujo C; o KY”, Las pérdidas de presión en un sistema de tuberías dependen de varias características del sistema, que pueden clasificarse como sigue:

1. Rozamiento en las paredes de la tubería, que es función de la rugosidad de la superficie interior de la misma, del diámetro interior de la tubería y de la velocidad, densidad y viscosidad del fluido.
2. Cambios de dirección del flujo.
3. Obstrucciones en el paso del flujo.
4. Cambios repentinos o graduales en la superficie y contorno del paso del flujo. La velocidad en una tubería se obtiene mediante la presión o altura estática, y el descenso de la altura estática o pérdida de presión debida a la velocidad es (Crane, 1942):

$$h_L = \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde :

$$h_L = \frac{V^2}{2g}$$

$h_L$  = Pérdidas menores (accesorios)

$V$  = Velocidad del fluido

$g$  = Velocidad de la gravedad

Que se define como “altura de velocidad”. El flujo por una válvula o accesorio en una línea de tubería causa también una reducción de la altura estática, que puede expresarse en función de la altura de velocidad. El coeficiente de resistencia  $K$  en la ecuación. (Crane, 1942)

$$h_L = K V^2 / 2g \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

$$h_L = K V^2 / 2g$$

$h_L$  = Perdidas menores (accesorios)

$K$  = Coeficiente del flujo

$V$  = Velocidad del fluido

$g$  = Velocidad de la gravedad

#### **2.1.4. Fórmula de Darcy Ecuación general del flujo de fluidos**

El flujo de los fluidos en tuberías está siempre acompañado de rozamiento de las partículas del fluido entre sí y, consecuentemente, por la pérdida de energía disponible; en otras palabras, tiene que existir una pérdida de presión en el sentido del flujo.

La ecuación de Darcy es válida tanto para flujo laminar como turbulento de cualquier líquido en una tubería. Sin embargo, puede suceder que, debido a velocidades extremas, la presión corriente abajo disminuya de tal manera que llegue a igualar la presión de vapor del líquido, apareciendo el fenómeno conocido como cavitación y los caudales\*obtenidos por cálculo serán inexactos.

La fórmula de Darcy puede deducirse por análisis dimensional con la excepción del factor de fricción  $f$ , que debe ser determinado experimentalmente. El factor de fricción para condiciones de flujo laminar ( $R_e < 2000$ ) es función sólo del número de Reynolds; mientras que para el flujo turbulento ( $R_e > 4000$ ) es también función del tipo de pared de la tubería. (Crane, 1942)

Si el flujo es laminar ( $R_e < 2100$ ), el factor de fricción puede determinarse a partir de la ecuación:

$$f = \frac{64}{R_e} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

$f$  = Factor de fricción

$R_e$  = Numero de Reynolds

Si el  $R_e$  es mayor a 2100 y menor a 4000 es flujo de transición, el factor de fricción puede determinarse a partir de la siguiente ecuación:

$$f = \frac{0.316}{R_e^{1/4}} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

$f$  = Factor de fricción

$R_e$  = Numero de Reynolds

Si el flujo es turbulento ( $R_e > 4000$ ), el factor de fricción puede determinarse a partir de la ecuación:

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 * \frac{\phi}{\epsilon}} \right) + \frac{5.74}{R_e^{0.9}} \right]^2}$$

Ecuación (7)

Donde:

$f$  = Factor de fricción

$\phi$  = Diámetro nominal de la tubería

$\epsilon$  = Coeficiente de resistencia

$R_e$  = Numero de Reynolds

Se define como la pérdida de altura de velocidad para una válvula o accesorio. Está siempre asociado con el diámetro al cual se refiere la velocidad. En la mayor parte de las válvulas o accesorios las pérdidas por fricción a lo largo de la longitud real de flujo, son mínimas comparadas con las debidas a uno o más de los otros tres puntos mencionados. Por ello, el coeficiente de resistencia K se considera independiente del actor de fricción y del número de Reynolds, que puede tratarse como constante para cualquier obstáculo dado (por ejemplo, válvula o accesorio) en un sistema de tuberías bajo cualquier condición de flujo, incluida la de régimen laminar. La misma pérdida para una tubería recta se expresa por la ecuación de Darcy (Crane, 1942):

$$h_L = \left( f \frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación (8)

Donde:

$h_L$  = Perdidas menores (accesorios)

$f$  = Factor de fricción

$\frac{L}{D}$  = Longitud equivalente

$V$  = Velocidad del fluido

$g$  = Velocidad de la gravedad

De donde resulta que:

$$K = \left( f \frac{L}{D} \right) \quad \text{Ecuación (9)}$$

Donde:

