

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE BANCO HIDRÁULICO PARA DETERMINAR  
LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN TUBERÍAS CPVC**

**OMAR RAMÍREZ MONTOYA**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
MODALIDAD TRABAJO DE GRADO  
BOGOTÁ  
2017**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE BANCO HIDRÁULICO PARA DETERMINAR  
LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN TUBERÍAS CPVC**

**OMAR RAMÍREZ MONTOYA**

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

**Director  
Felipe Santamaria  
Ingeniero civil**

**CO-Director  
Juan Sebastián De Plaza  
Ingeniero civil**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
MODALIDAD TRABAJO DE GRADO  
BOGOTÁ  
2017**



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

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

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra  
hacer obras derivadas

### 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).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá DC. noviembre, 2017

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. GENERALIDADES	15
1.1 ANTECEDENTES	15
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2.1 Descripción del problema	16
1.2.1 Formulación del problema	17
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 Objetivo general	17
1.3.2 Objetivos específicos	17
1.4 JUSTIFICACIÓN	17
1.5 DELIMITACIÓN	18
1.5.1 Espacio	18
1.5.2 Tiempo	18
1.5.3 Contenido	18
1.5.4 Alcance	18
1.5.5 Limitaciones	19
1.6 MARCO REFERENCIAL	19
1.6.1 Marco conceptual	19
1.6.2 Marco teórico	20
1.6.2.1 Flujos internos	20
1.6.2.2 Pérdidas de carga a lo largo de la tubería	20
1.6.2.3 Pérdidas menores o singulares	24
1.7 METODOLOGIA	25
1.7.1 Tipo de estudio	25
1.8 DISEÑO METODOLOGICO	25
2. DISEÑO, MODELACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO HIDRÁULICO	27
2.1 CONDICIONES DE DISEÑO	27
2.2 CONSTRUCCIÓN DEL BANCO HIDRÁULICO	32
2.2.1 Estructura del banco hidráulico	32
2.2.2 Tanque de almacenamiento	33
2.2.3 Manómetro	33
2.2.4 Elemento calefactor (Resistencia eléctrica)	34
2.2.5 Bomba centrífuga	34
2.2.6 Curva de desempeño bomba centrífuga CP-620	35
2.2.7 Redes y accesorios	36
2.2.8 Fluviómetro - Caudalímetro	36
2.2.9 Pérdida de energía	37
2.2.10 Tuberías CPVC	37

	pág.
3. ANÁLISIS DE LA CAÍDA DE PRESIÓN EN EL BANCO HIDRÁULICO TRANSPORTANDO AGUA CON UNA VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA POR MEDIO DE TUBERÍAS CON DIFERENTES DIÁMETROS	39
3.1 PRUEBAS HIDRÁULICAS DEL SISTEMA	39
4. GUÍA PARA EL PROCEDIMIENTO DE MANEJO DEL BANCO HIDRÁULICO	48
5. CONCLUSIONES	50
6. RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS	54

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Driagrama de Moody	23
Figura 2. Plano Banco Hidráulico	28
Figura 3. Resultados de la Tubería a Utilizar en la Estructura	29
Figura 4. Maqueta Banco Hidráulico	32
Figura 5. Estructura Banco Hidráulico	33
Figura 6. Tanque Banco Hidráulico	33
Figura 7. Manómetro Banco Hidráulico	34
Figura 8. Tablero Eléctrico	34
Figura 9. Bomba Centrífuga	35
Figura 10. Curva de Desempeño	35
Figura 11. Accesorios Banco Hidráulico	36
Figura 12. Flujómetro Banco Hidráulico	36
Figura 13. Pérdida de Energía	37
Figura 14. Tubería CPVC	38
Figura 15. Banco Hidráulico Instalado en Laboratorio de Plantas	38
Figura 16. Diferencia de Presión Tubería CPVC 1 1/2" Q=13-16 GPM	41
Figura 17. Diferencia de Presión Tubería CPVC 1 1/2" Q=16-17 GPM	41
Figura 18. Diferencia de Presión Tubería CPVC 1" Q=10-13 GPM	43
Figura 19. Diferencia de Presión Tubería CPVC 1" Q=17 GPM	43
Figura 20. Diferencia de Presión Tubería CPVC 3/4" Q = 12 GPM	45
Figura 21. Diferencia de Presión Tubería CPVC 3/4" Q = 15-17 GPM	45
Figura 22. Diferencia de Presión Tubería CPVC 1/2" Q = 12 GPM	47
Figura 23. Diferencia de Presión Tubería CPVC 1/2" Q = 13-14 GPM	47

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Fases del Proyecto	26
Cuadro 2. Potencia de la Bomba	31
Cuadro 3. Toma de Datos Tubería CPVC 1 1/2" Q = 13 – 16 GPM	40
Cuadro 4. Toma de Datos Tubería CPVC 1 1/2" Q = 13 – 17 GPM	40
Cuadro 5. Toma de Datos Tubería CPVC 1" Q = 10 – 13 GPM	42
Cuadro 6. Toma de Datos Tubería CPVC 1 Q = 17 GPM	42
Cuadro 7. Toma de Datos Tubería CPVC 3/4" Q = 12 GPM	44
Cuadro 8. Toma de Datos Tubería CPVC 3/4" Q = 15-17 GPM	44
Cuadro 9. Toma de Datos Tubería CPVC 1/2" Q = 12 GPM	46
Cuadro 10. Toma de Datos Tubería CPVC 1/2" Q = 13-14 GPM	46



## LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Hagen-Poiseuille	21
Ecuación 2. Darcy-Weisbach	21
Ecuación 3. Número de Reynolds	22
Ecuación 4. Factor de fricción	22
Ecuación 5. Colebrook-White	23
Ecuación 6. Haaland	24
Ecuación 7. Moody	24
Ecuación 8. Von Karman	24
Ecuación 9. Coeficiente de pérdida	24
Ecuación 10. Coeficiente de pérdida	24
Ecuación 11. Longitud equivalente	25
Ecuación 12. Colebrook-White	30

