

**PROTOCOLO PARA LA RUTINA EN LA DEFORMACIÓN DE LA SECCIÓN  
TRANSVERSAL POR ALTA TEMPERATURA EN TUBERÍAS DE AGUA  
CALIENTE – CPVC**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**NATALIA REYES ARRÁZOLA**  
**IVÁN CAMILO CÁRDENAS QUINTERO**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**  
**BOGOTÁ D.C.**  
**2019**

**Título del proyecto:**

**PROTOCOLO PARA LA RUTINA DE ENVEJECIMIENTO EN LA  
DEFORMACIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL POR ALTA TEMPERATURA  
EN TUBERÍAS DE AGUA CALIENTE – CPVC**

**PRESENTADOR POR:**

**NATALIA REYES ARRÁZOLA - CÓDIGO 504995**

**IVÁN CAMILO CÁRDENAS QUINTERO – CÓDIGO 505076**

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

**Docente asesor:**

**Juan Sebastián De Plaza Solórzano  
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
BOGOTÁ D.C.  
2019**



## Atribución-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-SA 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-SA 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/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).



**Compartir bajo la Misma Licencia** — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá D.C. año 2019

## **Agradecimientos**

*Gracias a mi compañero de trabajo de grado con el cual compartimos experiencias personales y académicas que nos han formado como personas y profesionales a lo largo de nuestra carrera,*

*Gracias a nuestra universidad por habernos permitido aprender de*

*cada uno de los docentes participes de este proceso;*

*Al ingeniero Juan Sebastián De Plaza Solórzano por su dedicación*

*en el desarrollo de este trabajo de investigación y*

*su confianza en nosotros.*

*Al Sr. Javier Mendoza por su disposición y colaboración*

*con el proyecto.*

**Camilo y Natalia.**

## Tabla de contenido

1. GLOSARIO.....	12
2. RESUMEN .....	13
3. ABSTRACT .....	14
4. INTRODUCCIÓN .....	15
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	16
6. ANTECEDENTES Y LIMITACIONES.....	17
6.1. Antecedentes.....	17
6.2. Limitaciones.....	20
7. OBJETIVOS .....	21
7.1. Objetivo general.....	21
7.2. Objetivos específicos .....	21
8. JUSTIFICACIÓN .....	22
9. MARCO TEORICO.....	23
9.1. Marco teórico .....	23
9.2. Marco conceptual .....	27
9.2.1. Propiedades físicas .....	29
9.3. Marco histórico .....	33
9.4. Marco legal .....	34
10. ESTADO DEL ARTE.....	35
11. METODOLOGÍA .....	37
12. RESULTADOS.....	42
12.1. Elaboración de gráficas .....	42
12.2. Análisis de resultados.....	51
12.3. Protocolo para la rutina de envejecimiento.....	53
12.4. Parametrización de ecuaciones.....	55
13. CONCLUSIONES .....	58
14. RECOMENDACIONES .....	60
15. ANEXOS .....	61

15.1.	Bitácora gráfica para el cálculo del caudal .....	61
15.2.	Mediciones diámetros externos e internos de las tuberías .....	61
15.3.	Cambios longitudinales en las tuberías .....	61
15.4.	Secciones de corte de las tuberías.....	61
16.	BIBLIOGRAFÍA .....	62

## Índice de figuras

Figura 1. Resistencia a la tensión tubería cpvc [6].....	29
Figura 2. Módulo de Elasticidad tubería cpvc [6] .....	29
Figura 3. Resistencia a la flexión tubería cpvc [6].....	30
Figura 4. Módulo de flexión tubería cpvc [6] .....	30
Figura 5. Resistencia a la compresión tubería cpvc [6].....	31
Figura 6. Módulo de compresión tubería cpvc [6] .....	31
Figura 7. Módulo de elasticidad y presión tubería cpvc [6] .....	32
Figura 8. Banco hidráulico s modificaciones .....	37
Figura 9. Cambio de medidor volumétrico .....	37
Figura 10. Tuberías para estudio .....	37
Figura 11. Llenado del tanque de almacenamiento .....	38
Figura 12. Conexión cableado .....	38
Figura 13. Verificación válvulas .....	38
Figura 14. Selección tubería de estudio.....	38
Figura 15. Encendido maquina .....	38
Figura 16. Selección temperatura .....	39
Figura 17. Lectura presión en manómetro .....	39
Figura 18. Uso de transductores para lectura de presiones .....	39
Figura 19. Lectura volumen de agua .....	39
Figura 20. Tablero eléctrico sensor temperatura .....	40
Figura 21. Válvula de alivio .....	40
Figura 22. Gráfica caudal v.s. SF (1/2").....	42
Figura 23. Gráfica caudal v.s. SF (1/2").....	42
Figura 24. Gráfica caudal v.s. SF (1/2").....	43
Figura 25. Gráfica caudal v.s. SF (1/2").....	43
Figura 26. Gráfica caudal v.s. SF (1/2").....	44
Figura 27. Gráfica SF v.s Temperatura (1/2") .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 28. Gráfica caudal v.s. SF (3/4").....	45
Figura 29. Gráfica caudal v.s. SF (3/4").....	45
Figura 30. Gráfica caudal v.s. SF (3/4").....	46
Figura 31. Gráfica caudal v.s. SF (3/4").....	46
Figura 32. Gráfica caudal v.s. SF (3/4").....	47
Figura 33. Gráfica SF v.s. Temperatura (3/4") .....	47
Figura 34. Gráfica caudal v.s. SF (1").....	48
Figura 35. Gráfica caudal v.s. SF (1").....	48
Figura 36. Gráfica caudal v.s. SF (1").....	49



Figura 37. Gráfica caudal v.s. SF (1") .....49  
Figura 38. Gráfica caudal v.s. SF (1") .....50  
Figura 39. Gráfica SF v.s. Temperatura (1") .....50

## Índice de tablas

Tabla 1. Procedimiento para la elaboración de práctica de laboratorio para recolección de datos. ....	37
Tabla 2. Datos experimentales ( $\frac{1}{2}$ " ).....	42
Tabla 3. Datos experimentales ( $\frac{1}{2}$ " ).....	42
Tabla 4. Datos experimentales ( $\frac{1}{2}$ " ).....	43
Tabla 5. Datos experimentales ( $\frac{1}{2}$ " ).....	43
Tabla 6. Datos experimentales ( $\frac{1}{2}$ " ).....	44
Tabla 7. Datos experimentales ( $\frac{1}{2}$ " ).....	44
Tabla 8. Datos experimentales ( $\frac{3}{4}$ " ).....	45
Tabla 9. Datos experimentales ( $\frac{3}{4}$ " ).....	45
Tabla 10. Datos experimentales ( $\frac{3}{4}$ " ).....	46
Tabla 11. Datos experimentales $\frac{3}{4}$ " .....	46
Tabla 12. Datos experimentales ( $\frac{3}{4}$ " ).....	47
Tabla 13. Datos experimentales ( $\frac{3}{4}$ " ).....	47
Tabla 14. Datos experimentales (1" ).....	48
Tabla 15. . Datos experimentales (1" ).....	48
Tabla 16. Datos experimentales (1" ).....	49
Tabla 17. Datos experimentales (1" ).....	49
Tabla 18. Datos experimentales (1" ).....	50
Tabla 19. Datos experimentales (1" ).....	50
Tabla 20. Ecuaciones gradiente hidráulico y coeficiente de correlación para tuberías de $\phi= \frac{1}{2}$ " en función del caudal y pérdida de carga unitaria. ....	55
Tabla 21. Ecuaciones gradiente hidráulico y coeficiente de correlación para tuberías de $\phi= \frac{3}{4}$ " en función del caudal y pérdida de carga unitaria. ....	55
Tabla 22. Ecuaciones gradiente hidráulico y coeficiente de correlación para tuberías de $\phi= 1$ " en función del caudal y pérdida de carga unitaria. ....	55
Tabla 23. Ecuaciones gradiente hidráulico y coeficiente de correlación en función de pérdida de carga unitaria y temperatura. ....	56
Tabla 24. Protocolo medición diámetros de tubería.....	57

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación inicial para el cálculo de pérdidas de carga. ....	18
Ecuación 2. Ecuación de Hazen Williams para el cálculo de pérdidas de carga. ...	19
Ecuación 3. Ecuación número de Reynolds .....	24
Ecuación 4. Ecuación energía mecánica .....	24
Ecuación 5. Ecuación variación de energía .....	25
Ecuación 6. Ecuación ley fundamental de la dinámica .....	25
Ecuación 7. Ecuación planteada por Von Karman y Prandlt.....	33

## 1. GLOSARIO

**Ecuaciones paramétricas.** Sistema de ecuaciones paramétricas permite representar una curva o superficie en el plano o en el espacio, mediante valores que recorren un intervalo de números reales, mediante una variable, llamada parámetro, considerando cada coordenada de un punto como una función dependiente del parámetro. (Cuabana, n.d.)

**Perdida de carga:** La **pérdida de carga** en una tubería o canalización es la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce. Las pérdidas pueden ser **continuas**, a lo largo de conductos regulares, o accidentales o **localizadas**, debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, la presencia de una válvula.(Molecor, n.d.)

**RDE:** en la relación entre diámetro del tubo y el espesor de la pared, conocida con el nombre de la **RDE** que significa RADIO DIMENSIONAL ESTANDAR que es la Relación Diámetro espesor o **SDR** por sus siglas en ingles STANDARD DIMENSIONAL RATIO. (COLINDUSTRIAS SAS, n.d.)

**Transductores:** Los transductores son aquellas partes de una cadena de medición que transforman una magnitud física en una señal eléctrica. Los transductores son especialmente importantes para que los medidores puedan detectar magnitudes físicas. Normalmente, estas magnitudes, como por ejemplo temperatura, presión, humedad del aire, presión sonora, caudal, luz, se convierten en una señal normalizada.(Pre-iberica SAS, n.d.)

## 2. RESUMEN

Este trabajo de investigación presenta los análisis realizados al banco hidráulico de agua caliente de la Universidad Católica de Colombia, con el objetivo de realizar un protocolo para la rutina de envejecimiento de la tubería CPVc (Policloruro de Vinilo Clorado) y la parametrización de una serie de ecuaciones que expresen de manera general el comportamiento de dichas tuberías a lo largo de su vida útil.

De acuerdo a lo anterior, se obtienen una serie de datos mediante prácticas de laboratorio tales como: caudal, presión, volumen, temperatura, pérdidas de carga, entre otras, que permiten establecer a través de la organización de tablas dinámicas las condiciones que interfieren cotidianamente en las tuberías para agua caliente en redes domiciliarias. El análisis de los datos obtenidos durante la investigación se compara con un escenario real en el ámbito de la construcción ya que, la información contenida en la investigación es una herramienta práctica para colegas, docentes y estudiantes.

Teniendo esto en cuenta, se recomienda que este tipo de información sea utilizada dentro de la industria de la ingeniería para facilitar la comprensión del comportamiento de la pérdida de carga (Slope friction) en tuberías que transporten agua a altas temperaturas en un periodo de tiempo determinado.

Se sugiere realizar investigaciones adicionales para identificar otros factores que influyan en el comportamiento de las tuberías CPVc en redes domiciliarias.

Palabras claves: Protocolo de envejecimiento, parametrización de ecuaciones, pérdidas de carga.

### **3. ABSTRACT**

This paper presents the results of a series of analysis performed on the UCC University's hot water hydraulic bench, with the aim of generating a protocol for the deterioration routine of CPVc (Chlorinated polyvinyl chloride) piping and standardization of a group of equations that generalise their behaviour throughout their life cycle.

As a result of the previous procedure, a series of data are obtained through laboratory practices such as flow rate, pressure, volume, temperature, charge loss, and so on, making it possible to use dynamic tables to determine which conditions interfere with hot water piping in domestic distribution networks. The obtained data will be compared with a real life construction scenario, given that the information and knowledge generated through this research is a practical tool for fellow professors and students.

Keeping this in mind, we recommend to use this kind of information within the engineering industry to facilitate the understanding of slope friction in high temperature water pipes in a specific time period. More research is needed to identify other factors that may influence CPV piping behavior in domestic distribution networks.

#### 4. INTRODUCCIÓN

El trabajo que se presenta tiene como principal objetivo parametrizar, mediante ensayos periódicos en un banco hidráulico de agua caliente(Omar, 2017) una serie de ecuaciones para la determinación de pérdidas de energía a las que están sometidas las redes de distribución domiciliarias de agua caliente. Asimismo, identificar la rutina en la que el diámetro interno de la tubería CPVC sufre deformaciones a lo largo de su vida útil por la exposición a cambios drásticos en la temperatura del agua, afectando directamente el comportamiento hidráulico de estas.

La característica principal de este tipo de tuberías CPVC (**Policloruro de Vinilo Clorado**) es su utilización para el suministro de agua fría y caliente en instalaciones domiciliarias e industriales, ya que, es un termoplástico capaz de soportar la exposición prolongada a una alta temperatura y a la presión elevada al mismo tiempo que proporciona una resistencia superior a la corrosión; adicionalmente, es un importante termoplástico de ingeniería debido a su bajo costo. (Corzan Industrial Systems, 2018)

La importancia de estudiar este tema en particular radica en la necesidad que se genera por parte del estudiante y el profesional de ingeniería civil, relacionado con obras hidráulicas para la obtención de una herramienta práctica para la determinación del comportamiento de la tubería CPVC al momento del diseño y construcción de redes domiciliarias, mediante ensayos rutinarios para la obtención de datos relacionados con la investigación para la posterior parametrización de las posibles ecuaciones que logren calcular las pérdidas de energía y el desarrollo del protocolo para la rutina de envejecimiento en la deformación de la sección transversal por altas temperaturas de agua caliente.