$K$  = Coeficiente de resistencia

$f$  = Factor de fricción

$\frac{L}{D}$  = Longitud equivalente

## 2.2. Marco histórico

En el año de 1598, Roma sufrió una grave inundación provocada por el desbordamiento del río Tíber. Giovanni Fontana (1546-1614) intentó medir el escurrimiento real, pero no podía hacerlo en el mismo cause porque éste había sido insuficiente. Decidió entonces calcular el gasto sumando los aportes en el tramo superior y en todos los afluentes. El resultado fue 500 cañas, medida de un poco más de 2 metros, o más apropiadamente, 500 cañas cuadradas. El río tenía una capacidad de aproximadamente un tercio de esas 500 “cañas” por lo que Fontana infirió que debían construirse dos cauces más de similar tamaño. Sin embargo, toda el agua cupo en un puente de 150 cañas. Fontana concluyó que el agua se había comprimido (Pedroza González, 2007).

Esta conclusión no convenció al padre Benedetto Castelli (1578-1643) “No entiendo que el agua sea como el algodón o la lana, materiales que puedan comprimirse y apretarse, como también ocurre con el aire”. Entre otras consideraciones dice: “Habiendo cabido toda la avenida debajo del puente sería suficiente un solo cauce con la misma capacidad de dicho puente, siempre que el agua escurriera con la

misma velocidad que alcanzó debajo de él en ocasión de la inundación.” El gasto de un río no puede depender del área hidráulica solamente se debe también considerar la velocidad. Este fue un asunto que intrigó a Castelli durante un tiempo. La solución surgió de un fenómeno sin relación aparente con la hidráulica. Castelli observó el trabajo de los joyeros, quienes, con asombroso ingenio, adelgazaban el hilo de oro y plata. El proceso era el siguiente: Primeramente, colocaban hilo grueso en un carrete, después lo hacían pasar por un orificio de menor diámetro en una placa metálica y finalmente, lo enrollaban en un segundo carrete, que al jalar el hilo lo adelgazaba al forzarlo a pasar por el orificio. Naturalmente el segundo carrete debía girar más rápido que el primero. Castelli comprobó con mediciones que la velocidad del hilo después de pasar el orificio en la placa era mayor que antes de pasar dicho orificio, en una proporción inversa de los grosores respectivos. “Lo que hay que considerar atentamente –dijo- es que las partes del hilo antes del agujero tienen cierto grosor y las que salen del agujero son más finas, pero de todos modos el volumen y el peso del hilo que se desenrolla siempre son iguales al volumen y al peso del hilo que se enrolla” (Pedroza González, 2007).

En 1625 las observaciones acerca de los ríos y del trabajo de los joyeros dieron su fruto, Castelli escribió a Galileo para informarle que había demostrado geométricamente “que la proporción entre la cantidad de agua que escurre por un río cuando éste tiene cierta altura de agua y la que escurre en el mismo río cuando tiene otra altura, está en razón compuesta de la velocidad con la velocidad y de la altura con la altura”. Galileo contestó que la proposición le parecía muy clara. Este resultado, que se refiere evidentemente a ríos de sección rectangular, aparece en el libro de Castelli de 1628, llamado De la medición de las aguas corrientes; expresadas en forma más general en la proposición II, al reemplazarse la palabra altura, o sea tirante de agua, por la palabra sección. Si se indica el gasto con  $Q$ , con  $A$  el área de la sección, con  $V$  la velocidad y con subíndices 1 y 2 las dos secciones, lo enunciado puede escribirse como:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right) \left(\frac{A_1}{A_2}\right)$$

Ecuación (10)

Donde:

Q = caudal

V = velocidad

A = área transversal del tubo de corriente o conducto

En 1638 la teoría de la caída de los graves de Galileo Galilei (1564-1642) se basa en la genial hipótesis de que: “Un cuerpo grave posee por naturaleza la propiedad intrínseca de dirigirse hacia el centro común de gravedad, o sea, hacia el centro del globo terrestre, con un movimiento constante y uniformemente acelerado; es decir, que en tiempos iguales se hacen adiciones iguales de nuevos incrementos de velocidad.” También consideró que, en la ausencia de aire, la velocidad de caída de un globo y un cuerpo de plomo llegan a igualarse. Con base en lo anterior Galileo empezó a estudiar el movimiento naturalmente acelerado como ocurriría en el vacío, estableciendo una serie de teoremas, que Descartes, en una carta de 1638, no aprobó por considerar que Galileo no definía conceptos anteriores y básicos como el de pesadez. En este caso nos interesa el teorema 1, el cual dice: “El tiempo en que un móvil partiendo del reposo, recorre cierto espacio con movimiento uniformemente acelerado, es igual al tiempo que requeriría para recorrer el mismo espacio con movimiento uniforme, pero con la mitad de la velocidad que adquiere al final de dicho movimiento acelerado”. Este teorema, posteriormente serviría para confundir a Isaac Newton, como se verá más adelante (Pedroza González, 2007).