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Tabla de Propiedades del Agua	54
Anexo B. Formato para la Toma de Datos en el Laboratorio	55
Anexo C. Toma de Datos en el Laboratorio. Banco Hidráulico	56
Anexo D. Catalogo Bomba Centrífuga CP-620	62
Anexo E. Catalogo Tubería CPVC-PAVCO	66
Anexo F. Catalogo Fluviómetro	67
Anexo G. Planos de Diseño	69
Anexo H. Resultados ETABS Calculo Estructura (puntual)	71
Anexo I. Manual de Operación Banco Hidráulico	73

## GLOSARIO

**BOMBA CENTRÍFUGA:** dispositivo eléctrico-mecánico que añade energía al fluido, un motor eléctrico o cualquier otro dispositivo impulsan el eje giratorio de la bomba, el fluido entra en forma axial a través de la parte central hueca de la bomba y luego este enfrenta los alaves rotatorios y adquiere velocidad tangencial y radial por la transferencia de movimiento a través de los alaves. El flujo sale del rotor después de ganar tanto velocidad como presión, esta bomba se caracteriza por facilidad por su forma de caracol, se encuentra en la mayoría de industrias.

**BUJE:** estos elementos permiten aumentar o disminuir el diámetro en tuberías PVC o CPVC, según las necesidades de cada proyecto, en el mercado nacional se encuentran roscados o soldados.

**CHEQUE O VÁLVULA DE RETENCIÓN:** accesorio que comúnmente se emplea para impedir el retorno inconveniente de algún fluido en contra flujo, es decir impedir que el fluido retorne de nuevo a la bomba y este le cause problemas en el impulsor, en otras palabras solo permite el paso del fluido en un solo sentido.

**CODO:** accesorio que se instala entre dos tramos de tubería que permite el cambio de dirección del flujo, el codo PVC o CPVC puede ser de 45°-60°, en todos los diámetros comerciales

En el coeficiente de fricción ( $f$ ) influye la rugosidad relativa.

**FLUIDO:** sustancias capaces de fluir y que toman la forma de los recipientes que los contienen o transportan, estos pueden dividirse en líquidos y gaseosos. Los líquidos prácticamente son incompresibles mientras que los gases son compresibles.

**FLUJÓMETRO O CAUDALÍMETRO:** instrumento que se utiliza para la medida del caudal (GPM y LPM), en él un contrapeso puede ascender por una guía vertical, debido a la fuerza de arrastre de la corriente, hasta una altura que es proporcional al caudal que transita.

**MANÓMETRO:** dispositivo mecánico que comúnmente se utiliza para medir la presión (TUBO DE BOURDON), consta de un tubo metálico hueco doblado cuyo extremo se cierra y se conecta a la aguja de un indicador de carátula, cuando el tubo se abre a la atmósfera este recupera su estado inicial

**MIRILLA:** accesorio normalmente en vidrio plano o tubo en vidrio especial según la temperatura a utilizar, este determina los niveles mínimos, niveles máximos y nivel de trabajo de los tanques y recipientes, donde se requiera controlar el fluido interno. Normalmente como la unidad se da en vatios (W), que puede decirse dicha resistencia.

**PIRÓMETRO:** sensor de temperatura del fluido que circula a través de una red de tubería, cuando el fluido se encuentre a la temperatura requerida este envía una señal de corte de energía, para que esta temperatura se mantenga en un tiempo determinado y se puedan tomar los datos necesarios.

**PRESIÓN:** es la fuerza ejercida por unidad de área o la relación de una fuerza y el área sobre la cual actúa, comúnmente la presión está medida en Pascales Pa (N/m<sup>2</sup>) o psi (libras por pulgada cuadrada). Presión barométrica es el nivel de la presión atmosférica por encima del vacío perfecto, la presión atmosférica

normalizada es de 1.01325 bar (14.696 psi) o 760mmHg, la presión manométrica es la presión medida por encima de la atmosférica, mientras que la presión absoluta se refiere siempre al vacío perfecto

**RESISTENCIA ELÉCTRICA:** oposición al flujo de electrones que se desplazan a través de un conductor, la unidad de resistencia eléctrica es el ohmio. Una resistencia disipa en calor una cantidad de potencia cuadráticamente proporcional a la intensidad que la atraviesa,  $P = RI^2$ .

**RUGOSIDAD RELATIVA:** es igual a la relación de la altura de las imperfecciones superficiales de la pared interna ( $\epsilon$ ), al diámetro interior de la tubería ( $d$ ),  $\epsilon/d$

**TANQUE:** depósito de almacenamiento ( el banco funciona con un circuito cerrado de manera que la bomba succiona agua del tanque y tras hacer un recorrido determinado el fluido vuelve al mismo.

**TEE:** accesorio de PVC o CPVC en forma de T que permite realizar una conexión a tres lados, permitiendo que el fluido se ramifique en paso directo o paso de lado, los diámetros de las distintas conexiones puede variar según la necesidad.

**TEMPERATURA:** es una magnitud a las nociones comunes de caliente, tibio o frío y que puede ser medida con un termómetro, en el sistema internacional de medida la unidad es el kelvin y corresponde a la escala absoluta, con mayor frecuencia se mide en grados Celsius o grados Fahrenheit, normalmente los valores utilizados al nivel del mar son punto de congelamiento 0°C y ebullición 100°C.

**TUBO (CPVC):** ducto circular con una pared de espesor específico utilizado para la conducción de agua caliente, el material utilizado es poli-cloruro de vinilo clorado, que nacionalmente se consigue en unos diámetros  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ ", 1", 1  $\frac{1}{4}$ ", 1  $\frac{1}{2}$ " y 2".