Con lo soportado en los capítulos 11 y 12, se evidencia que las secciones transversales con mayor grado de fatiga, ovalación y desgaste es la tubería de diámetro de  $\frac{1}{2}$ ", ya que en las gráficas y ecuaciones entregadas en el trabajo de investigación se aporta a la comunidad académica y científica una herramienta práctica para facilitar el estudio de las pérdidas de energía de las tuberías CPVc.

## 5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En ingeniería hidráulica el ingeniero civil debe conocer de manera precisa y practica la cantidad de energía que se pierde en el transporte de fluidos como el agua y/o vapor por las tuberías para la determinación de las presiones de carga reales que se deben usar para el diseño hidráulico en instalaciones de agua caliente.

La presente investigación busca la recolección de datos necesarios para la comprobación de las hipótesis existentes sobre las pérdidas de energía tuberías de diámetro  $\frac{1}{2}$ " para agua caliente en edificaciones domiciliarias, ya que empresas privadas del sector(PAVCO, n.d.) generalizan en sus tablas de referencia para tuberías de manera global el comportamiento de estas,, sin tener en cuenta factores influyentes tales como las ecuaciones de (Darcy Weisbach, Colebrook-White, Hazen-williams) y, a su vez, las deformaciones que sufre este tipo de instalaciones a lo largo de su vida útil; generalmente estas se encuentran embebidas dentro de los muros y se desconoce la deformación en la sección transversal debido al envejecimiento que sufre la tubería al conducir agua a altas temperaturas, por lo tanto, se afecta la hidráulica del sistema.



## 6. ANTECEDENTES Y LIMITACIONES

### 6.1. Antecedentes

Todas las obras relacionadas con el diseño de redes hidráulicas estudiadas por parte del ingeniero civil están basadas en ecuaciones fundamentales para el cálculo de pérdidas en las tuberías para el diseño de la red de distribución domiciliaria, tales como, (Darcy Weisbach, Colebrook-White, Hazen-Williams).

El objetivo de este proyecto de grado es proveer al laboratorio de hidráulica, un banco hidráulico para determinar las pérdidas de presión en tuberías de diámetros  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ ", 1", 1  $\frac{1}{2}$ " CPVC (poli-cloruro de vinilo clorado), el fluido que circulará por estas tuberías será agua a diferentes temperaturas (20°C - 60°C).

El banco hidráulico cuenta con un tanque de almacenamiento de 40 litros y su respectiva resistencia eléctrica bifásica de 3000 W que genera el incremento de la temperatura en el agua, este será controlado por un pirómetro instalado al inicio del sistema, la temperatura se controla con una tolerancia de +/- 1°C de la temperatura a analizar, el fluido se impulsará con una bomba centrífuga de 1 HP con materiales especiales, en su impulsor y en los sellos hidráulicos.

La estructura del banco está diseñada en acero estructural SA-36, con tubería cuadrada de 1  $\frac{1}{2}$ "\*1.5mm de espesor, la longitud es de 2.60 m, una altura de 1.50 m y ancho de 0.80 m. en esta estructura se instalaron las tuberías de CPVC de diferentes diámetros ( $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ , 1, 1  $\frac{1}{2}$  in ) cada una de estas tuberías en su tramo horizontal cuenta con dos manómetros análogos de glicerina de carátula con un diámetro de 2" y un rango de (0 – 30 psi excepto en la tubería de 1  $\frac{1}{2}$ " que cuenta con un rango de 0 – 15 psi) espaciados en una longitud de 2.00 m, donde la diferencia en la lectura de los dos manómetros, que se encuentran en cada línea, nos determinan la pérdida de presión en la longitud con una temperatura determinada. (Moyano Díaz, 2014)

La ecuación de Darcy-Weisbach es la más recomendable para calcular las pérdidas de energía por conducción, siempre y cuando se evalúe un coeficiente de pérdidas que la ecuación de Colebrook-White realiza para flujo turbulento. Sin embargo, la ecuación de Colebrook-White contiene este valor en forma implícita, impidiendo la sustitución en la ecuación de Darcy-Weisbach. Esta dificultad ha impedido aprovechar las ventajas de las ecuaciones de Darcy-Weisbach y de Colebrook- White, principalmente en redes de tubos y ha motivado el uso

generalizado de ecuaciones empíricas menos precisas, con la única ventaja de poderse aplicar con facilidad, en cualquier caso.

Se ha insistido por diferentes caminos en aprovechar los resultados de la ecuación de Colebrook-White. La Hydraulics Research Station combinando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y de Colebrook-White obtuvo una ecuación explícita para calcular el gasto en los tubos. Sin embargo, para obtener una ecuación explícita para calcular las pérdidas de energía por conducción, es necesario realizar ajustes a la ecuación de Colebrook-White.

Un procedimiento que ha sido empleado por Jeppson y Davis consiste en ajustar esta ecuación a la forma donde  $a$  y  $b$  se obtienen resolviendo dos ecuaciones simultáneas para  $a$  y  $b$ , correspondientes a dos valores del gasto en un corto intervalo de variación.

El inconveniente de este procedimiento es que dentro de un método de revisión es necesario obtener continuamente los valores de  $a$  y  $b$  para cada tubo en todo el proceso de solución iterativo.

Otro procedimiento es obtener previamente una ecuación explícita para calcular el coeficiente de pérdidas ajustado a los resultados de la ecuación de Colebrook-White. Esta opción resulta muy conveniente; sin embargo, el problema es obtener un ajuste enteramente satisfactorio. (Claudio & Brunelli, 2000)

Se debe acotar que dos investigadores norte - americanos, después de un cuidadoso examen estadístico de obtención de datos elaborados por más de 30 investigadores, los propios, inclusive los de Darcy y los que discurrieron de investigaciones propias, propusieron en 1903, una fórmula práctica que puede ser escrita de la siguiente manera:

$$Sf = K \frac{V^{1.85}}{D^{1.17}}$$

### **Ecuación 1. Ecuación inicial para el cálculo de pérdidas de carga.**

Dónde:

K: Coeficiente de rugosidad

SF: Perdida de carga unitaria

V: Velocidad

D: Diámetro

Para posteriormente plantear la ecuación que se utiliza en la actualidad para el cálculo de pérdidas de carga definida así:

$$H_f = \frac{1,21 \times 10^{10}}{(25,4 \times D)^{4,87}} * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} * L$$

**Ecuación 2. Ecuación de Hazen Williams para el cálculo de pérdidas de carga.**

Dónde:

Hf = pérdida de carga, metros

D = diámetro de la tubería, pulgadas

Q = Gasto de conducción, litros/seg. (Caudal)

C = Coeficiente de Hazen - Williams, adimensional

L = Longitud de la conducción a tratarse, metros

$1.21 \times 10^{10}$  = Factor de conversión

Los anteriores autores basaron la investigación en experiencias con tuberías de los siguientes materiales: acero, concreto, plomo, estaño, hierro forjado, hierro fundido, latón madera, ladrillo y vidrio. Sus límites de aplicación son los más amplios: diámetros de 50 a 3500 mm. La fórmula de Hazen - Williams, de empleo generalizado en los EE. UU., Canadá y México, se volvió más conocida en América Latina después de 1920. En Brasil, por ejemplo, Henrique de Novaes la aplicó en esta época, en Río de Janeiro, para cálculo de tuberías de gran diámetro. En Europa, su aceptación es cada vez mayor, especialmente después de la última guerra. (Autonoma & Antonio, 2008)

La tubería CPVC (**Policloruro de Vinilo Clorado**) resulta ser un producto con mayor resistencia a la temperatura que el PVC, ya que puede ser usado en aplicaciones de altas temperaturas como la tubería para el transporte de agua caliente. Algunas propiedades investigadas fueron la densidad, el punto de ablandamiento y la resistencia a la tracción, que aumentan en la interacción con el vinilo de clorado. (Gupta, 1974)

## 6.2. Limitaciones

- El banco hidráulico de agua caliente actual tiene algunos accesorios que deben ser reemplazados por unos nuevos, la limitación se encuentra en si la maquina funcione en condiciones óptimas con las adecuaciones.
- Los ensayos que deben realizarse con el banco hidráulico de agua caliente son numerosos, y se necesita la colaboración por parte del encargado del laboratorio de hidráulica para programar las visitas y la disponibilidad de las instalaciones para el desarrollo de las pruebas.
- La parametrización de las ecuaciones depende de una extensa recolección de información sobre el cálculo de pérdidas de energía, ya que, la investigación está enfocada en el planteamiento de una herramienta práctica y sencilla para cualquier profesional de la ingeniería que necesite de estas.
- La tubería CPVC que se utilice debe ser sometida a varios ensayos con agua a diferentes temperaturas para realizar el protocolo de envejecimiento de estas, se debe encontrar una rutina estándar que se asemeje a la que es sometida a diario en las redes domiciliarias

## **7. OBJETIVOS**

### **7.1. Objetivo general**

- Diseñar un protocolo para la rutina de envejecimiento en tuberías CPVC para probar la sección transversal y longitudinal, determinando las deformaciones que sufre esta a lo largo de su vida útil al ser sometida a temperaturas elevadas (65°C – 80 °C).

### **7.2. Objetivos específicos**

- Presentar una serie de ecuaciones prácticas para estudiantes y profesionales que requieran información hidráulica sobre pérdidas de energía en tuberías cpvc.
- Construir una serie de gráficas explicativas sobre el comportamiento de las pérdidas de energía de agua caliente en función de las distintas temperaturas de operación (25, 35, 45, 55, 65°C)
- Estimar las ecuaciones del gradiente hidráulico en función de la temperatura de operación típica y los diámetros reales para tuberías de agua caliente en uso domiciliario.
- Elaborar prácticas de laboratorio con el banco hidráulico de agua caliente para la obtención de datos para la elaboración de las gráficas y ecuaciones.

## **8. JUSTIFICACIÓN**

La siguiente investigación está enfocada en la parametrización de una serie de ecuaciones para el cálculo de pérdidas de energía, ya que, se identifica que empresas privadas del sector encargadas de la elaboración y el diseño de este tipo de tuberías generalizan de manera global el comportamiento de estas, sin tener en cuenta factores influyentes tales como los que se mencionan en las ecuaciones de (Darcy Weisbach, Colebrook-White, Hazen-williams) que son determinadas a través de diferentes variables que se encuentran directamente relacionadas con el diámetro de la tubería.

Dentro de la investigación se evidencia que en el protocolo para la rutina de envejecimiento de las tuberías CPVC el efecto de la alta temperatura del agua es proporcionalmente directo a la velocidad de propagación de la grieta (Blanco, Martínez, González, & González, 2019), factor que afecta la vida útil de estas en la red de distribución domiciliaria ya que se produce un proceso de deformación acelerado; esta investigación pretende cumplir con los requerimientos establecidos en la norma técnica colombiana (NTC 1062) del año 2014.

## **9. MARCO TEORICO**

### **9.1. Marco teórico**

En el caso de tuberías horizontales, la pérdida de carga se manifiesta como una disminución de presión en el sentido del flujo. La pérdida de carga está relacionada con otras variables fluido dinámicas según el tipo de flujo, laminar o turbulento. Además de las pérdidas de carga lineales (a lo largo de los conductos), también se producen pérdidas de carga singulares en puntos concretos como codos, ramificaciones, válvulas, etc.(Universidad de Oviedo, 2004)

Para el estudio del flujo de los fluidos se hace necesaria la definición de condiciones generales. Entre las cuales, para la presente investigación, es de vital importancia comenzar especificando los diversos tipos de flujos definidos, sus características y las consecuencias que éstos traen para el sistema estudiado.

#### **- Flujo Laminar**

Este tipo de flujo se presenta en bajas velocidades o en fluidos con alta viscosidad. En él las partículas se mueven en trayectorias bien definidas, en general, aproximándose a las láminas o las capas paralelas que permanecen con sus identidades preservadas. La acción de la viscosidad es determinante en este tipo de flujo ya que actúa en el sentido de amortiguar los movimientos de las partículas que podrían generar turbulencia.

#### **- Flujo turbulento**

Este tipo de flujo suele ocurrir en sistemas con velocidades más altas o en fluidos de viscosidad más baja. Siendo el agua el fluido preponderante en los estudios de la hidráulica y siendo una característica de la viscosidad baja, el tipo más común de flujo en los estudios de hidráulica es el turbulento. Las trayectorias de las partículas del líquido en este caso son irregulares, con movimiento aleatorio, resultando en una transferencia de cantidad de movimiento entre las capas del líquido.