En 1641 Torricelli terminó de escribir un libro que le fue entregado a Galileo para su revisión, titulado: “Del movimiento de los graves en caída natural y de los proyectiles”, al cual agregó una parte de carácter hidráulico: Del movimiento del agua. En éste plantea lo que ahora se conoce como el Principio de Torricelli: “Las



velocidades del agua que salen de un tanque perforado son proporcionales a la raíz cuadrada de las profundidades por debajo de la superficie libre de los orificios". Torricelli dedujo este resultado de la teoría de la caída de los graves de Galileo, inspirado, al parecer, por los trabajos sobre los orificios de su maestro Castelli. Una vez abandonado el orificio, el chorro sigue acelerándose; por tanto, éste deberá irse angostando a medida que baja (de acuerdo a la ecuación de Castelli) (Pedroza González, 2007).

En 1686 Isaac Newton trata de comprobar la hipótesis, de que un chorro saliendo de un tanque lleno de agua, tiene el mismo ímpetu que un cuerpo al caer desde la misma altura del tanque. No lo logra, pero acepta la hipótesis argumentando que el agua tiene una caída efectiva en el interior del tanque y que el orificio tiene encima una carga real del doble de la altura del tanque. Justifica esta afirmación con el artificio de la catarata, que tiene la forma de una hipérbola de 4<sup>o</sup> orden y con la argucia del hielo encima que empuja al agua hacia el orificio (Pedroza González, 2007).

En 1738 Daniel Bernoulli aclara el enigma observando cómo escurre realmente el agua en un tanque y establece que un chorro, al salir del tanque, no tiene la velocidad de un cuerpo que cae libremente de la misma altura del nivel del agua en el tanque, pero la adquiere rápidamente. (Pedroza González, 2007)

En 1743 Johann Bernoulli presenta una mejor explicación del escurrimiento en un orificio y logra una más clara deducción de la ecuación de una línea de corriente. Esto es la presentación que hoy se usa (Pedroza González, 2007).

### 2.3. Marco conceptual

Según (Domingo, 2011, pág. 45) La viscosidad es la causa de la resistencia que aparece en el flujo de un fluido en tuberías y canales y está relacionada con la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales, en las que se produce rozamiento entre distintas partes del fluido.

Según (Domingo, 2011, pág. 45) dice que el flujo es estacionario si la velocidad y la densidad del flujo en un punto no dependen del tiempo. Esto no quiere decir que la velocidad y la densidad deban ser las mismas en dos puntos distintos, sino sólo que en un mismo punto no deben variar con el tiempo.

Según (Domingo, 2011, pág. 46) el régimen del flujo es laminar cuando el flujo tiene un movimiento ordenado, en el que las partículas del fluido se mueven en líneas paralelas, sin que se produzca mezcla de materia entre las distintas capas.

Según (Domingo, 2011, pág. 46) el régimen de movimiento de un fluido es turbulento cuando el fluido presenta un movimiento desordenado con mezcla intensiva entre las distintas capas.

Según (Domingo, 2011, pág. 56) el número de Reynolds es un parámetro adimensional que surge a partir de la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas en las ecuaciones de Navier-Stokes.

Según (Domingo, 2011, pág. 57) las pérdidas de carga lineales son aquellas que tienen lugar de forma continua a lo largo del flujo, por el hecho de que el fluido avance, aunque no cambien ni la dirección del flujo ni la sección de la tubería.

Según (Domingo, 2011, pág. 57) el factor de proporcionalidad  $f$  es el coeficiente de fricción que en general varía poco para pequeños cambios del flujo y es constante para el caso particular de un flujo fuertemente turbulento. En general el coeficiente de fricción  $f$  depende del número de Reynolds, de la rugosidad relativa de la tubería y la sección de la tubería.

Según (Domingo, 2011, pág. 60) las pérdidas de carga singulares representan disipaciones adicionales de energía en el flujo, normalmente causadas por los flujos secundarios (turbulencias) inducidos en cambios de sección o de dirección de la tubería. Aunque en algunos sistemas constituyen una parte importante de la pérdida de carga total, se les suele denominar pérdidas secundarias o menores. Corresponden a: entradas y salidas de las tuberías, codos, válvulas, cambios de sección, etc.