**UNIVERSAL:** accesorio utilizado para la unión de dos tuberías en la misma dirección, elemento roscado internamente para la facilidad de desmontar la línea requerida.

**VÁLVULA DE COMPUERTA:** accesorio para tuberías utilizado para el cierre o apertura del fluido, toma este nombre por tener una compuerta deslizante en sentido vertical, por medio de un tornillo. Normalmente son construidas en acero al carbono, acero inoxidable y bronce.

**VÁLVULA VENTOSA:** válvula de diseño especial para liberar el aire que se encuentra atrapado dentro de la tubería y así prevenir falsas mediciones de presión.

## RESUMEN

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 sera 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 sera controlado por un pirómetro instalado al inicio del sistema, esta 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, con 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 analogos de glicerina de carátula con un diámetro de 2" y un rango de (0 – 30 psi ecepto 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 encunetran en cada línea, nos determina la pérdida de presión en la longitud con una temperatura determinada.

Mediante la realización de las prácticas se obtiene la pérdida de presión en cada una de las diferentes tuberías (CPVC), acorde a una temperatura especifica (temperatura que se requiera entre 20° C y 60° C) a analizar.

**PALABRAS CLAVES:** BOMBA CENTRÍFUGA, CAUDAL, PÉRDIDA DE PRESIÓN Y TEMPERATURA.

## INTRODUCCIÓN

El programa de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Colombia, busca formar estudiantes que desarrollen capacidades para diseñar, ejecutar y administrar proyectos relacionados con infraestructura de vías terrestres, cimentaciones, edificaciones y obras hidráulicas; es por esto que, la presente investigación se inicia con la experiencia académica de la asignatura Instalaciones Hidrosanitarias y de Gas que ofrece el programa, para lo cual uno de los propósitos de este estudio es generar una facilidad a la mecánica de fluidos con una propuesta que pretende analizar las pérdidas de presión por efectos de la fricción, rugosidad y velocidad que son algunas de las variables que inciden en la interacción flujo-pared sólida del conducto circular para transportar el fluido.

Así mismo se busca analizar el cambio de presión que sufre el fluido al momento de modificar la temperatura en cada uno de sus diámetros, el análisis se centra en la pérdida de presión entre dos puntos de la tubería con el agua sometida a diferentes temperaturas (como las producidas por un calentador convencional).

Para llevar a cabo lo anterior, se diseñó y construyó un banco hidráulico para realizar las prácticas que permitan comprender con claridad las caídas de presión en el transporte de fluidos en tuberías CPVC (poli-cloruro de vinilo clorado), tomando como referente teórico para su diseño la teoría básica de mecánica de fluidos, la ecuación de continuidad, la conservación de la energía (ecuación de Bernoulli) y la pérdida de energía por fricción.

Una vez construido el banco hidráulico, y para comprobar su funcionalidad y cumplimiento del propósito para el cual fue diseñado, se procedió a realizar las pruebas de laboratorio, con cuatro diámetros diferentes de tubería CPVC, tomando los datos en una guía elaborada especialmente para tal fin.

Finalmente, se hace el análisis de los resultados obtenidos con las prácticas y se generan las respectivas conclusiones y recomendaciones.

# 1. GENERALIDADES

## 1.1 ANTECEDENTES

La Universidad Católica de Colombia, ha manejado un laboratorio de pérdida de energía por fricción y accesorios, similar al que se propone en este proyecto; sin embargo, las pruebas se han realizado con el fluido a temperatura ambiente y con tuberías PVC, que no permiten el tránsito del fluido a temperaturas elevadas.

Por ello, esta investigación busca construir y desarrollar un sistema nuevo para realizar las prácticas de laboratorio de pérdida de energía en tubería CPVC con agua entre 20° y 60°C. Se quiere analizar cuantitativamente los aspectos técnicos de pérdida de presión de un punto a otro localizados a una distancia L (constante) y con diferentes temperaturas del fluido.

En la búsqueda de información en relación a bancos hidráulicos con tuberías CPVC, no se encontraron proyectos que indiquen las pérdidas de carga para este tipo de tuberías. Sin embargo, se encontraron los siguientes proyectos de bancos de pruebas para fluidos a temperatura ambiente:

Trabajo de grado: DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS. Elaborado en la Universidad Industrial de Santander. En Colombia 2004. El objetivo fue diseñar un banco de pruebas versátil que permitiera el estudio del fenómeno de pérdidas de energía en tuberías, válvulas y accesorios en el transporte de fluidos.

Trabajo de grado: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA ENSAYOS DE PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS. Elaborado en la Universidad Central de Ecuador. En Ecuador 2012. Su objetivo principal fue diseñar y construir un tablero de pruebas con diferentes materiales. Donde, los resultados muestran que las mayores pérdidas de carga dependen directamente del material con el que esté construida la tubería.

Trabajo de grado: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE ENSAYO PARA EL ESTUDIO DE PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN Y SINGULARIDAD. Elaborado en la Universidad Nacional Agraria la Molina. En Perú, 2015. El objetivo fue el diseño y construcción de un Banco de Pruebas para evaluar las pérdidas de carga en tuberías de PVC lisas y accesorios.

Por lo anterior, no se evidenciaron trabajos de investigación con bancos hidráulicos de pruebas para determinar la pérdida de carga en tuberías CPVC, los más cercanos a éstos son los estudios realizados en “tuberías de cobre y se encuentran bancos de pérdidas de carga para tuberías de diferentes diámetros y distinta clase de materiales con fluidos Newtonianos a temperatura ambiente”<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> CRANE, . Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. Mexico: Mc. Graw-Hill, 1989.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

**1.2.1 Descripción del problema.** Actualmente los estudiantes del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Colombia, han manejado para las prácticas de laboratorio, un banco hidráulico para pérdidas de energía por fricción con tuberías PVC; este banco permite hacer el análisis del fluido (agua) a temperatura ambiente y con un material específico, lo que limita la comprensión de hacer análisis sobre la pérdida de presión utilizando otro material y el fluido con una variación de temperatura. Por esta razón, se hace necesario proveer otro equipo para realizar las prácticas de laboratorio y ampliar el conocimiento de futuros profesionales frente a este fenómeno.