#### **- Numero de Reynolds**

Conforme a Azevedo Netto (1998), tras las investigaciones teóricas y experimentales conducidas con diferentes diámetros y temperaturas, Reynolds concluyó que el valor de la velocidad en el flujo no era el único criterio para prever qué tipo de flujo se produciría en una canalización. En realidad, mejor criterio para esta determinación residiría en una expresión adimensional, en la que se

considera, además de la velocidad, la viscosidad del líquido y el diámetro de la tubería.

$$Re = \frac{v * D}{\nu}$$

### **Ecuación 3. Ecuación número de Reynolds**

Dónde:

v = velocidad del fluido (m / s)

D = diámetro de la canalización (m)

$\nu$  = viscosidad cinemática (m<sup>2</sup> / s)

Para un mejor fundamento teórico de la presente investigación toda la teoría que se trata de este tema es dirigida a la forma de flujo de los fluidos en tubos, principalmente los circulares. Esto sucede porque los tubos con una sección transversal circular pueden soportar grandes diferencias de presión entre el interior y exterior sin sufrir una distorsión significativa.

#### **- Energía mecánica**

La energía mecánica es el tipo de energía que se puede convertir directa y completamente en el trabajo mecánico por un dispositivo mecánico ideal como, por ejemplo, una turbina ideal. Los tipos más comunes de energía mecánica son la energía cinética y la energía potencial. Por el hecho de la transferencia de energía mecánica del fluido a los equipos ocurren a través de la variación de la presión del mismo, la presión del fluido en flujo también está asociado a la energía mecánica. Lo que es importante destacar, conforme a Çengel y Cimbala (2012), que la presión en sí no es una forma de energía, sino la fuerza de presión en un fluido a lo largo de una distancia que produce trabajo, llamado de trabajo de flujo y siendo común verlo como parte de la energía de un fluido, se puede llamar también de energía del flujo, habiendo definido las parcelas de la energía mecánica se puede expresar según la siguiente ecuación:

$$e = \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + g * z$$

### **Ecuación 4. Ecuación energía mecánica**



Dónde:

$y$  = energía mecánica

$p / \rho$  = energía de flujo

$V^2 / 2$  = energía cinética  $g.z$  = energía potencial

De esta forma en mecánica de fluidos, generalmente la variación de la energía mecánica puede expresarse como:

$$\Delta e = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g * (Z_2 - Z_1)$$

#### **Ecuación 5. Ecuación variación de energía**

Dónde:

$\Delta e$  = variación de la energía mecánica

$P$  = presión en el punto de salida

$V$  = velocidad en el punto de salida

$\rho$  = masa específica del fluido

$g$  = aceleración de la gravedad

$z$  = coordenada altimétrica en el punto del flujo

#### **- Ecuación de Bernoulli**

Tomando por base conceptos teóricos discutidos anteriormente se procede a un desarrollo matemático para la ecuación. Considerando una partícula de fluido en una línea de corriente de dirección que por la segunda ley de Newton (llamada ley fundamental de la dinámica) tenemos la siguiente ecuación:

$$\sum F = m * a$$

#### **Ecuación 6. Ecuación ley fundamental de la dinámica**

Dónde:

$\Sigma F$  = suma de fuerzas

m = masa

a = aceleración

Adoptando la suma de las fuerzas donde los desechos son despreciables, las fuerzas que actúan sobre la partícula son las presiones que actúan en ambos lados y el componente de la fuerza peso que actúan en una misma dirección. Así la ecuación anterior se vuelve:

$$P * dA - (P + dP) * dA - W * \text{sen}\theta = m * V * \frac{dV}{ds}$$

Dónde:

V = velocidad de la partícula en el punto

P = fuerza de presión aplicada

$\Theta$  = ángulo entre la normal de la línea de corriente y el eje vertical z en el punto considerado

m =  $\rho \cdot \text{Vol} = \rho \cdot dA \cdot ds$  = masa

W = m.g =  $\rho \cdot g \cdot dA \cdot ds$  = peso de la partícula

Sen  $\Theta$  = dz / ds

Sustituyendo los términos:

$$-dP * dA - \rho * g * dA * ds \frac{dz}{ds} = \rho * dA * ds * V \frac{dV}{ds}$$

Simplificando se tiene:

$$-dP - \rho * g * dz = \rho * V * dV$$

Observando que  $V \cdot dV = 1/2 \cdot d(V^2)$  y dividiendo cada término por  $\rho$  se tiene:

$$\frac{dP}{\rho} + \frac{1}{2} * d(V^2) + g * dz = 0$$

Integrando:

$$\frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + g * z = constante$$

Dónde:

$p / \rho$  = energía de flujo

$V^2 / 2$  = energía cinética

$g.z$  = energía potencial

Es de gran importancia resaltar estos aspectos pues es sobre lo que denomina el concepto de carga que será muy utilizado en el curso de esta investigación. (“Proposta experimental para determinação da perda de carga localizada em conexões de cpvc em sistemas de água quente,” 2018)

## **9.2. Marco conceptual**

### **- Tubería**

Las tuberías son elementos de diferentes materiales que cumplen la función de permitir el transporte el agua u otros fluidos en forma eficiente. Cuando el líquido transportado es petróleo, se utiliza la denominación específica de oleoducto. Cuando el fluido transportado es gas, se utiliza la denominación específica de gasoducto. (Cuabana, n.d.)

### **- Policloruro de vinilo clorado (CPVC)**

Es un termoplástico descubierto por Schoenburg, C of IG Farbenindustrie en 1934, diseñado para resistir mayores presiones y temperaturas que el PVC. Hecho por post-cloración de PVC, la cual permite que su máximo uso de servicio pase de una temperatura de 70°F a 210°F (21°C a 99°C). Se utiliza ampliamente para la distribución de agua potable, aguas residuales y en condiciones limitadas. Aplicaciones para distribución de gas.

El CPVC, a diferencia del PVC, tiene una estructura química más rígida, es más resistente a la mayoría de los ácidos, bases y sales minerales, pero se torna quebradizo a bajas temperaturas. (David. A Chasis, 1988)

- **Fatiga**

La fatiga es el proceso de cambio estructural permanente, progresivo y localizado que ocurre en un material sujeto a tensiones y deformaciones VARIABLES en algún punto o puntos y que produce grietas o la fractura completa tras un número suficiente de fluctuaciones. (Cuabana, n.d.)

- **Envejecimiento**

Envejecimiento se refiere a cualquier proceso degradativo producido por la interacción entre un material y un medio ambiente, que da lugar a alteraciones en la estructura del material y sus propiedades. Por lo general esta degradación es irreversible. La resistencia que presenta un material al envejecimiento es comúnmente conocida como durabilidad (la durabilidad está definida como la capacidad de un material para mantener sus propiedades físicas, mecánicas y estéticas. (Javier, Rojas, & Santander, n.d.)

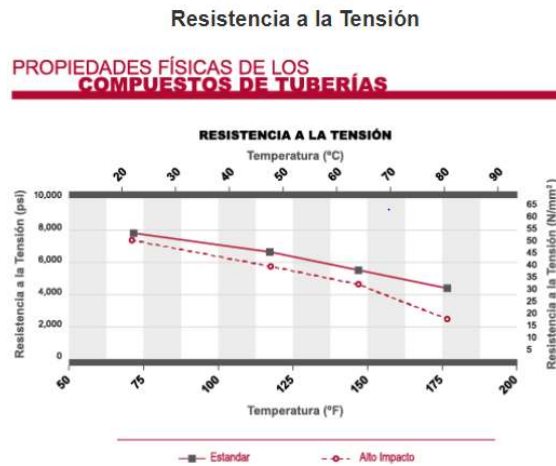
- **Banco hidráulico**

Es una máquina que permite una amplia gama de experiencias en la mecánica de fluidos. Es de construcción particularmente robusta y todas las superficies mojadas son de material inoxidable al fin de permitir un funcionamiento seguro y duradero sin inconvenientes. La unidad es autosuficiente y necesita solamente la alimentación eléctrica. Con el sistema se suministran unos manuales completos que describen la unidad en todas sus partes, las modalidades de instalación y utilización y proponen numerosas experiencias didácticas acompañadas por resultados experimentales. (Hidráulico, n.d.)

### 9.2.1. Propiedades físicas

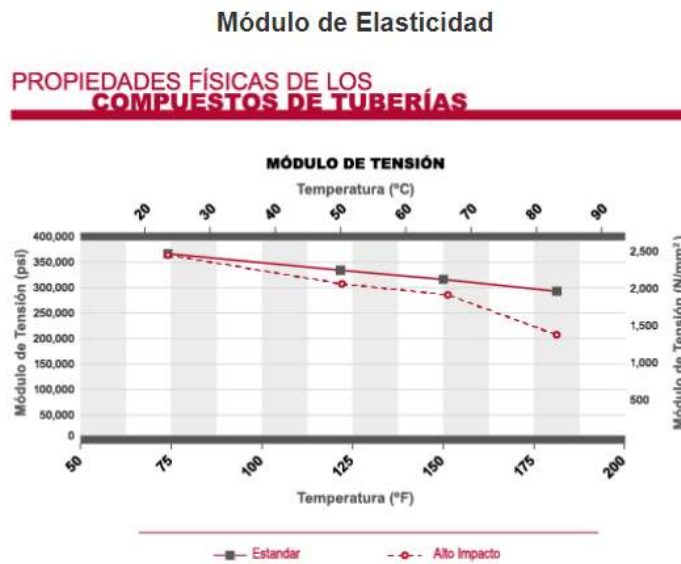
Las siguientes propiedades físicas básicas son estándar para todo el material de CPVC Corzan (Corzan Industrial Systems, 2018)

**Figura 1. Resistencia a la tensión tubería cpvc**



**Fuente:** (Corzan Industrial Systems, 2018)

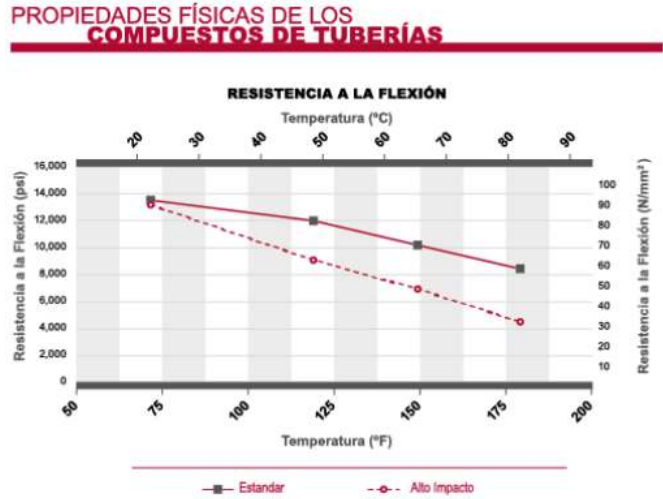
**Figura 2. Módulo de Elasticidad tubería cpvc**



**Fuente:** (Corzan Industrial Systems, 2018)

**Figura 3. Resistencia a la flexión tubería cpvc**

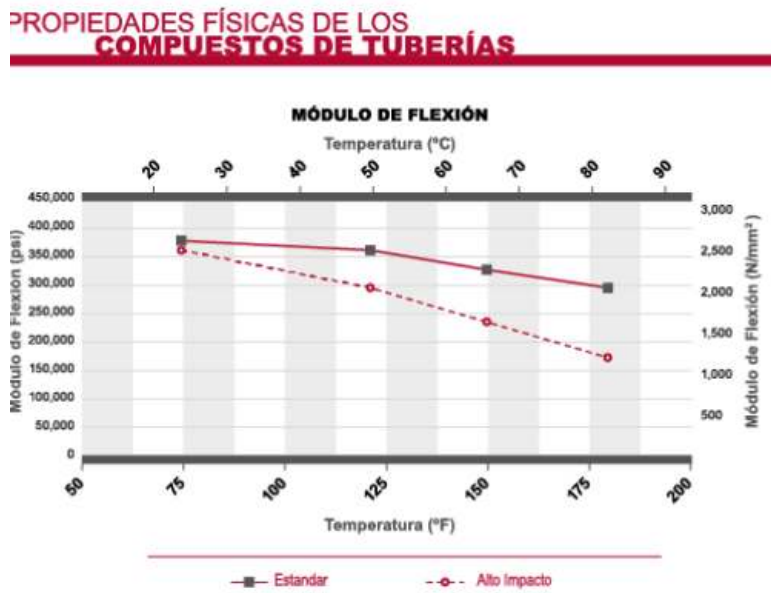
**Resistencia a la Flexión**



**Fuente:** (Corzan Industrial Systems, 2018)

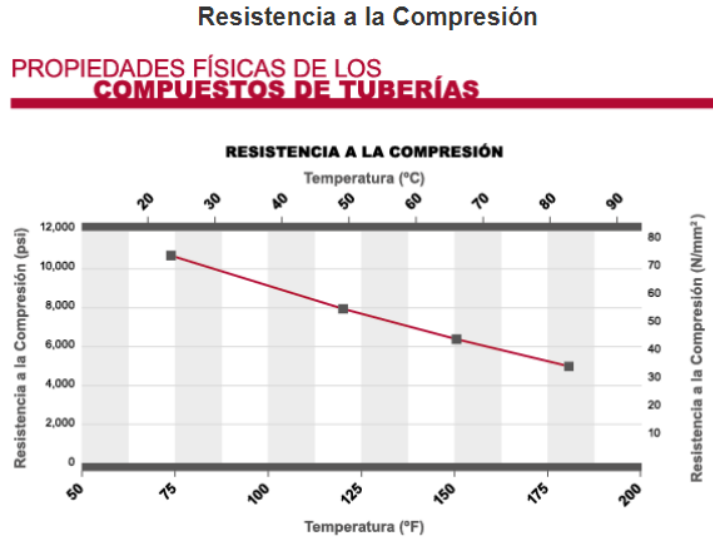
**Figura 4. Módulo de flexión tubería cpvc**