Según (Hill, 1992, pág. 22) el coeficiente de resistencia se define como la pérdida de altura de velocidad para una válvula o accesorio. Está siempre asociado con el diámetro al cual se refiere la velocidad. En la mayor parte de las válvulas o accesorios las pérdidas por fricción.

Según (Hill, 1992, pág. 14) Los acoplamientos o accesorios para conexión se clasifican en: de derivación, reducción, ampliación y desviación. Los accesorios como tes, cruces, codos con salida lateral, etc., pueden agruparse como accesorios de derivación.

Según el artículo científico de (Palacios, 2018, pág. 2) las pérdidas primarias son pérdidas de carga debidas a la fricción del fluido contra sí mismo y contra las paredes de la tubería rectilínea. Tales pérdidas Pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares, o accidental o localizada, debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, la presencia de una válvula.

Según el artículo científico de (Palacios, 2018, pág. 3) conforme un fluido pasa de una tubería pequeña a otra más grande a través de una expansión súbita, su velocidad disminuye de manera abrupta, lo que ocasiona turbulencia, que a su vez genera una pérdida de energía.

Según (Mataix, 1986, pág. 1) dice que la mecánica de fluidos es la parte de la mecánica que estudia las leyes del comportamiento de los fluidos en equilibrio, hidrostática, y en movimiento hidrodinámica.

Según (Mataix, 1986, pág. 13) define un fluido como aquella sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene y se clasifican en líquidos y gases.

### 3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

#### 3.1. DETERMINAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA A TRAVÉS DE LOS DIFERENTES ACCESORIOS INSTALADOS EN EL SISTEMA DE REDES HIDRÁULICAS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA INDUSTRIAL.

Este proyecto se desarrollará de acuerdo con la información suministrada por la empresa en la cual nos detallan la información correspondiente al diámetro de la tubería instalada, la longitud del tramo, el tipo de material de fabricación de la tubería, la temperatura en grados centígrados y el caudal representado en m<sup>3</sup>/h, los datos suministrados son los siguientes :

**Tabla 1** Nomenclatura de los materiales

ABREVIACION	MATERIAL
R	ACERO
PV	PVC

Fuente : Autor

**Tabla 2** Información suministrada por la empresa

DIAMETRO EN PULGADAS	MATERIAL TUBERIA	TIPO DE FLUIDO	CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)	Temperatura (°C)	Longitud tubería (m)
5"	R	Agua	62	99.9	100
2"	PVC	Agua	2	99.9	123
5"	R	Agua	57	99.9	345
8"	R	Agua	147	40	34
4"	R	Agua	57	99.9	67
18"	R	Agua	10015	99.9	89
3,5"	R	Agua	408.39	213	23
1,5"	PVC	Agua	4.39	213	12
8"	R	Agua	147	40	40
8"	R	Agua	207	40	45
1"	PVC	Agua	2.1	99.9	67
1"	PVC	Agua	2.1	95	89
5"	R	Agua	49.43	99	230
1"	PVC	Agua	2.1	95	12
4"	R	Agua	46.57	95	23

6"	R	Agua	96	99	67
14"	R	Agua	550	30	95
14"	R	Agua	554	40	76
6"	R	Agua	100.88	30	43
6"	R	Agua	96	40	56
6"	R	Agua	34	40	45
1"	PVC	Agua	2.1	25	78
1"	PVC	Agua	100.88	25	123
1"	PVC	Agua	2.1	25	45
1"	PVC	Agua	2.1	25	76
6"	R	Agua	97	40	78
6"	R	Agua	98	40	98
1"	PVC	Agua	2.1	25	52
6"	R	Agua	99	40	73
3"	R	Agua	11.15	25	85
6"	R	Agua	87.85	40	23

**Fuente:** Autor

Para facilitar la identificación de las diferentes válvulas (de proceso) de la planta, todas ellas han sido identificadas siguiendo una determinada nomenclatura, siendo su significado el siguiente, todas las válvulas están abiertas por completo:

**Tabla 3** Nomenclatura de válvulas

ABREVIACION	MATERIAL
A	Válvula de angulo
M	válvula de mariposa
C	Válvula de compuerta
G	Válvula de Globo
V	Válvula de verificación tipo giratorio
B	Válvula de Bola