En el banco de pruebas que se diseñó y se construyó, se obtienen pérdidas de presión en tuberías CPVC de diferentes diámetros ( $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ , 1 y  $1 \frac{1}{2}$  in), esto debido a la influencia del material de las mismas, así como a “la rugosidad, viscosidad, velocidad y la temperatura del fluido (agua) que va a transitar”<sup>2</sup> el fluido tendrá una temperatura entre (20° - 60° C).

Con la construcción de este banco hidráulico y los conceptos teóricos de fundamentos de flujo de fluidos, ecuación de continuidad, conservación de la energía (ecuación de Bernoulli), el número de Reynolds y la pérdida de presión debido a la fricción y otras variables que participan<sup>3</sup> (Mott, 2006). incluyendo el aumento de la temperatura en el fluido, se obtiene una variación en las pérdidas de presión debido al cambio de viscosidad cinemática y densidad del agua. Si se sabe que la densidad y la viscosidad cinemática del agua a una temperatura de 15° C es de 999.1 Kg/m<sup>3</sup> y  $1.141 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s respectivamente, cuando se incrementa la temperatura a 60° C la densidad es de 983.2 Kg/m<sup>3</sup>, mientras que la viscosidad cinemática es igual a  $0.477 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s (Potter & Winggert, 2014). Lo anterior, indica que teniendo la misma rugosidad en la tubería con el mismo fluido a una mayor temperatura se obtendrá una menor caída de presión<sup>4</sup> (Saldarriaga, 2016).

Se debe entender que luego de la construcción del banco hidráulico se realizaron ensayos en el mismo, llevando una secuencia en la toma de datos, con el fluido a una temperatura y un diámetro específico, permitiendo realizar una curva de comportamiento.

---

<sup>2</sup> CENGEL, Yunus y CIBBALA, Jhon. Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones. México: Mc Graw Hill, 2006.

<sup>3</sup> MOTT, Op. cit., p. 22

<sup>4</sup> SALDARRIAGA, Juan. Hidráulica de tuberías abastecimiento de agua, redes, riegos. Bogotá: Alfaomega, 2016



**1.2.1 Formulación del problema.** Tras la búsqueda y sin resultados satisfactorios de información sobre los bancos hidráulicos que demuestren la pérdida de carga en tuberías CPVC, con el tránsito del fluido en un rango de temperatura más alto que la temperatura ambiente es necesario formalizar un laboratorio específico con el cual se pueden encontrar las pérdidas de presión a esas temperaturas y con el material CPVC adecuado para que fluya agua a temperaturas entre 20° C y 60° C. y de esta manera dar solución a: ¿Obtener y demostrar las pérdidas de energía en un conducto circular (tubería CPVC), por el cual se transporta agua caliente a diferentes temperaturas y en diferentes diámetros?

### **1.3 OBJETIVOS**

**1.3.1 Objetivo general.** Diseñar y construir un banco hidráulico con tuberías CPVC de diámetros estandarizados ( $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ , 1, 1  $\frac{1}{2}$  in), que permita realizar prácticas de pérdidas de carga en el laboratorio, para los estudiantes de ingeniería civil de la Universidad Católica de Colombia.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Diseñar, modelar y construir un banco hidráulico para la ejecución de ensayos de pérdida de presión en los laboratorios de la Universidad Católica De Colombia, basado en las teorías hidráulicas y el programa ETABS para la estructura.
- Realizar ensayos que permitan hacer un análisis de la caída de presión en el banco hidráulico transportando agua caliente en tuberías de diferentes diámetros.
- Determinar la pérdida de presión entre dos puntos de una tubería, separados a una distancia constante, para las tuberías CPVC en diámetros comerciales a nivel nacional  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ , 1 y 1  $\frac{1}{2}$  in, con un rango de temperatura entre 20° y 60°C.
- Diseñar un manual para la práctica de laboratorio de pérdida de presión, que permita el correcto uso de este prototipo.

### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Con la construcción de este nuevo banco hidráulico para el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia, se pretende generar una nueva herramienta de aprendizaje para que los nuevos estudiantes puedan fortalecer sus conocimientos dentro de la mecánica de los fluidos y la pérdida de energía en tuberías al incrementar la temperatura del fluido que transita (agua).

A través de la realización y ejecución de este proyecto se estará en capacidad de la presentar en congresos, simposios y eventos locales y nacionales, el diseño de este banco hidráulico, como herramienta para la generación de aprendizaje práctico para estudiantes de Ingeniería Civil. Igualmente, como primer paso para la divulgación

del nivel de capacitación del programa Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Colombia demostrando los resultados que arroje el banco hidráulico, a través de charlas requeridas para que puedan realizar los laboratorios de pérdidas de energía con tubería CPVC.

Así mismo, es importante resaltar la necesidad de construir este nuevo banco hidráulico para los ensayos que se pretenden desarrollar con agua caliente, ya que el banco existente en el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia no se puede utilizar con agua caliente debido a que no cuenta con la tubería especial CPVC la cual resiste temperaturas más altas que la temperatura ambiente. Además de las tuberías y accesorios, el impeler de la bomba centrífuga debe ser de un material adecuado para estas temperaturas (BARNES, 2012), también se debe implementar un calentador de agua con una resistencia eléctrica especial para el funcionamiento esperado del banco hidráulico.

## **1.5 DELIMITACIÓN**

**1.5.1 Espacio.** El presente proyecto se realizará en las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia, sede El Claustro, en el laboratorio de plantas.