**Módulo de Flexión**



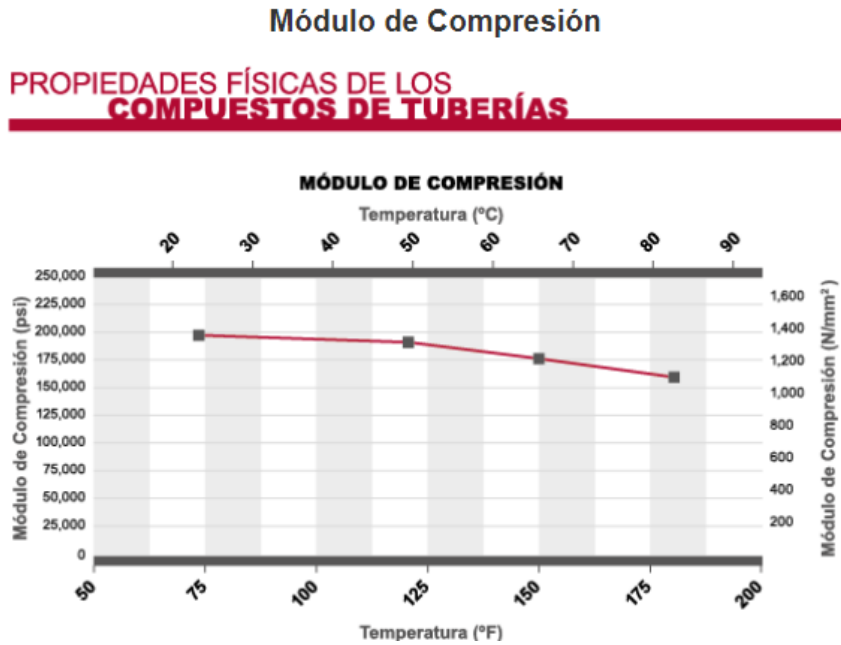
**Fuente:** (Corzan Industrial Systems, 2018)

**Figura 5. Resistencia a la compresión tubería cpvc**



**Fuente:** (Corzan Industrial Systems, 2018)

**Figura 6. Módulo de compresión tubería cpvc**



**Fuente:** (Corzan Industrial Systems, 2018)

- Capacidades térmicas (Corzan Industrial Systems, 2018)

**Figura 7. Módulo de elasticidad y presión tubería cpvc**

**MÓDULO DE ELASTICIDAD  
Y PRESIÓN DE TRABAJO PARA CPVC**

---

**MÓDULO DE ELASTICIDAD Y PRESIÓN DE TRABAJO PARA CPVC**

Temperatura (°F)	Módulo, E (psi)	Presión, S (psi)
73	423,000	2,000
90	403,000	1,800
110	371,000	1,500
120	355,000	1,300
140	323,000	1,000
160	291,000	750
180	269,000	500

**Fuente:** (Corzan Industrial Systems, 2018)



### 9.3. Marco histórico

#### - Ludwig Hagen (1797-1884)

Estudiando el flujo en conductos cerrados, encuentra la zona de traspaso entre flujo laminar y turbulento, y observa que depende de la velocidad y la temperatura del fluido, así como del diámetro y la rugosidad del conducto. Poiseulle (1799-1869), estudia el movimiento de la sangre en venas y capilares, y determina experimentalmente la relación entre presión y caudal en capilares.

Ludwig Prandtl (1875-1953), que observa la aparición y define la teoría de la capa límite, se considera como uno de los creadores de la mecánica de fluidos moderna. Theodor Von Karman (1881-1963) estudia los vórtices detrás de un cilindro, define las fuerzas de arrastre y sustentación de cuerpos en el seno de un fluido en régimen turbulento. (Bergadà Granyó, 2012)

$$\frac{1}{\sqrt{f'}} = -2 \log \left[ \frac{\frac{\epsilon}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f'}} \right]$$

#### **Ecuación 7. Ecuación planteada por Von Karman y Prandtl**

Dónde:

D: Diámetro

Re: Numero de Reynolds

F: Factor de fricción

E: Rugosidad

Esta ecuación está basada en estudios experimentales en tuberías comerciales e incluye consideraciones teóricas de los trabajos de von Karman y Prandtl, misma que el propio Lewis F. Moody (1944) afirmó que arrojan resultados satisfactorios, ya que contempla tuberías lisas y rugosas, de la cual se origina el conocido Diagrama de Moody para obtener de manera gráfica factores de fricción.

Lo anterior convierte a la correlación de CW en una ecuación estándar y la más aceptada para la estimación del factor de fricción a régimen turbulento y para rugosidad relativa ( $0 < \epsilon/D < 0.05$ ). Sin embargo, como se observa en la ecuación (4), el factor de fricción se encuentra implícito en ella, impidiendo su despeje y complicando su utilización, para lo cual se requiere del uso de métodos numéricos. (Anaya-Durand, Cauich-Segovia, Funabazama-Bárcenas, & Gracia-Medrano-Bravo, 2014b)

El ingeniero alemán Johann Nikuradse, en 1933, hizo una serie de experimentos en los cuales usó tubos de diferentes diámetros en cuyo interior pegó arenas de granulometría uniforme de manera que obtuvo varias relaciones  $\epsilon/D$  (rugosidad relativa) perfectamente determinadas. En cada uno de los tubos varió el caudal de forma que obtuvo un amplio rango de números de Reynolds, con flujos que cubrían el rango desde laminar hasta turbulento y comportamiento hidráulicamente rugoso. (Nikuradse, 1933)

#### **9.4. Marco legal**

En el presente trabajo se realizarán análisis de pérdidas de energía, los cuales se llevarán bajo la norma NTC 1062, sistemas de distribución de agua caliente y fría con tubería plástica de poli (cloruro de vinilo) clorado (CPVC) esta norma es una adopción modificada por traducción (MOD) de la norma ASTM D2846/2846M. (Técnica, 2014)

El ICONTEC no tiene una norma específica para efectuar prácticas de envejecimiento. Debido a esto se optó por tomar una norma internacional, en este caso Se trata de ASTM D1435 "Standard practice for outdoor weathering of plastics", la cual es equivalente a ISO E 877 "Métodos for exposure to direct weathering". (Javier et al., n.d.)

## 10. ESTADO DEL ARTE

Como se ha señalado, fue Darcy en 1857, el primero que tuvo en cuenta la influencia del estado de las paredes interiores de las tuberías en la cuantía de las pérdidas de carga. A partir de este conocimiento fundamental numerosos investigadores propusieron fórmulas para expresar las pérdidas de carga en las tuberías. Pero fue Osborne Reynolds con la publicación de sus resultados en 1883, el que abrió al fin el camino al tratamiento científico del problema, al reconocer la existencia del flujo laminar y el turbulento, fijar sus límites y utilizar el análisis dimensional para proponer una fórmula racional para expresar la resistencia al flujo en conductos.

Sin embargo, no es hasta que Blasius en 1913 y Stanton en 1914, relacionan el coeficiente de fricción,  $f$ , de la fórmula de Weisbach-Darcy con el número de Reynolds y la rugosidad de la tubería, que se inicia un nuevo camino en el análisis racional de las pérdidas de carga en las tuberías. A partir de esa fecha, la relación antes mencionada, se comienza a representar en gráficos doble logarítmicos, conocidos posteriormente como diagramas de Stanton. (Pérez, 2002)

La importante relevancia del flujo en las tuberías radica en dos factores: primero está el aspecto práctico evidente de que el flujo en tuberías se presenta en la mayor parte de aparatos y sistemas y, por consiguiente, debe ser entendido por los ingenieros; el segundo factor es tal vez menos obvio y proviene del hecho de que una gran cantidad de información útil y muchos conceptos del flujo en tuberías pueden aplicarse en otros estudios de fluidos; por ejemplo el flujo turbulento en tuberías, la turbulencia origina el llamado esfuerzo aparente así como el transporte de moléculas que causan el esfuerzo viscoso, y se demarcan dentro del marco teórico sobre flujos en las tuberías tres zonas de flujo en tuberías, las cuales son: zona de tubería lisa, zona de tubería rugosa y zona de transición. (Shames, 1995)

El flujo de fluidos es una parte crucial para realizar operaciones en las plantas industriales, especialmente en el sector de la industria química. Dentro de la dinámica de éstos, siempre ocurre fricción de los mismos con la tubería y en diferentes accesorios, ocasionando pérdidas de presión en el flujo a lo largo de su trayectoria. Es importante conocer esta caída de presión para una apropiada operación del proceso a realizar, por ello se han efectuado diferentes estudios para la evaluación de ellas. (Anaya-Durand, Cauich-Segovia, Funabazama-Bárcenas, & Gracia-Medrano-Bravo, 2014a)

Dentro de la caracterización de la concentración y la estructura del polímero se realizan modificaciones con base de la temperatura, del aro circunferencial, del tiempo de exposición y de la ubicación en la pared de la tubería.

En cierta etapa, el sistema de estabilización alcanzó agotamiento en alguna parte de la pared de la tubería y se produjo una oxidación auto catalítica rápida del polímero que ocasiono una disminución de la vida útil total de la tubería. (Viebke & Gedde, 1997)




Los momentos de flexión en las curvas en las tuberías pueden causar ovalaciones y tensiones graves, tanto en sentido longitudinal como circunferencial. La rigidez a la flexión depende no solo del radio de la curva, sino de la relación diámetro-pared-espesor y la presión interna o externa, pero también en la longitud de la curvatura.


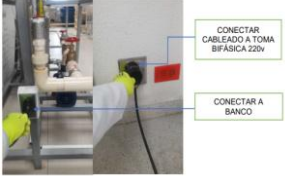
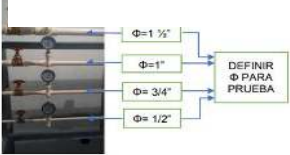
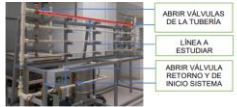

- Ovalización de la sección transversal:

Si el mecanismo se caracteriza por las bisagras plásticas circunferenciales constituyen la condición reinante, las tensiones en la dirección longitudinal aún no han alcanzado, o no en todas partes, el punto de fluencia. Debido al mecanismo, estas tensiones longitudinales no pueden aumentar más, lo que significa que, con la curvatura creciente de la curvatura, las deformaciones longitudinales no experimentarán ningún cambio o apenas ningún cambio adicional. Las curvaturas se desarrollarán luego como resultado del aumento progresivo de la Ovalización. (Garruti & Sgarbieri, 1983)



## 11. METODOLOGÍA

**Tabla 1. Procedimiento para la elaboración de práctica de laboratorio para recolección de datos.**

Título	Actividad	Fotografía
<p><b>Pruebas iniciales banco hidráulico agua caliente</b></p>	<p>Se realizan pruebas con el banco hidráulico inicial para la verificación de la toma de presiones, no se evidencia ninguna marcación de presión en tuberías de 1", 1½", ¾"; se evidencia problemas hidráulicos como succión en la tubería.</p>	<p><b>Figura 1. Banco hidráulico s modificaciones</b></p>  <p>Fuente: Autor</p>
<p><b>Modificación banco hidráulico de agua caliente</b></p>	<p>Se realizan modificaciones a la maquina como cambio de accesorios (uniones, tee y válvulas), de Caudalímetro a medidor volumétrico para agua caliente, adecuación de la tubería para obtener marcación de presión y mantenimiento de la resistencia y sensor de temperatura.</p>	<p><b>Figura 2. Cambio de medidor volumétrico</b></p>  <p>Fuente: Autor</p>
<p><b>Pruebas sujetas a cambios</b></p>	<p>Se realizaron pruebas para la verificación de la ausencia de fugas de agua dentro de la máquina, marcación de presiones y ausencia de succión dentro del sistema y funcionamiento de la resistencia.</p>	<p><b>Figura 3. Tuberías para estudio</b></p>  <p>Fuente: Autor</p>

Continuación tabla 1.		
<p><b>Llenado del tanque de almacenamiento</b></p>	<p>Se realiza el llenado del tanque por medio de una manguera verificando el nivel de agua por medio de la mirilla.</p>	<p><b>Figura 4. Llenado del tanque de almacenamiento</b></p>  <p>Fuente: Autor</p>
<p><b>Conexión del cableado</b></p>	<p>Primero, conectar el cable a la toma del banco hidráulico, posteriormente conectar a una toma corriente bifásica de 220 voltios.</p>	<p><b>Figura 5. Conexión cableada</b></p>  <p>Fuente: Autor</p>
<p><b>Estado de válvulas</b></p>	<p>Se deben cerrar todas las válvulas del sistema de tuberías</p>	<p><b>Figura 6. Verificación válvulas</b></p>  <p>Fuente: Autor</p>
<p><b>Selección de la tubería para el estudio (1/2", 3/4", 1", 1 1/2")</b></p>	<p>Se selecciona diámetro a trabajar y se realiza la apertura de válvulas de la tubería</p>	<p><b>Figura 7. Selección tubería de estudio</b></p>  <p>Fuente: Autor</p>
<p><b>Puesta en marcha</b></p>	<p>Se enciende la bomba del sistema.</p>	<p><b>Figura 8. Encendido maquina</b></p>  <p>Fuente: Autor</p>