**Fuente:** Autor

**Tabla 4** Listado de válvulas

<b>DIAMETRO</b>	<b>TIPO DE VALVULA</b>	<b>TIPO DE MATERIAL</b>	<b>CAUDAL <math>m^3/h</math></b>
5	A	R	57
4	A	R	147
4	C	R	57
4	M	R	10015
4	M	R	408.39
4	C	R	4.39
4	V	R	147
3	C	R	207
3	G	R	2.1
3	C	R	2.1
2	C	R	49.43
2	C	R	2.1
2	B	R	46.57
2	B	R	96
5	M	R	550
5	M	R	554
5	M	R	100.88
10	M	R	96
10	G	R	34
10	M	R	2.1
10	M	R	100.88
10	G	R	2.1

10	M	R	2.1
6	M	R	97
6	M	R	98
6	M	R	2.1
8	M	R	99
8	M	R	11.15
8	M	R	87.85
8	M	R	62
8	V	R	2
8	M	R	57
8	M	R	147
8	V	R	57
8	M	R	10015
16	M	PVC	408.39
16	M	PVC	4.39
16	M	PVC	147
22	M	PVC	207
22	M	PVC	2.1
22	M	PVC	2.1
1	A	R	49.43
22	M	PVC	2.1

**Fuente:** Autor

Adicionalmente se tuvieron en cuenta los siguientes accesorios los cuales se encuentran instalados en el sistema de aguas residuales:



**Tabla 5** Accesorios

<b>Diámetro en pulgadas</b>	<b>Material</b>	<b>Accesorio</b>	<b>Caudal <math>m^3/h</math></b>	<b>Cantidad</b>
5	R	Codo de 90°	62	15
2	PV	Codo roscado de 90°	2	12
5	R	Codo de 45°	57	99
8	R	Codo roscado de 45°	147	40
4	R	T en flujo directo	57	9
18	R	T en ramal	10015	17
3,5	R	Vuelta cerrada en retorno	408,39	2

**Fuente:** Autor

### **3.2. EVALUAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN LAS TUBERÍAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS DE CONSERVACIÓN DE ENERGÍA Y EL TEOREMA DE BERNOULLI.**

Para la evaluación de las perdidas de cargas del sistema, se realizo un programa mediante el cual se establecieron las formulas correspondientes a los principios de conservación de energía y el teorema de Bernoulli, a partir de esto se tomaron los datos suministrados por la empresa y se recopilaron los resultados de las perdidas correspondientes al sistema , por lo que se realizo el siguiente procedimiento :

### 3.2.1. *Perdidas de carga Lineales (Tubería):*

Para poder determinar las perdidas lineales, es necesario contar con la rugosidad del material , por lo cual este valor es tomado de la siguiente tabla :

**Tabla 6** Valores de diseño de la rugosidad de tubos

Material	Rugosidad $\epsilon$ (m)
Vidrio	Liso
Plástico (PVC)	$3.0 \times 10^{-7}$
Acero comercial o soldado	$4.6 \times 10^{-5}$
Hierro galvanizado	$1.5 \times 10^{-4}$
Concreto, bien fabricado	$1.2 \times 10^{-4}$
Acero remachado	$1.8 \times 10^{-3}$

Fuente : (Mott, 2006, pág. 235)

Tomando como ejemplo el primer dato suministrado por la empresa para la tubería instalada, se digito el diámetro de la tubería, el tipo de material de la tubería, el tipo de fluido del sistema, el caudal , la temperatura y la longitud del tramo de la tubería y se obtuvieron la densidad , la viscosidad y la perdida primera de energía del tramo seleccionado obteniendo los siguientes resultados :

**Figura 1 Perdidas de cargas lineales (Tubería)**

tipo de material		Rugosidad (m)		Trabajo realizado por:		Jefferson Andrés Pertuz Bayona Jefferson Lizarazo Rey	
Pvc		0,000003					
Acero		0,000046					
Tipo Fluido		Tipo de material		Rugosidad			
H2O		Acero		0,000046			
Diametro de tubería (Pulgadas)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Temperatura (°C)	Longitud de la tubería (m)	Densidad ρ (Kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica (Pa*s)	Diametro de tubería (m)	
5	62	99,9	100	958	0,000282	0,127	
Area de la tubería (m <sup>2</sup> )	Velocidad del fluido(m/s)	Reynolds	Tipo de flujo		Factor de fricción		Perdida primaria de energía (m)
0,012667687	1,359540698	586559,8532	Flujo Turbulento		0,01555329		1,15490666