**1.5.2 Tiempo.** Para el diseño, adquisición, fabricación de la estructura se necesitaron dos meses, para la compra de materiales y montaje de la parte hidráulica se necesito medio mes, en el desarrollo de laboratosio se necesito una semana para luego entrar en la elaboración del análisis de resultados, para poder culminar con un trabajo de grado integro, completo y que generara fortalezas para la univesidad en la posteridad.

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

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

**1.5.4 Alcance.** El alcance del trabajo es, entregar el banco hidráulico instalado en el laboratorio de plantas de la Universidad Católica de Colombia, con su respectivo manual de uso.

Así mismo, se presentarán los resultados y análisis de los ensayos realizados en el banco hidráulico, para corroborar su funcionalidad y el estudio de las variaciones de las pérdidas de presión en tuberías con agua caliente de diferentes diámetros, para que posteriormente pueda ser utilizado por los estudiantes del programa de Ingeniería Civil y la asignatura Instalaciones hidrosanitarias y de gas (ver capítulo 4 guía para el procedimiento de manejo del banco hidráulico).

**1.5.5 Limitaciones.** El trabajo tuvo como principal limitación el tiempo en todas sus etapas, ya que la construcción del banco hidráulico fue dispendiosa en cuanto a la consecución de los materiales. Así como para su montaje dentro de la universidad para poder realizar los ensayos.

## 1.6 MARCO REFERENCIAL

**1.6.1 Marco conceptual.** Solucionar y diseñar sistemas de redes hidráulicas bien sea con fluidos líquidos o gaseosos, su cálculo debe ser solucionado con base en las pérdidas de carga del fluido, estas se encuentran mutuamente relacionadas con el diámetro de las tuberías, material (PVC, CPVC, GALVANIZADA, COBRE, CONCRETO) (Chow, 1996) cuya rugosidad en la pared interna es diferente en cada una de ellas, en el fluido se debe tener en cuenta, si es de flujo laminar o flujo turbulento la viscosidad cinemática, temperatura y velocidad<sup>5</sup> (Fay, 1996).

En mecánica de fluidos estos problemas pueden ser resueltos por métodos matemáticos convencionales, los demás problemas se solucionan con métodos basados en coeficientes determinados experimentalmente en laboratorio. Debido a la gran variedad de fluidos que se utilizan en procesos industriales modernos se utilizan ecuaciones como la de Darcy-Weisbach<sup>6</sup> (Glenn, 2002) que tiene una extensa aplicación en el campo de transporte de fluidos; Lo mismo que la ecuación de Benedetto Castelli<sup>7</sup> (González, 2007) quien fue el primero en publicar el principio de la continuidad de los fluidos, luego Daniel Bernoulli, Leonhard Euler, matemáticos que elaboraron una síntesis de hidrodinámica perfecta.

En el siglo XIX se presentaron gran cantidad de avances como la de Jean Poiseuille quien demostró que había medido con exactitud el flujo en tubos capilares “ecuación de Poiseuille” a su vez Gotthilf Hagen estableció la diferencia entre flujo laminar y flujo turbulento, Lord Osborne Reynolds continuo el trabajo de Hagen y estableció el numero adimensional que lleva su nombre, luego se encuentra el señor George Stokes quien completo las ecuaciones generales de movimiento de fluidos con fricción y estas llevan su nombre. En 1904 el alemán Ludwig Prandtl demostró que los flujos de los fluidos se pueden dividir en una capa cercana a las paredes en donde los efectos de fricción son mayores y una capa exterior donde los efectos de

---

<sup>5</sup> FAY, James. Mecanica de fluidos. México: Continental, 1996

<sup>6</sup> GLENN, B. (2002). The History of Darcy Weisbach for pipe Flow Resistance. En: Environmental and Water Resources History. October – November, 2002. no. 4, p. 35.

<sup>7</sup> PEDROZA GONZÁLEZ, Edmundo; ORTIZ MEDEL, Josefina y MARTÍNEZ GONZÁLEZ, Francisco Historia del Teorema de Bernoulli. En: Acta Universitaria, vol. 17, núm. 1, enero-abril, 2007, pp. 39

fricción son despreciables y que se pueden aplicar las ecuaciones de Euler y Bernoulli<sup>8</sup>.

## 1.6.2 Marco teorico

**1.6.2.1 Flujos internos.** Los flujos internos en una tubería se encuentran en cualquier lugar, desde el suministro de agua potable en los hogares, hasta el transporte de los fluidos de un sitio a otro se hace a lo largo de un sistema de tuberías de sección circular y diámetro interior constante. “El flujo de los fluidos en la tuberías esta siempre acompañado del rozamiento de las partículas del fluido entre sí y con la pared interna de la tubería”<sup>9</sup>, consecuentemente aparece “la pérdida de energía disponible, desde luego existe una pérdida de presión en el sentido del flujo”<sup>10</sup>. Si se conectan dos manómetros de Bourdon a una distancia L en una tubería circular por la que transita el fluido y se hace la lectura encontrándose claramente la diferencia de presión estática entre los dos manómetros.

La pérdida de energía se expresa en términos de energía por unidad de peso del fluido, comúnmente se denomina pérdida de carga. La pérdida de carga está relacionada con el tipo de flujo bien sea laminar o turbulento, los sistemas de tuberías incluyen válvulas, codos, ensanchamientos, contracciones, entradas, salidas y curvas, conexiones que causan pérdidas adicionales conocidas como pérdidas menores o pérdidas singulares.