<b>Continuación tabla 1.</b>		
<p><b>Puesta en marcha</b></p>	<p>Encendido de la resistencia y selección de la temperatura de estudio.</p>	<p><b>Figura 9. Selección temperatura</b></p>  <p>Fuente: Autor</p>
<p><b>Toma de presiones manómetros de glicerina</b></p>	<p>Lectura de presiones en manómetro de glicerina para tuberías de diámetros (<math>\frac{1}{2}</math>", <math>\frac{3}{4}</math>"), con rangos ente (0-15 PSI)</p>	<p><b>Figura 10. Lectura presión en manómetro</b></p>  <p>Fuente: Autor</p>
<p><b>Toma de presiones transductores de presión</b></p>	<p>Se realiza lectura de presiones en transductores del laboratorio para tubería de (1", 1 <math>\frac{1}{2}</math>" ), ya que los manómetros de glicerina no están en el rango de presión.</p>	<p><b>Figura 11. Uso de transductores para lectura de presiones</b></p>  <p>Fuente: Autor</p>
<p><b>Toma de volumen de agua para cálculo de caudales</b></p>	<p>Se toma lectura del volumen de agua transportado en un periodo de tiempo de 10 sg, mediante videos y fotografías para posterior cálculo de caudales, como se consigna en el anexo 15.1.</p>	<p><b>Figura 12. Lectura volumen de agua</b></p>  <p>Fuente: Autor</p>

<b>Continuación tabla 1.</b>		
<p><b>Selección temperatura de estudio</b></p>	<p>Se realiza lectura de datos para temperaturas de: (25°C, 35°C, 45°C, 55°C, 65°C)</p>	<p><b>Figura 13. Tablero eléctrico sensor temperatura</b></p>  <p>Fuente: Autor</p>
<p><b>Apertura de válvula de alivio para la modificación de caudales transportados</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para tuberías de (1/2"), se realizan 12 aperturas de media vuelta.</li> <li>- Para tuberías de (3/4" y 1") se realizan 12 aperturas de 1/4 de vuelta.</li> </ul>	<p><b>Figura 14. Válvula de alivio</b></p>  <p>Fuente: Autor</p>
<p><b>Procesamiento de datos</b></p>	<p>Elaboración de tablas dinámicas con la recolección de los datos anteriormente mencionados como: volumen, tiempo y presiones para la obtención de los caudales y pérdidas de carga unitarias, como se consigna en el anexo 15.1.</p>	



<b>Continuación tabla 1.</b>	
<b>Elaboración de gráficas</b>	<p>Se realiza la elaboración de las gráficas con ayuda de las tablas dinámicas tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudal v.s. pérdida de carga unitaria</li> <li>- Pérdida de carga unitaria v.s. temperatura</li> </ul>
<b>Análisis de resultados</b>	<p>Posterior a la elaboración de las gráficas donde de evidencia el comportamiento de los diferentes diámetros de tubería se realiza los análisis de resultados en los cuales se observan variaciones proporcionales a la temperatura y al caudal transportado.</p>

## 12.RESULTADOS

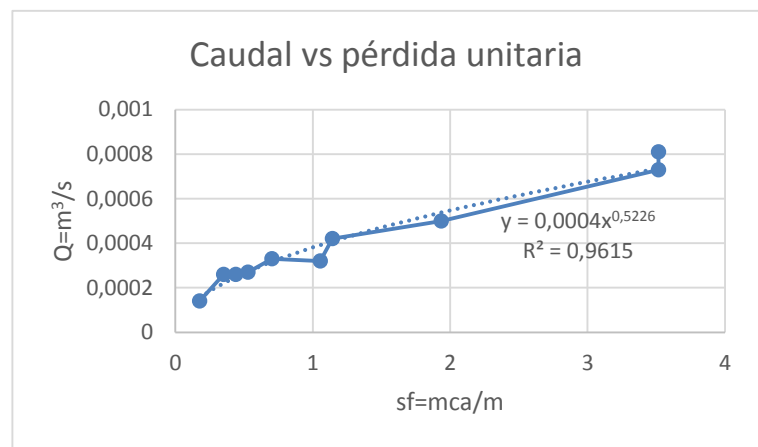
### 12.1. Elaboración de gráficas

- Con la recolección de los datos obtenidos en las prácticas de laboratorio (ver: 15.1) se procede a realizar una consolidación de la información mediante tablas dinámicas para posteriormente aislar las variables que utilizamos a continuación en la elaboración de las gráficas:

- Tubería 1/2"

**Tabla 2. Datos experimentales (1/2") - Figura 15. Gráfica caudal v.s. SF (1/2")**

Temperatura 25	
sf (mca/m)	Caudal (m3/s)
3.516923077	0.00081
3.516923077	0.00073
1.934307692	0.0005
1.143	0.00042
1.055076923	0.00032
0.703384615	0.00033
0.527538462	0.00027
0.439615385	0.00026
0.351692308	0.00026
0.175846154	0.00014
0	0.00013
0	0.00011

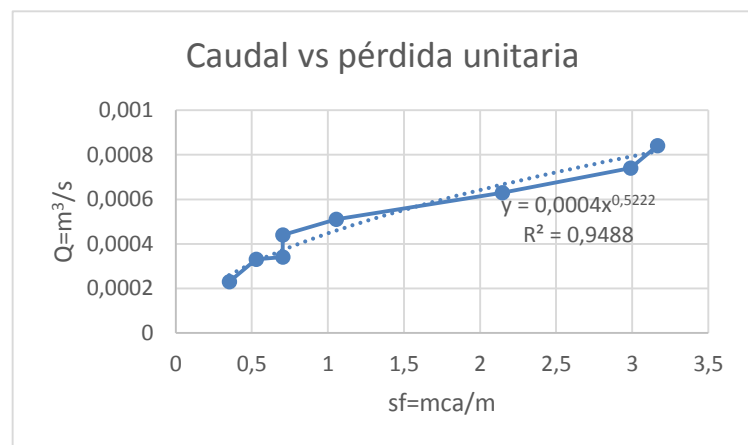


Fuente: Autor

Fuente: Autor

**Tabla 3. Datos experimentales (1/2") - Figura 16. Gráfica caudal v.s. SF (1/2")**

Temperatura 35	
sf (mca/m)	Caudal (m3/s)
3.165230769	0.00084
2.989384615	0.00074
2.145323077	0.00063
1.055076923	0.00051
0.703384615	0.00044
0.703384615	0.00034
0.527538462	0.00033
0.351692308	0.00023
0	0.00019
0	0.00016
0	0.00015
0	0.00013



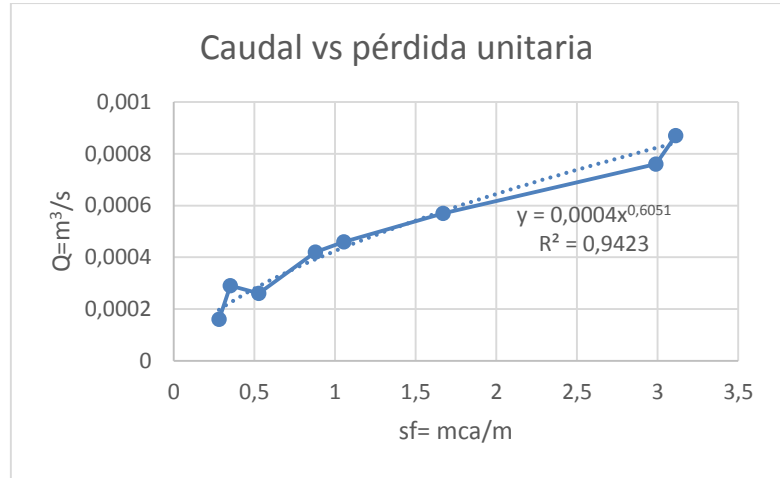
Fuente: Autor

Fuente: Autor

**Tabla 4. Datos experimentales (1/2") - Figura 17. Gráfica caudal v.s. SF (1/2")**

Temperatura 45	
sf (mca/m)	Caudal (m3/s)
3.112476923	0.00087
2.989384615	0.00076
1.670538462	0.00057
1.055076923	0.00046
0.879230769	0.00042
0.527538462	0.00026
0.351692308	0.00029
0.281353846	0.00016
0	0.00015
0	0.00015
0	0.00014
0	0.00014

Fuente: Autor

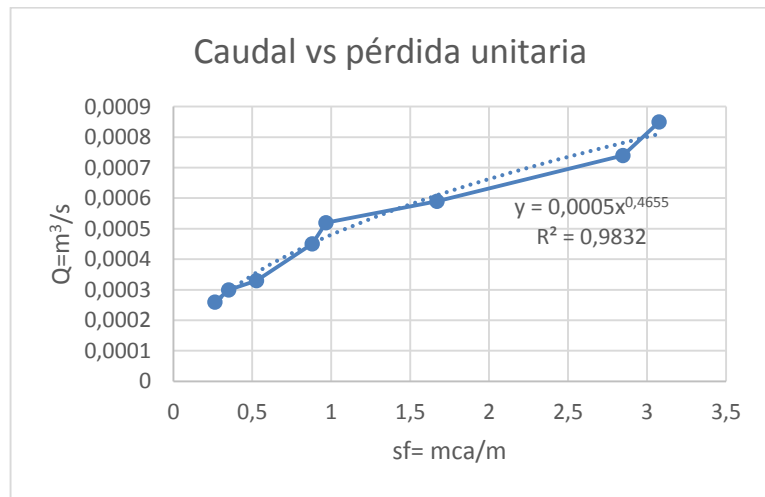


Fuente: Autor

**Tabla 5. Datos experimentales (1/2") - Figura 18. Gráfica caudal v.s. SF (1/2")**

Temperatura 55	
sf (mca/m)	Caudal (m3/s)
3.077307692	0.00085
2.848707692	0.00074
1.670538462	0.00059
0.967153846	0.00052
0.879230769	0.00045
0.527538462	0.00033
0.351692308	0.0003
0.263769231	0.00026
0	0.00024
0	0.00021
0	0.00017
0	0.00013

Fuente: Autor

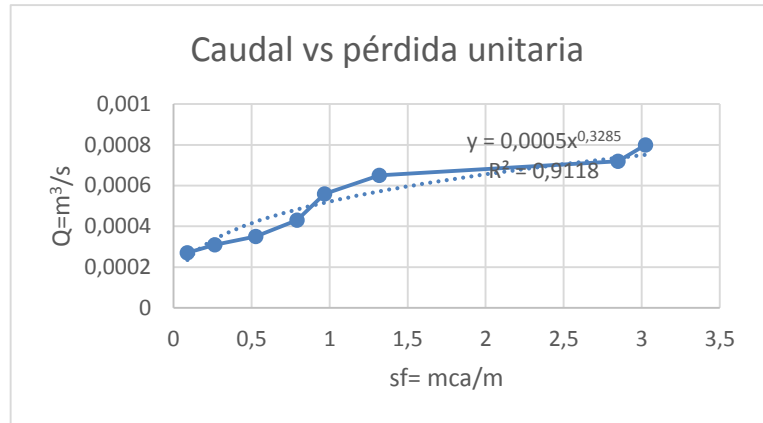


Fuente: Autor

**Tabla 6. Datos experimentales (1/2") - Figura 19. Gráfica caudal v.s. SF (1/2")**

Temperatura 65	
sf (mca/m)	Caudal (m3/s)
3.02455385	0.0008
2.84870769	0.00072
1.31884615	0.00065
0.96715385	0.00056
0.79130769	0.00043
0.52753846	0.00035
0.26376923	0.00031
0.08792308	0.00027
0	0.00016
0	0.00015
0	0.00014
0	0.00014

Fuente: Autor

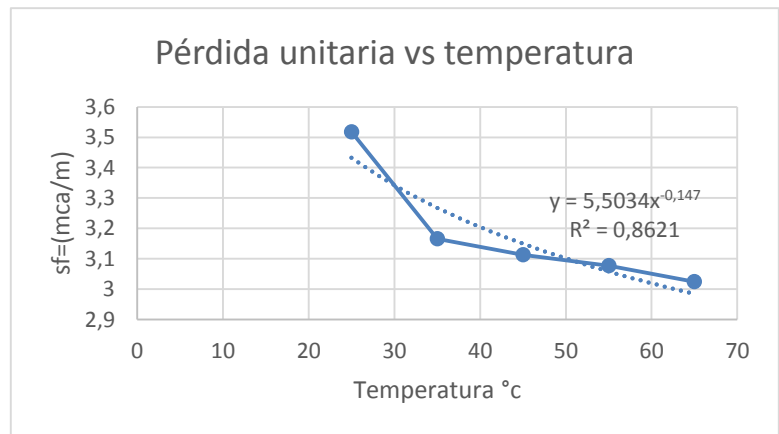


Fuente: Autor

**Tabla 7. Datos experimentales (1/2") - Figura 20. Gráfica SF v.s Temperatura (1/2")**

Temperatura	sf (mca/m)
25	3,51692308
35	3,16523077
45	3,11247692
55	3,07730769
65	3,02455385