Fuente : Autor

### 3.2.2. Perdidas de carga singulares

**Tabla 7** Factor de fricción en la zona de turbulencia completa para tubería de acero comercial , nueva y limpia.

Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción $f_T$
1/2	0.027
3/4	0.025
1	0.023
1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	0.022
1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	0.021
2	0.019
2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> , 3	0.018
3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> , 4	0.017
5	0.016
6	0.015
8-10	0.014

12-16	0.013
18-24	0.012

Fuente : (Mott, 2006, pág. 297)

El procedimiento para calcular la pérdida de energía que causan los diferentes accesorios de un sistema hidráulico es la siguiente:

- Si la tubería es de acero nueva y limpia en la tabla 7 tomar el  $f_T$  de acuerdo con el diámetro de la tubería.
- Si la tubería es de otro material diferente al acero, tomar el valor de rugosidad de acuerdo con el tipo de material empleado el cual se encuentra en la tabla 6.

Estas pérdidas corresponden a las perdidas menores, para el desarrollo de este trabajo, han sido divididas en dos tipos .

### 3.2.2.1 Válvulas

Tomando como ejemplo el primer dato suministrado por la empresa de los diferentes tipos de válvulas instaladas en el sistema y conociendo que todas las válvulas están abiertas por completo, se digitaron los datos al programa realizado para el apoyo de los cálculos obteniendo los siguientes resultados :

**Figura 2 Perdidas de carga singulares (Valvulas)**

Tipos de material		Trabajo realizado por:		Jefferson Andrés Pertuz Bayona Jefferson Lizarazo Rey	
Acero					
PVC					
Diametro de tubería en pulgadas	Caudal (M <sup>3</sup> /h)	Tipo de válvula	Tipo de material de la valvula	Diametro de tubería en Metros	
5	62	válvula de ángulo	Acero	0,127	
Area de la tubería	Velocidad del fluido(M/s)	longitud equivalente en diámetros de tubería Le/D	Factor de Fricción (f)	Coeficiente de Resistencia	
0,012667687	1,359540698	150	0,016	2,4	
Perdida de Carga Menor (m)					
Acero			PVC		
0,226328683					

Fuente : Autor

### 3.2.2.2 Accesorios

Tomando como ejemplo el primer dato suministrado por la empresa de los diferentes accesorios instalados en el sistema, se digitaron los datos al programa realizado para el apoyo de los cálculos obteniendo los siguientes resultados :

**Figura 3 Perdidas de carga singulares (Accesorios)**



### 3.3. REALIZAR UN INFORME FINAL DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS, QUE PERMITA IDENTIFICAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA DE UN SISTEMA DE REDES HIDRÁULICAS.

En esta sección se consolidaron todas las perdidas del sistema teniendo en cuenta las pérdidas de carga lineales y singulares, los cálculos fueron realizados de forma individual empleando el programa realizado para el cálculo de perdidas de carga de un sistema

#### 4. RESULTADOS

Los resultados logrados fueron consolidados en una tabla en la cual se relacionan los datos correspondientes que llevaron al resultado obtenido para cada uno de ellos, a continuación se relacionan los resultados alcanzados para cada tipo de pérdida:

**Tabla 8** Resultados de perdidas lineales del sistema

DN	Material	Fluido	Caudal m <sup>3</sup> /h	Temperatura	Longitud de la tubería (m)	Resultado(m)
5"	R	AGUA	62	99,9	100	1,155490666
2"	PVC	AGUA	2	99,9	123	0,06905602
5"	R	AGUA	57	99,9	345	3,36769647
8"	R	AGUA	147	40	34	0,19061068
4"	R	AGUA	57	99,9	67	2,09599591
18"	R	AGUA	10015	99,9	89	34,2038249
8"	R	AGUA	147	40	40	0,22424786
8"	R	AGUA	207	40	45	0,50024636
1"	PVC	AGUA	2,1	99,9	67	1,47636469
1"	PVC	AGUA	2,1	95	89	1,96114481
5"	R	AGUA	49,43	99	230	1,68839644
1"	PVC	AGUA	2,1	95	12	0,26442402
4"	R	AGUA	46,57	95	23	0,48029483
6"	R	AGUA	96	99	67	0,71694474
14"	R	AGUA	550	30	95	0,4060476
14"	R	AGUA	554	40	76	0,32957936
6"	R	AGUA	100,88	30	43	0,50810734
6"	R	AGUA	96	40	56	0,59924645
6"	R	AGUA	34	40	45	0,06040393
1"	PVC	AGUA	2,1	25	78	1,71894904
1"	PVC	AGUA	100,88	25	123	6254,16106
1"	PVC	AGUA	2,1	25	45	0,99170137
1"	PVC	AGUA	2,1	25	76	1,67487342
6"	R	AGUA	97	40	78	0,85214388