**1.6.2.2 Pérdidas de carga a lo largo de la tubería.** A medida que el fluido circula por una tubería ocurren pérdidas de energía debido a la fricción interna del fluido, dependiendo de la viscosidad de los fluidos en sus movimientos aparecen fuerzas cortantes entre las partículas fluidas y la pared interna de la tubería lo mismo que entre las capas del fluido, las fuerzas cortantes son muy diferentes en función del flujo cuando este es laminar o turbulento<sup>11</sup>

En el flujo laminar las partículas fluidas se mueven a una velocidad constante a lo largo de la tubería formando un conjunto de capas o laminas, estas se caracterizan por líneas de corrientes suaves y movimiento ordenados, por lo tanto, la componente de velocidad del fluido es la magnitud física predominante<sup>12</sup> (Avila, 1977)

En el flujo turbulento hay un cambio en las diferentes direcciones las partículas fluidas se mueven en forma desordenada, se caracteriza por las fluctuaciones de velocidad y movimiento desordenado, es imposible conocer la trayectoria de una partícula individualmente, existe una fluctuación tridimensional que se entiende

---

<sup>8</sup> SALDARRIAGA, Op. cit., p.

<sup>9</sup> CREIN, Op. cit., p.

<sup>10</sup> WHITE, Frank. Fluid Mechanics. New York: MC Graw Hill, 1994

<sup>11</sup> CENGEL y CIMBALA, Op. cit.,

<sup>12</sup> ÁVILA, G. S. Fundamentos Hidráulica general. México: Limusa, 1977

como las componentes de velocidad, este fenómeno origina un fuerte intercambio de movimiento entre las distintas capas del fluido<sup>13</sup> (Streeter & Wylie, 1979)

En régimen laminar el fluido se desplaza en forma de varias capas una sobre otra, debido a la viscosidad del fluido, se crea una tensión de corte entre capas, la energía se pierde del fluido mediante la acción de vencer las fuerzas de fricción producidas por la tensión de corte, las pérdidas de carga lineales se pueden obtener mediante la ecuación de Hagen-Poiseuille.

$$h_L = \frac{32\mu Lv}{\gamma D^2}$$

### **Ecuación 1. Hagen-Poiseuille (Mott, 2006)**

La ecuación de Hagen-Poiseuille es válida solamente para fluidos laminares  
 $Re \leq 2000$  flujo laminar

$2000 \leq Re \leq 4000$  flujo transicional o zona de transición  
 $Re \geq 4000$  flujo turbulento

Ecuación de Darcy-Weisbach.

$$h_L = f \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

### **Ecuación 2. Darcy-Weisbach (Mott, 2006)**

$h_L$  = Pérdida de energía debido a la fricción (m)

L = Longitud de la corriente de flujo (m)

D = Diámetro del conducto (m)

V = Velocidad del flujo promedio (m/s)

f = Factor de fricción sin dimensiones.

La ecuación de Darcy-Weisbach se puede utilizar para calcular la pérdida de energía en secciones largas y rectas de conductos circulares, tanto para flujo laminar como para flujo turbulento.

Para calcular la pérdida por fricción en un flujo laminar se igualan las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hagen-Poiseuille.

Entonces:

$$f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} = \frac{32\mu Lv}{\gamma D^2}$$

---

<sup>13</sup> STREETER, Víctor y WYLIE, B. E. Mecánica de fluidos. México: Mc. Graw Hill.1979

$$f = \frac{32\mu Lv}{\gamma D^2} * \frac{D2g}{LV^2} = \frac{64\mu g}{VD\gamma}$$

Como:

$$\rho = \frac{\gamma}{g}$$

Se tiene que:

$$f = \frac{64\mu}{VD\rho}$$

El flujo laminar y turbulento dependen del valor de la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas es decir el número de **Reynolds**, que se expresa para flujo interno de una tubería circular.

$$Re = \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{V_{\text{prom}}D}{\nu} = \frac{\rho V_{\text{prom}}D}{\mu}$$

**Ecuación 3. Número de Reynolds (Universidad Iberoamericana Ciudad de México, 2008)**

$V_{\text{prom}}$  = Velocidad de flujo de promedio en m/s

$D$  = Diámetro de la tubería en m

$\mu$  = Viscosidad dinámica o absoluta

$\nu = \mu/\rho$  = Viscosidad cinemática del fluido en m<sup>2</sup>/s

El número Reynolds es adimensional.

Como:

$$Re = \frac{\rho V_{\text{prom}}D}{\mu}$$

Entonces sustituyendo:

$$f = \frac{64\mu}{VD\rho}$$

$$Re = \frac{\rho V_{\text{prom}}D}{\mu}$$

Se tiene que:

$$f = \frac{64}{Re}$$

**Ecuación 4. Factor de fricción flujo laminar (Mott, 2006)**

El factor  $f$  se puede utilizar para obtener la pérdida de energía debida a la fricción de un flujo laminar con la ecuación de Darcy-Weisbach y/o Hagen-Poiseuille.