Fuente: Autor



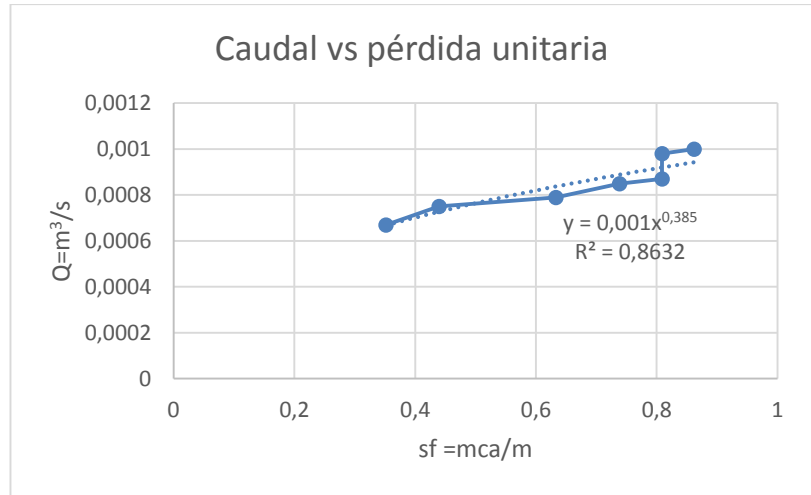
Fuente: Autor

- Tubería 3/4"

**Tabla 8. Datos experimentales (3/4") - Figura 21. Gráfica caudal v.s. SF (3/4")**

Temperatura 25	
sf (mca/m)	Caudal (m3/s)
0.86164615	0.001
0.80889231	0.00098
0.80889231	0.00087
0.73855385	0.00085
0.63304615	0.00079
0.43961538	0.00075
0.35169231	0.00067
0	0.00068
0	0.00061
0	0.00055
0	0.00046
0	0.00043

Fuente: Autor

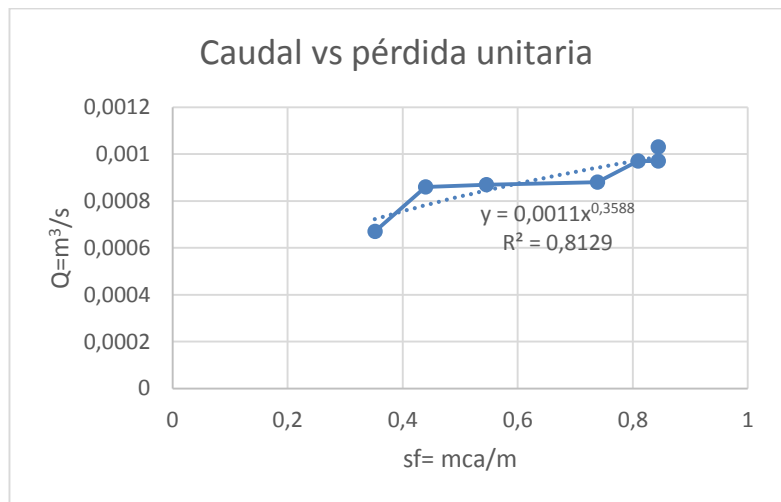


Fuente: Autor

**Tabla 9. Datos experimentales (3/4") - Figura 22. Gráfica caudal v.s. SF (3/4")**

Temperatura 35	
sf (mca/m)	Caudal (m3/s)
0.84406154	0.00103
0.84406154	0.00097
0.80889231	0.00097
0.73855385	0.00088
0.54512308	0.00087
0.43961538	0.00086
0.35169231	0.00067
0	0.00063
0	0.00059
0	0.00057
0	0.00049
0	0.00042

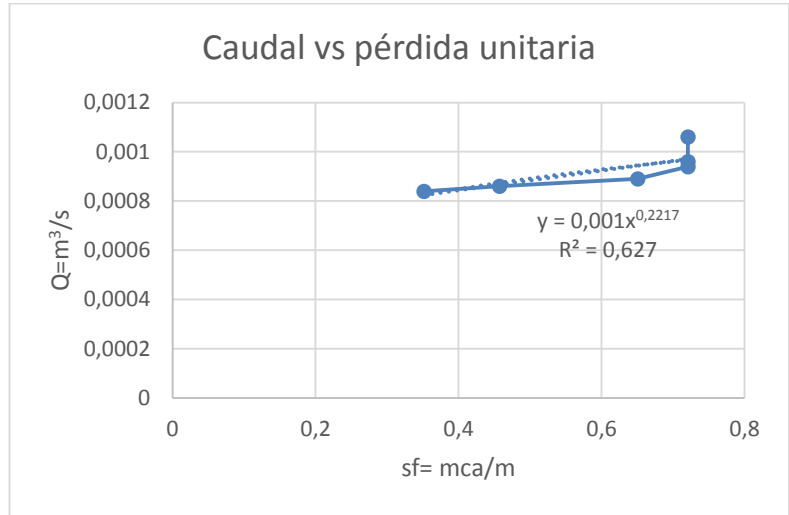
Fuente: Autor



Fuente: Autor

**Tabla 10. Datos experimentales (3/4") - Figura 23. Gráfica caudal v.s. SF (3/4")**

Temperatura 45	
sf (mca/m)	Caudal (m3/s)
0.72096923	0.00106
0.72096923	0.00096
0.72096923	0.00094
0.65063077	0.00089
0.4572	0.00086
0.35169231	0.00084
0	0.00066
0	0.00062
0	0.00054
0	0.00051
0	0.00037
0	0.00035

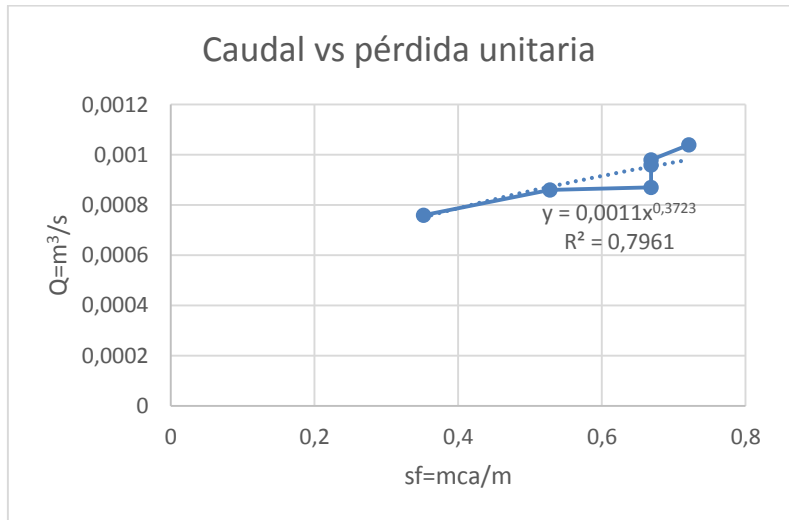


Fuente: Autor

Fuente: Autor

**Tabla 11. Datos experimentales (3/4") - Figura 24. Gráfica caudal v.s. SF (3/4")**

Temperatura 55	
sf (mca/m)	Caudal (m3/s)
0.72096923	0.00104
0.66821538	0.00098
0.66821538	0.00096
0.66821538	0.00087
0.52753846	0.00086
0.35169231	0.00076
0	0.00068
0	0.00062
0	0.00058
0	0.00046
0	0.00036
0	0.00035



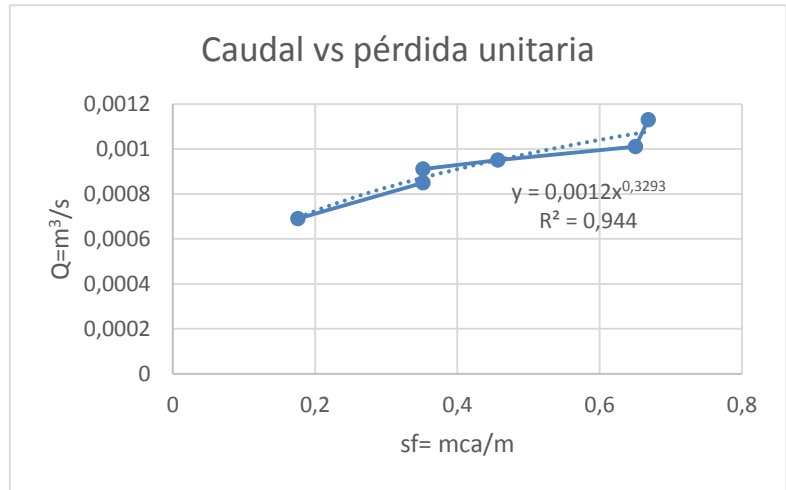
Fuente: Autor

Fuente: Autor

**Tabla 12. Datos experimentales (3/4") - Figura 25. Gráfica caudal v.s. SF (3/4")**

Temperatura 65	
sf (mca/m)	Caudal (m3/s)
0.66821538	0.00113
0.65063077	0.00101
0.4572	0.00095
0.35169231	0.00091
0.35169231	0.00085
0.17584615	0.00069
0	0.00059
0	0.00062
0	0.00052
0	0.00046
0	0.00035
0	0.00034

Fuente: Autor

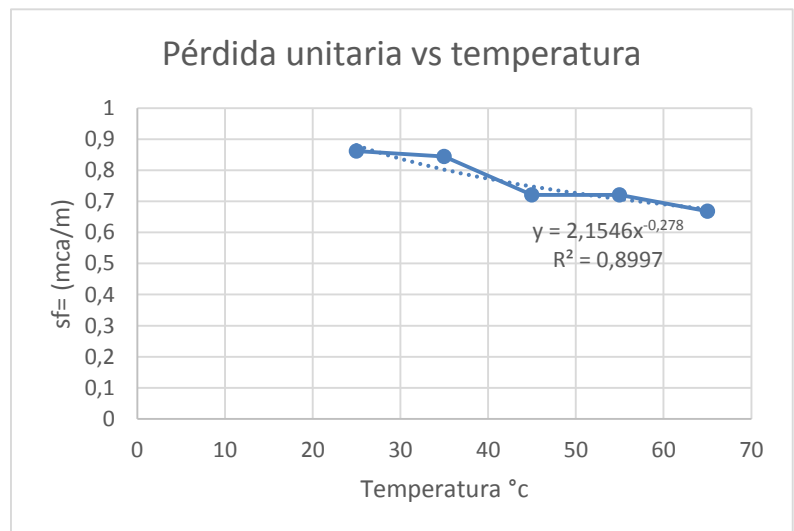


Fuente: Autor

**Tabla 13. Datos experimentales (3/4") - Figura 26. Gráfica SF v.s. Temperatura (3/4")**

Temperatura (°c)	sf (mca/m)
25	0,861646154
35	0,844061538
45	0,720969231
55	0,720969231
65	0,668215385

Fuente: Autor



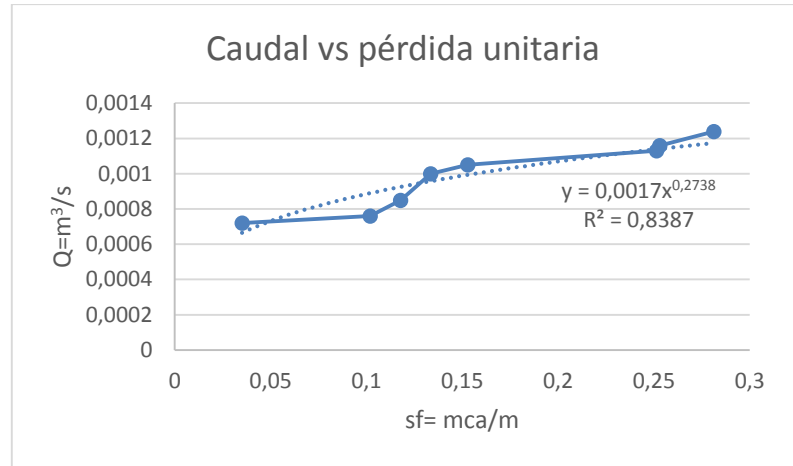
Fuente: Autor

- Tubería 1"

**Tabla 14. Datos experimentales (1") - Figura 27. Gráfica caudal v.s. SF (1")**

Temperatura 25	
sf (mca/m)	Caudal (m3/s)
0.281353846	0.00124
0.253218462	0.00116
0.25146	0.00113
0.152986154	0.00105
0.133643077	0.001
0.117816923	0.00085
0.101990769	0.00076
0.035169231	0.00072
0	0.00068
0	0.00064
0	0.00058
0	0.00045