6"	R	AGUA	98	40	98	1,09283091
1"	PVC	AGUA	2,1	25	52	1,14596603
6"	R	AGUA	99	40	73	0,83074527
3"	R	AGUA	11,15	25	85	0,45759329
6"	R	AGUA	87,85	40	23	0,20610447
					<b>TOTAL</b>	<b>6313,430091</b>

**Tabla 9** Resultados de perdidas singulares del sistema (válvulas)

DN	Tipo	Material	Caudal m <sup>3</sup> /h	Resultado(m)
5	A	R	62	0,226328683
5	A	R	2	0,000235514
5	A	R	57	0,191296017
4	A	R	147	3,300349076
4	C	R	57	0,026465107
4	M	R	10015	4595,665069
4	M	R	408,39	7,641817488
4	C	R	4,39	0,000156983
4	V	R	147	2,200232717
3	C	R	207	1,168000845
3	G	R	2,1	0,00510893
3	C	R	2,1	0,00012021
2	C	R	49,43	0,3559015
2	C	R	2,1	0,000642373
2	B	R	46,57	5,923281136
2	B	R	96	25,1705286
5	M	R	550	5,343217475
5	M	R	554	5,421219619
5	M	R	100,88	0,179757748
10	M	R	96	0,006924103
10	G	R	34	0,008437034
10	M	R	2,1	3,31329E-06
10	M	R	100,88	0,007645946
10	G	R	2,1	3,21863E-05
10	M	R	2,1	0,008437034

6	M	R	97	0,075139315
6	M	R	98	0,076696565
6	M	R	2,1	0,000035217
8	M	R	99	0,023114047
8	M	R	11,15	0,000293194
8	M	R	87,85	0,018200743
8	M	R	62	0,009065442
8	V	R	2	0,000020963
8	M	R	57	0,007662232
8	M	R	147	0,050961272
8	V	R	57	0,017027183
8	M	R	10015	236,5415844
16	M	PVC	408,39	0,0045765
16	M	PVC	4,39	5,2883E-07
16	M	PVC	147	0,00059295
22	M	PVC	207	0,00034176
22	M	PVC	2,1	3,5174E-08
22	M	PVC	2,1	3,5174E-08
1	A	R	49,43	129,2484396
22	M	PVC	2,1	3,5174E-08
<b>TOTAL</b>				5018,924961

**Tabla 10** Resultados de perdidas singulares del sistema (accesorios)

DN	Material	Accesorio	Caudal m <sup>3</sup> /h	cantidad	Resultado (m)
5"	R	Codo 90°	62	15	0,67898605
2"	PVC	Codo Roscado de 90°	2	12	0,00854486
5"	R	codo de 45°	57	99	2,02008594
8"	R	codo de 45° Roscado	147	40	1,17777163
4"	R	T en flujoDirecto	57	9	0,5954649
18"	R	T en ramal	10015	17	179,315692
3,5"	R	Vuelta Cerrada en retorno	408,39	2	28,9702295
<b>TOTAL</b>					212,7667749



## 5. CONCLUSIONES

Se logro el calculo de las perdidas de carga en el sistema de aguas residuales, los cuales, a pesar de la información suministrada por la empresa, fue necesario la recopilación de información como lo es la densidad del fluido de acuerdo con su temperatura, dato de la viscosidad dinámica, el factor de fricción para el acero, longitudes equivalentes en diámetros de tubería  $L_e/D$ , los cuales fueron necesarias para la obtención de las perdidas lineales y singulares del sistema hidráulico.

Los estudiantes lograron la creación y utilización de un programa aplicando los temas estudiados en el aula, lo cual facilito la obtención de resultados que permitiera el análisis de datos y consolidación de resultados, se observo que las perdidas de fricción de tubería , dependen del tipo de material con la que está fabricado las tuberías del sistema, adicionalmente se evidencia que cada uno de los accesorios instalados , afectan el sistema y en ocasiones no son tomadas en cuenta al momento de instalar una bomba.

## 6. RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso del programa realizado para la obtención de pérdidas de carga de un sistema de redes hidráulicas, el usuario deberá contar por lo menos con datos con los que son: la temperatura, el diámetro de la tubería y/o accesorio, el caudal y la longitud de la tubería en metros. Se debe señalar que el programa realizado realiza los cálculos para dos tipos de materiales que son: el acero nuevo y limpio, y material PVC, además que el tipo de fluido es H<sub>2</sub>O.