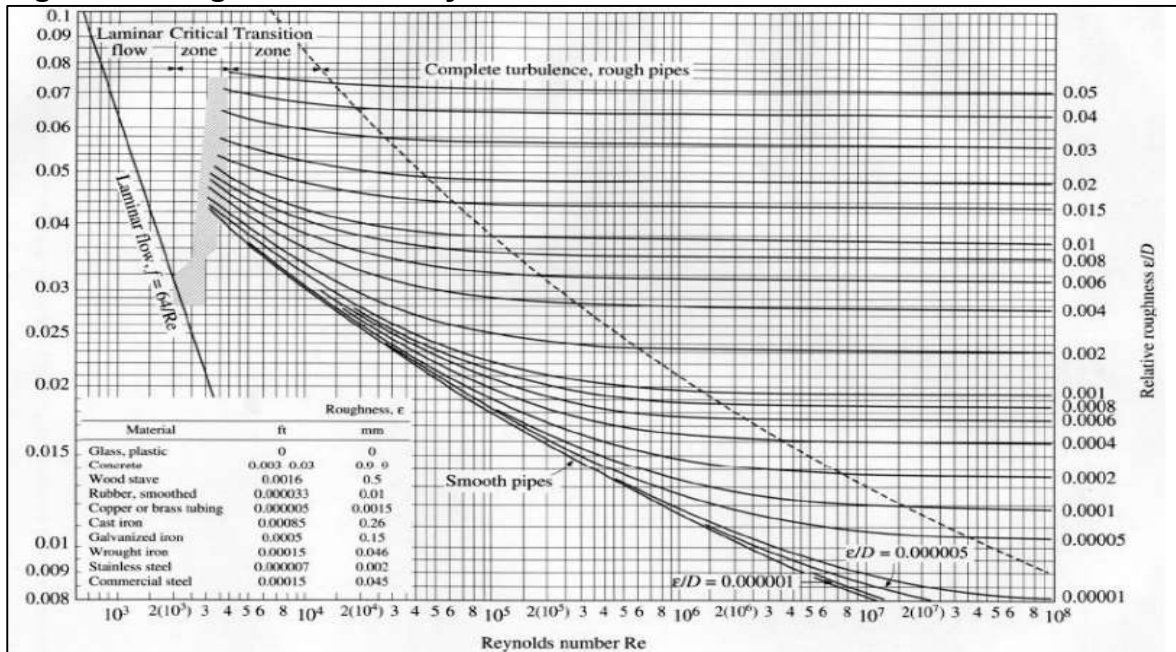
En (1939) Colebrook y White combinaron diversas expresiones disponibles para flujo en transición y turbulento en tuberías lisas y rugosas, propusieron una única expresión conocida como la ecuación de Colebrook White, que puede aplicarse en cualquier régimen turbulento.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\epsilon_r}{3.7} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$

**Ecuación 5. Colebrook-White (Colebrook C. F, 1938)**

El inconveniente de esta ecuación es el coeficiente  $f$ , pues no aparece en forma explícita y debe recurrirse a un procedimiento interactivo o calculo numérico especial para su solución a partir de esta Lewis Moody desarrollo un diagrama que lleva su nombre y en el que se muestra una familia de curvas de iso-rugosidad relativa con las que se determina el coeficiente de fricción a partir de la intersección vertical de numero de Reynolds con la iso curva correspondiente (véase la Figura 1).

**Figura 1. Diagrama de Moody**



Fuente. SALDARRIAGA, Juan. Hidráulica de tuberías abastecimiento de agua, redes, riegos. Bogotá: Alfaomega, 2016.

Posterior mente en 1983 S.E. Haaland proporciono una relación explicita aproximada para  $f$  como:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \cong -1.8 \log \left( \frac{6.9}{Re} + \left( \frac{\epsilon}{3.7D} \right)^{1.11} \right)$$

**Ecuación 6. Haaland (Cengel & Cimbala, 2006)**

$$f \cong 0.001375 \left( 1 + \left( 200\epsilon_r + \frac{10^6}{Re} \right)^{\frac{1}{3}} \right)$$

**Ecuación 7. Moody (Saldarriaga, 2016)**

La ecuación de Colebrook en la zona donde Reynolds tiende a infinito esta se reduce a la ecuación de Von Karman que es explicita en f:

$$\frac{1}{f} = -2 \log \left( \frac{\epsilon_r}{3.7} \right)$$

**Ecuación 8. Von Karman (Saldarriaga, 2016)**

Para los cálculos se debe estar seguro de utilizar el diámetro interno de la tubería pues puede ser diferente al diámetro nominal.

**1.6.2.3 Pérdidas menores o singulares.** En un sistema típico de tubería el fluido pasa a través de varios accesorios como entradas y salidas de tuberías, codos, válvulas, cambios de dirección y cambios de sección, normalmente estas pérdidas son pequeñas comparadas con las pérdidas de carga por fricción en los tubos de ahí su nombre pérdidas menores.

Las pérdidas menores se expresan con el coeficiente de resistencia o con el coeficiente de pérdida y se define como:

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

**Ecuación 9. Coeficiente de pérdida (Saldarriaga, 2016)**

Cuando del coeficiente de pérdida de un accesorio está disponible, la pérdida de carga de este accesorio para su estimación se emplea la siguiente expresión:

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

**Ecuación 10. Coeficiente de pérdida (Cengel & Cimbala, 2006)**



Las pérdidas menores normalmente se expresan como una longitud total a la tubería y se llama como Longitud equivalente, que se define como:

$$h_L = K_L * \frac{V^2}{2g} = f * \frac{L_{\text{equivalente}}}{D} * \frac{V^2}{2g} \rightarrow L_{\text{equivalente}} = \frac{D}{f} * K_L$$

**Ecuación 11. Longitud equivalente (Mott, 2006)**

## 1.7 METODOLOGIA

**1.7.1 Tipo de estudio.** Se desarrolla una investigación experimental, que es un tipo de investigación en donde se usan experimentos y principios encontrados en el método científico. En este caso se realizaran ensayos de medición de la caída de presión entre dos puntos de un sistema en mecánica de fluidos, teniendo en cuenta sus propiedades, la estática de los fluidos, las fuerzas hidrostáticas y el flujo de los fluidos en las tuberías

Así mismo, el tipo de estudio será mixto que “representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio”, esto ya que se aplicará técnicas de recolección y análisis de la información tanto documental como práctica.

## 1.8 DISEÑO METODOLOGICO

Para la realización de proyecto, en primera instancia se realizó el diseño y modelación del banco hidráulico, para luego se realizó la cotización para de esta forma poder comprar los elementos y accesorios necesarios, así finalmente se entro a la etapa de la construcción del banco hidráulico. Investigando acerca de la variable de temperatura en el fluido a estudiar, este se llevo a través de bibliografías especializadas e internet, de esta manera se diseño y contruyo.

Finalmente arranca la etapa de pruebas experimentales en el banco para obtener resultados, haciendo la comparación teórica práctica, según teóricas establecidas en libros relacionados con el tema, tabulando los mismos y haciendo su respectivo análisis. Para después poder elaborar un manual para la anotación de los ensayos a realizar en cada práctica de laboratorio de la Universidad Católica de Colombia.