Fuente: Autor

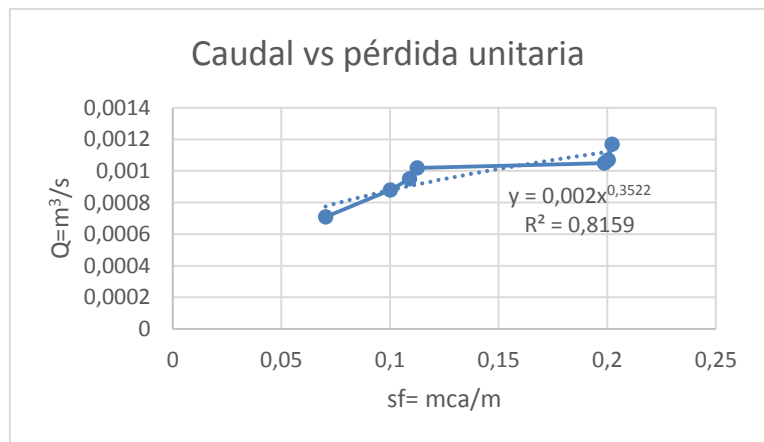


Fuente: Autor

**Tabla 15. . Datos experimentales (1") - Figura 28. Gráfica caudal v.s. SF (1")**

Temperatura 35	
sf (mca/m)	Caudal (m3/s)
0.202223077	0.00117
0.200464615	0.00107
0.198706154	0.00105
0.112541538	0.00102
0.109024615	0.00095
0.100232308	0.00088
0.070338462	0.00071
0	0.00063
0	0.00055
0	0.00051
0	0.00046
0	0.00041

Fuente: Autor



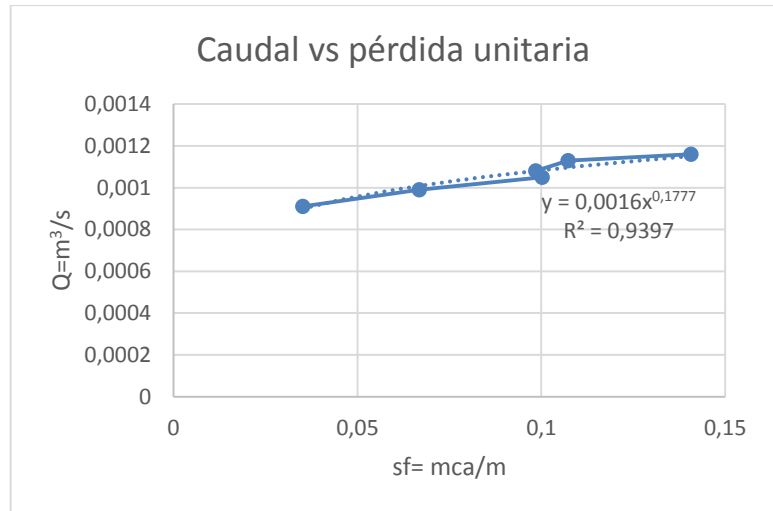
Fuente: Autor



**Tabla 16. Datos experimentales (1") - Figura 29. Gráfica caudal v.s. SF (1")**

Temperatura 45	
sf (mca/m)	Caudal (m3/s)
0.14067692	0.00116
0.10726615	0.00113
0.09847385	0.00108
0.10023231	0.00105
0.06682154	0.00099
0.03516923	0.00091
0	0.00086
0	0.00073
0	0.00067
0	0.00066
0	0.00066
0	0.00063

Fuente: Autor

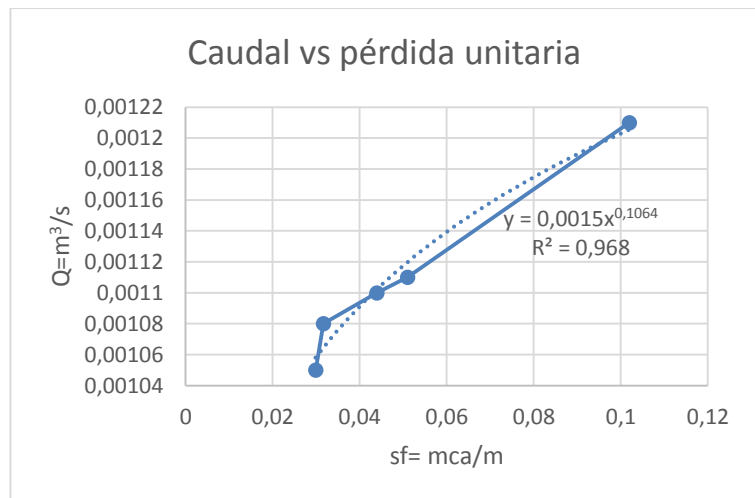


Fuente: Autor

**Tabla 17. Datos experimentales (1") - Figura 30. Gráfica caudal v.s. SF (1")**

Temperatura 55	
sf (mca/m)	Caudal (m3/s)
0.10199077	0.00121
0.05099538	0.00111
0.04396154	0.0011
0.03165231	0.00108
0.02989385	0.00105
0	0.00097
0	0.00093
0	0.00082
0	0.00077
0	0.00071
0	0.00065
0	0.00064

Fuente: Autor

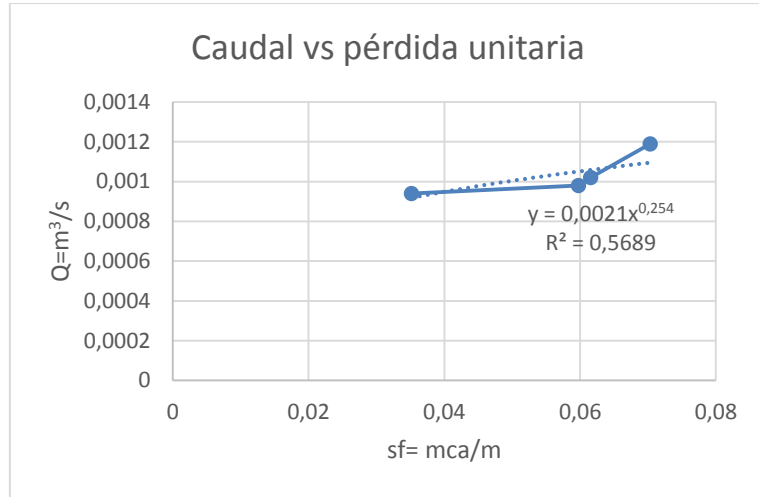


Fuente: Autor

**Tabla 18. Datos experimentales (1") - Figura 31. Gráfica caudal v.s. SF (1")**

Temperatura 65	
sf (mca/m)	Caudal (m3/s)
0.07033846	0.00119
0.06154615	0.00102
0.05978769	0.00098
0.03516923	0.00094
0	0.00089
0	0.00088
0	0.00084
0	0.00079
0	0.00075
0	0.00069
0	0.00065
0	0.00059

Fuente: Autor

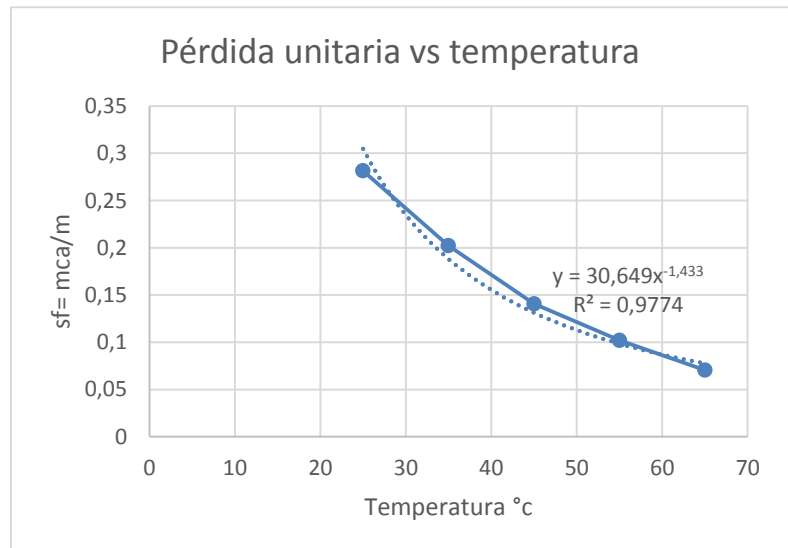


Fuente: Autor

**Tabla 19. Datos experimentales (1") - Figura 32. Gráfica SF v.s. Temperatura (1")**

Temperatura (°c)	sf (mca/m)
25	0,281353846
35	0,202223077
45	0,140676923
55	0,101990769
65	0,070338462

Fuente: Autor



Fuente: Autor

## 12.2. Análisis de resultados

- En prácticas de laboratorio realizadas se evidencia que, entre mayor caudal, mayor son las presiones obtenidas por los manómetros de presión y en las gráficas se observa de igual manera como entre mayor es el caudal, mayor es la pérdida unitaria.
- A medida que la temperatura del fluido incrementa, su viscosidad disminuye. Con el descenso de la viscosidad la velocidad aumenta generando que el fluido tienda a un comportamiento de fluido ideal, por lo tanto, entre mayor es la temperatura menor es la pérdida unitaria, esto lo confirmamos al momento de tomar la presión n°1 la cual con el incremento de temperatura va descendiendo y por otro lado la presión n°2 incrementa proporcionalmente con la temperatura.
- Para la tubería de ½" se tomaron 12 caudales diferentes con apertura de la válvula de alivio cada media vuelta, siendo esta apertura un poco brusca se evidencia en las gráficas el amplio rango de cambio del caudal. Luego cuando observamos la Figura 19. Grafica SF vs. Temperatura obtenemos de la línea de tendencia potencial una ecuación  $Y=5,5034x^{-0,147}$  con un error de  $R^2=0,8621$ .
- Para la tubería de ¾" se tomaron 12 caudales diferentes con apertura de la válvula de alivio cada un cuarto de vuelta, siendo esta apertura menos brusca al variar el caudal. Luego cuando observamos la Figura 25. Grafica SF vs. Temperatura obtenemos de la línea de tendencia potencial una ecuación  $Y=2,1546x^{-0,278}$  con un error de  $R^2=0,8997$ .
- Para la tubería de 1" se tomaron de igual manera que en tubería de ¾" 12 diferentes caudales con una apertura de la válvula de alivio cada un cuarto de vuelta, en esta tubería el caudal es mucho mayor que en las otras dos por su gran diámetro, su requerimiento de agua es mayor para marcar presiones. Cuando se observa la Figura 31. Grafica SF vs. Temperatura obtenemos de la línea de tendencia potencial la ecuación  $Y=30,649x^{-1,433}$  con un error de  $R^2=0,9774$ .

- Para la tubería de 1 ½" se realizaron diferentes ensayos con manómetros de presión y transductores de presión para la toma de datos; pero la bomba no cumple con la demanda requerida para este diámetro de tubería, razón por la cual no marcaba ninguna presión.
- En la Tabla 24. Protocolo medición diámetros de tubería, se relacionan los valores experimentales que se recolectan durante el corte de las tuberías en las pruebas de laboratorio encontrando un rango de variación para los diámetros promedios internos y externos entre (1-5mm), encontrando que si existe el desgaste en este tipo de tuberías a lo largo de su vida útil.

### 12.3. Protocolo para la rutina de envejecimiento

El presente protocolo establece una estructura de estudio apta para la realización de la rutina de envejecimiento de tuberías CPVc de ½", ¾" y 1" expuestas a diferentes temperaturas para así determinar de manera integral las deformaciones admisibles recuperables y a su vez las que no.

Se realiza una detallada descripción de las tuberías a través del proceso de la siguiente manera:

- Longitud total del tubo 2m, con medidas del diámetro exterior inicial cada 20cm, encontrando que al iniciar el proceso de calentamiento del agua comprendido entre (35°C-65°C) no ocurre ningún cambio físico apreciable a simple vista; se toman medidas de diámetro exterior con el calibrador pie de rey digital, como se consigna en el anexo 15.1.
- Transcurridos 15 minutos con temperatura de 65°C se observa que la tubería de ½" en su diámetro exterior sufre una ligera expansión expresada en mm y el comienzo de un pandeo longitudinal apreciable visualmente., como se consigna en el anexo 15.2.
- Durante una hora mientras la tubería se encuentra con agua entre (75°C-80°C) alcanza su máximo pandeo longitudinal horizontal entre los amarres metálicos que semejan una instalación en construcción real, como se consigna en el anexo 15.2.
- Se realizan cortes cada 20 cm para la extracción de 8 secciones de tubo para el estudio de la Sección transversal de la tubería, encontrando que los diámetros internos tomados en dos secciones semejando la franja horaria (12-6) Y (3-9) varían entre 1 y 2mm, como se consigna en el anexo 15.3.
- Se repite el procedimiento para la tubería de ¾" encontrando variación en el diámetro interno y extremo sin embargo no se evidencia pandeo en la tubería a simple vista.

- En la tubería de 1" se evidencia que la tubería sufre deformaciones en el diámetro interno, como se consigna en el anexo 15.3, sin evidencia de afectación longitudinal; la tubería de 1 ½" no se prueba con la rutina de envejecimiento ya que en ese diámetro no ocurre lectura de datos de presión significativa.
- Se realizan cortes en la tubería cada 10 cm para extraer las muestras de tubos relacionadas en Tabla 24. Protocolo medición diámetros de tubería, se realizan las mediciones de diámetros interiores y exteriores con ayuda del pie de rey digital y así, encontrar las deformaciones que sufren transversalmente este tipo de materiales.

#### 12.4. Parametrización de ecuaciones

- Posterior a elaborar las gráficas se extraen de cada una de ellas las ecuaciones que representan los coeficientes de correlación para cada diámetro de tubería a diferentes temperaturas.