Se incentiva a futuros proyectos a seguir mejorando el programa añadiendo más tipos de materiales, tipos de accesorios y tipos de fluidos, fomentar el uso de la aplicación ya que presenta características amigables una interfaz de fácil uso y la práctica forma de exportar los resultados distintos formatos del paquete de Microsoft Office.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (McGraw-Hill & 1992, p. (1992). *Flujo de fluidos en valvulas y accesorios*.
- Canto Rios, J., & Martin Dominguez, A. (2017). *Modelación hidráulica de un reactor de electrocoagulación tubular de sección anular*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12013/1699>
- Cardozo Gamboa, J. A. (14 de agosto de 2017). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas para lavado automotor, para la empresa Translogam S.A.S*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.11839/6496>
- Colombia, U. C. (Noviembre de 2017). Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15209/1/DISE%C3%91O%20Y%20CONSTRUCCI%C3%93N%20DE%20BANCO%20HIDR%C3%81ULICO%20PARA%20DETERMINAR%20LAS%20P%C3%89RDIDAS%20DE%20ENERG%C3%8DA%20EN%20TUBER%C3%8DAS%20CPVC.pdf>
- Crane. (1942). *Flujo de fluidos en valvulas y accesorios*. Crane Co.
- Domingo, A. M. (2011). *Apuntes de mecanica de fluidos*.
- Gutierrez L., A. (2007 - 2008). *Calculos hidraulicos*. EOI, 69.
- Herrera Guerra, C. P. (2017). *Diseño y construcción de un banco de pruebas de tubo de escape total para modificar parámetros*. Obtenido de <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/16559>
- Hill, M. (1992). *Flujo de fluidos en valvulas y accesorios*.
- Martinez-Rojas, R. (2014). *Perdida de carga durante el transporte en regimen laminar de pulpas de cieno carbonatado*. *Minería y geología*, 80.
- Mataix, C. (1986). *Mecanica de fluidos y maquinas hidraulicas*. Madrid: Ediciones del castillo S.A.
- Montoya, L., & Montoya, R. (2012). EFECTO DE LA PRESIÓN SOBRE LAS FUGAS DE AGUA EN UN SISTEMA DE TUBERIA SIMPLE . *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 10 .
- MONTOYA, O. R. (Noviembre de 2017). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE BANCO HIDRÁULICO PARA DETERMINAR*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15209/1/DISE%C3%91O%20Y%20CONSTRUCCI%C3%93N%20DE%20BANCO%20HIDR%C3%81ULICO%20PARA%20DETERMINAR%20LAS%20P%C3%89RDIDAS%20DE%20ENERG%C3%8DA%20EN%20TUBER%C3%8DAS%20CPVC.pdf>
- Montserrat Michelini, G. J. (2015). *Estudio experimental de las pérdidas de carga en tuberías con flujos de mezclas sólidos líquido no-newtoniano en régimen laminar*. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/132978>
- Mott, R. L. (2006). *Mecanica de fluidos*. Mexico: Pearson Education.
- Munson, B. (1999). *Fundamentos de mecanica de fluidos*. Iimusa.
- Ordoñez, M. A., & Quisnancela, K. G. (2013). *AUTOMATIZACIÓN DEL BANCO DE PERDIDAS DEL LABORATORIO DE TURBO MAQUINARIA DE LA FACULTAD MECANICA*. Riobamba, Ecuador.
- Palacios, G. (2018). *Perdidas en tuberías y conectores*. 2.
- Pedroza González, E. &. (2007). *Historia del Teorema de Bernoulli*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41617103>

- Pirobloc. (s.f.). *CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA*. Obtenido de <https://www.pirobloc.com/blog-es/calculo-perdidas-carga/>
- Restrepo Cardona, L. (2016). *Aproximación cuadrática al flujo de carga óptimo en sistemas de distribución considerando generación distribuida*. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/7076>
- Ricardo, G. I. (2007 - 2008 ). *HIDRAULICA BASICA . EOI, 22*.
- Russi Russi, D. I. (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*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10554/21384>
- Thornton, j. (2006). *INFLUENCIA DE LA PRESION EN LAS PERDIDAS DE AGUA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION . Asociacion interamericana de ingenieria sanitaria y ambiental - AIDIS , 8*.
- Villegas-León, J., & López-Lambraño, A. (2018). *Expresiones analíticas del coeficiente de pérdida K para la ampliación brusca ó gradual del diámetro. Ribagua, 128 - 142*.