**Tabla 20. Ecuaciones gradiente hidráulico y coeficiente de correlación para tuberías de  $\phi= 1/2''$  en función del caudal y pérdida de carga unitaria.**

Diámetro 1/2"		
Temperatura	Ecuación	R <sup>2</sup>
25	$Q = 0.0004 * sf^{0.5226}$	$R^2 = 0.9615$
35	$Q = 0.0004 * sf^{0.5222}$	$R^2 = 0.9488$
45	$Q = 0.0004 * sf^{0.6051}$	$R^2 = 0.9423$
55	$Q = 0.0005 * sf^{0.4655}$	$R^2 = 0.9832$
65	$Q = 0.0005 * sf^{0.3285}$	$R^2 = 0.9118$

Fuente: Autor

**Tabla 21. Ecuaciones gradiente hidráulico y coeficiente de correlación para tuberías de  $\phi= 3/4''$  en función del caudal y pérdida de carga unitaria.**

Diámetro 3/4"		
Temperatura	Ecuación	R <sup>2</sup>
25	$Q = 0.001 * sf^{0.385}$	$R^2 = 0.8632$
35	$Q = 0.0011 * sf^{0.3588}$	$R^2 = 0.8129$
45	$Q = 0.001 * sf^{0.2217}$	$R^2 = 0.627$
55	$Q = 0.0011 * sf^{0.3723}$	$R^2 = 0.7961$
65	$Q = 0.0012 * sf^{0.3293}$	$R^2 = 0.944$

Fuente: Autor

**Tabla 22. Ecuaciones gradiente hidráulico y coeficiente de correlación para tuberías de  $\phi= 1''$  en función del caudal y pérdida de carga unitaria.**

Diámetro 1"		
Temperatura	Ecuación	R <sup>2</sup>
25	$Q = 0.0017 * sf^{0.2738}$	$R^2 = 0.8387$
35	$Q = 0.002 * sf^{0.3522}$	$R^2 = 0.8159$
45	$Q = 0.0016 * sf^{0.1777}$	$R^2 = 0.9397$
55	$Q = 0.0015 * sf^{0.1064}$	$R^2 = 0.968$
65	$Q = 0.0021 * sf^{0.254}$	$R^2 = 0.5689$

Fuente: Autor

**Tabla 23. Ecuaciones gradiente hidráulico y coeficiente de correlación en función de pérdida de carga unitaria y temperatura.**

Caudal 100%		
Diámetro	Ecuación	R <sup>2</sup>
1/2"	$sf = 5.5034 * T^{-0.147}$	$R^2 = 0.8621$
3/4"	$sf = 2.1546 * T^{-0.278}$	$R^2 = 0.8997$
1"	$sf = 30.649 * T^{-1.433}$	$R^2 = 0.9774$

Fuente: Autor



**Tabla 24. Protocolo medición diámetros de tubería**

- Se realiza la comparación de los diámetros comerciales con el Manual técnico de tubería CPVc para agua caliente de Pavco.

Tubería	Sección	Diámetros internos experimentales (mm)	Diámetros externos experimentales (mm)	Diámetro externo comercial (mm)	Diámetro interno comercial (mm)
1/2"	1	12.13		15.88	12.42
		12.12	15.95		
	2	12.14			
		12.15	15.92		
	3	12.14			
		12.13	15.93		
	4	12.10			
		12.16	15.95		
	5	12.11			
		12.09	15.94		
	6	12.13			
		12.12	15.93		
	7	12.11			
		12.13	15.95		
	12.13				
	12.14				
	<b>Promedio</b>	12.126875	15.93857143		
3/4"	1	17.85		22.23	18.17
		17.87	22.12		
	2	17.85			
		17.86	22.16		
	3	17.87			
		17.85	22.17		
	4	17.84			
		17.83	22.11		
	5	17.86			
		17.84	22.17		
	6	17.83			
		17.87	22.16		
	7	17.85			
		17.84	22.15		
	17.87				
	18.86				
	<b>Promedio</b>	17.915	22.14857143		
1"	1	22.74		28.6	23.42
		22.96	28.47		
	2	22.65			
		22.68	28.48		
	3	22.86			
		22.87	28.49		
	4	22.96			
		22.78	28.44		
	5	22.74			
		22.65	28.47		
	6	22.67			
		22.78	28.47		
	7	22.65			
		22.64	28.48		
8	22.78				
	22.74				
	<b>Promedio</b>	22.759375	28.47142857		

Fuente: (PAVCO, n.d.)

### 13. CONCLUSIONES

- Se parametrizaron las ecuaciones que definen el comportamiento entre el caudal, la pérdida de energía y la temperatura, sin embargo en algunas de ellas se obtienen coeficientes de correlación  $R^2$  que oscilan entre (), el mejor desempeño se obtiene para tuberías de diámetro pequeño como lo es la de  $\frac{1}{2}$ ".
- La rutina fue realizada en una tubería que lleva en uso con el banco hidráulico(Omar, 2017) aproximadamente dos años, es decir, las afectaciones que fueron investigadas tanto las deformaciones transversales como longitudinales se deben al constante uso de la máquina durante este tiempo encontrando semejanzas con las tuberías utilizadas en redes domiciliarias sometidas al uso constante durante los años de vida útil en construcción.
- Se determinó a través del desarrollo de este trabajo de grado que existen futuras líneas de investigación que pueden aportar variables que permitan un análisis de datos extensivo para la creación de nuevas ecuaciones.
- Se realizó el análisis técnico de los resultados obtenidos en la rutina desarrollada dentro del laboratorio de la universidad para realizar una comparación con la rutina periódica de las tuberías de redes domiciliarias obteniendo congruencia con la propuesta planteada al comienzo del trabajo de grado.
- Dentro de la propuesta inicial del anteproyecto se contempló el estudio de la tubería de  $1 \frac{1}{2}$ " aun cuando su uso en redes domiciliarias no es tan común, aportando como resultado a la investigación dos hipótesis de error, una es en la cual la potencia de la bomba que tiene el banco hidráulico no tiene la suficiente potencia para que el caudal transcurrido dentro de la tubería este a flujo lleno y la otra, en la cual la longitud utilizada dentro de las practicas no permite que la velocidad del fluido alcance tubo lleno.
- La importancia de este tipo de trabajos de investigación es hacer que el estudiante ofrezca hipótesis reales al área de la construcción con ayuda de la institución, por ejemplo, este proyecto estudia el comportamiento de las

tuberías para agua caliente que poco han sido estudiadas por estudiantes y profesionales del área de la ingeniería civil.

## 14. RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar la instalación de sensores digitales que permitan la lectura del caudal en el contador volumétrico para la obtención de un dato con mayor precisión.
- Se recomienda realizar la instalación de una malla con medidas en mm a lo largo de la sección longitudinal, para observar y medir la deformación de manera tridimensional en exteriores con una mayor exactitud.
- El presente trabajo de investigación fue realizado específicamente para la manipulación con agua bajo las condiciones descritas en la metodología, es decir, se sugiere que no exista variación en la rutina de utilización del banco hidráulico para obtener los valores deseados.

## **15. ANEXOS**

### **15.1. Bitácora gráfica para el cálculo del caudal**

- Recolección de datos para el cálculo del caudal transportado en el banco hidráulico de agua caliente por medio de videos y fotografías para posterior elaboración de gráficas relacionadas en el trabajo de investigación. Para acceder al anexo, consultar la carpeta “Videos y fotografías experimentales”.

### **15.2. Mediciones diámetros externos e internos de las tuberías**

- Se realiza la medición de los diámetros externos de la tubería para el protocolo para la rutina de envejecimiento. Para acceder al anexo, consultar la carpeta “Medición diámetros externos de tubería”.

### **15.3. Cambios longitudinales en las tuberías**

- Recolección de fotografías de las tuberías durante el proceso del transporte de agua caliente en el banco hidráulico reconociendo visualmente los cambios longitudinales exteriores de la tubería. Para acceder al anexo, consultar la carpeta “Fotografías cambios longitudinales”.

### **15.4. Secciones de corte de las tuberías**

- Se realiza la medición de los diámetros internos en secciones de corte de la tubería de 10cm de largo para el protocolo para la rutina de envejecimiento. Para acceder al anexo, consultar la carpeta “Secciones de corte de las tuberías”.

## 16. BIBLIOGRAFÍA

- Anaya-Durand, A. I., Cauich-Segovia, G. I., Funabazama-Bárceñas, O., & Gracia-Medrano-Bravo, V. A. (2014a). Evaluación de ecuaciones de factor de fricción explícito para tuberías. *Educacion Química*, 25(2), 128–134.  
[https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70535-X](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70535-X)
- Anaya-Durand, A. I., Cauich-Segovia, G. I., Funabazama-Bárceñas, O., & Gracia-Medrano-Bravo, V. A. (2014b). Evaluación de ecuaciones de factor de fricción explícito para tuberías. *Educacion Química*, 25(2), 128–134.  
[https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70535-X](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70535-X)
- Autónoma, U., & Antonio, A. (2008). Universidad autónoma agraria “Antonio Narro” unidad regional Laguna, 1–49.
- Bergadà Granyó, J. M. (2012). *Mecánica de fluidos : breve introducción teórica con problemas resueltos*. Retrieved from [http://catalag.upc.edu/record=b1498990~S1\\*cat%0Ahttp://upcommons.upc.edu/handle/2099.3/36611](http://catalag.upc.edu/record=b1498990~S1*cat%0Ahttp://upcommons.upc.edu/handle/2099.3/36611)
- Blanco, E., Martínez, M., González, J., & González, M. (2019). Análisis numérico del crecimiento de grieta por fatiga del CPVC : efecto de la temperatura y frecuencia de carga Fatigue crack growth numerical analysis of CPVC : effect of temperature and load frequency, 18(1), 177–186.
- Claudio, M., & Brunelli, P. (2000). Crack Propagation in Quasicrystals At Different, 3163–3166.
- COLINDUSTRIAS SAS. (n.d.). COLINDUSTRIAS. Retrieved from <https://colindustria.com/que-es-rde/>.
- Corzan Industrial Systems. (2018). CORZAN® EXPANSIÓN TÉRMICA DEL CPVC Y LAS CAPACIDADES TÉRMICAS. Retrieved from <https://www.corzan.com/es-mx/sistemas-de-tuberias/especificacion/expansion-termica>
- Cuabana, E. (n.d.). EcuRed. Retrieved from [https://www.ecured.cu/Ecuaciones\\_paramétricas](https://www.ecured.cu/Ecuaciones_paramétricas).

- David, A Chasis. (1988). *Plastic Piping Systems*. New York: Industrial Press Inc.  
Retrieved from  
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=rZl6rYd89qoC&oi=fnd&pg=PR7&dq=cpvc+pipes+low+velocity+impact+resistance&ots=-HDvV-\\_vWw&sig=X3O44wG3bfGXwq5kD94a6e8xwNE#v=onepage&q=cpvc pipes low velocity impact resistance&f=true](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=rZl6rYd89qoC&oi=fnd&pg=PR7&dq=cpvc+pipes+low+velocity+impact+resistance&ots=-HDvV-_vWw&sig=X3O44wG3bfGXwq5kD94a6e8xwNE#v=onepage&q=cpvc pipes low velocity impact resistance&f=true)
- Garruti, R. S., & Sgarbieri, V. C. (1983). Protein content, physical and sensory properties of dry beans (*phaseolus vulgaris*, l.). *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 16(3), xx. [https://doi.org/10.1016/S0315-5463\(83\)72188-7](https://doi.org/10.1016/S0315-5463(83)72188-7)
- Gupta, V. R. (1974). Processability Characteristics of Chlorinated Poly( vinyl Chloride), 255–264.
- Hidráulico, H. B. (n.d.). HIDRÁULICA H89.8D - Banco Hidráulico 1.
- Javier, I., Rojas, F., & Santander, U. I. De. (n.d.). PROBETAS ( NTC 3358 ), 1–13.
- Molecor. (n.d.). Molecor. Retrieved from <http://molecor.com/es/perdidas-carga>
- Moyano Díaz, S. (2014). Diseño y Construcción de un Quadcopter. *Memoria*, 1, 78. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000800046>
- Nikuradse, J. (1933). Nikuradse (1933).
- Omar, R. M. (2017). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE BANCO HIDRÁULICO PARA DETERMINAR LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN TUBERÍAS CPVC*.
- PAVCO. (n.d.). Manual técnico de tubería CPVc para agua caliente. Retrieved from [www.pavco.com.co](http://www.pavco.com.co)
- Pérez, D. (2002). Evolución histórica de las fórmulas para expresar las pérdidas de carga en tuberías . Segunda parte : Desde los trabajos de Darcy hasta los de Stanton. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXIII(3), 3–8.

Pre-iberica SAS. (n.d.). Pre-Iberica. Retrieved from <https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/transductores.htm>.

Proposta experimental para determinação da perda de carga localizada em conexões de cpvc em sistemas de água quente. (2018).

Shames, H. (1995). *Mecánica de Fluidos. Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Técnica, N. (2014). NTC, (571).

Universidad de Oviedo. (2004). Pérdidas de carga. *Prácticas de Mecánica de Fluidos*, 1–10.

Viebke, J., & Gedde, U. W. (1997). Antioxidant diffusion in polyethylene hot-water pipes. *Polymer Engineering and Science*, 37(5), 896–911. <https://doi.org/10.1002/pen.11733>