A continuación se describen las actividades que se desarrollar el trabajo (véase el Cuadro 1)

**Cuadro 1. Fases del Proyecto**

<b>Fase del Trabajo</b>	<b>Actividades</b>
<b>Plantamiento Del Problema</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Definición de objetivos de la investigación.</li> <li>➤ Definición de ensayos a realizar.</li> <li>➤ Definición de las temperaturas a trabajar (calentador convencional)</li> </ul>
<b>Recolección De La Información</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Recolección de investigaciones y experiencias a nivel nacional e internacional.</li> <li>➤ Estado del laboratorio y aporte a la universidad.</li> <li>➤ Resultados obtenidos ventajas y desventajas.</li> </ul>
<b>Ejecución De Ensayos En El Laboratorio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Caracterización de materiales.</li> <li>➤ Recolección del cambio de pérdida de presión con base en el cambio de temperatura.</li> <li>➤ Elaboración de un manual de uso para la mejor utilización del banco hidráulico.</li> </ul>
<b>Revisión De Resultados De Ensayos En El Laboratorio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Evaluación y análisis de resultados obtenidos en ensayos de laboratorio.</li> <li>➤ Valoración de la influencia del trabajo realizado en condiciones no convencionales.</li> </ul>
<b>Elaboración De Documento De Investigación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Elaboración de documento con los resultados obtenidos tras los ensayos en el laboratorio.</li> <li>➤ Conclusiones de estudio y recomendaciones para fases posteriores.</li> </ul>

Fuente. El Autor

## **2. DISEÑO, MODELACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO HIDRÁULICO**

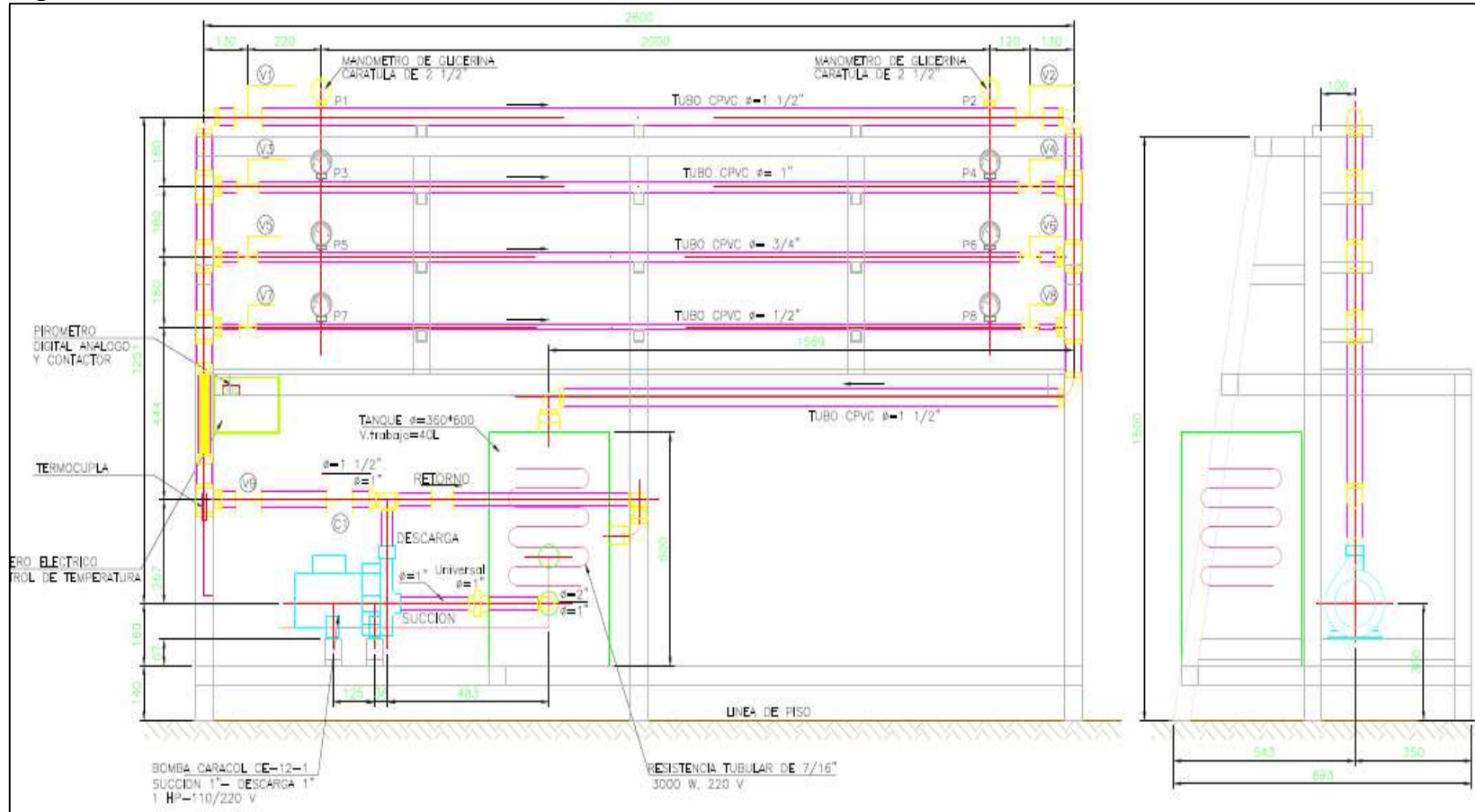
### **2.1 CONDICIONES DE DISEÑO**

Debido a que, a nivel nacional en las universidades donde se realizan los laboratorios de pérdidas de energía en tuberías no es posible realizar el ensayo modificándolo al aumentar la temperatura del agua que transita por éstas, se define diseñar y construir un banco hidráulico que contara con cuatro diferentes diámetros de tubería ( $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ ", 1" y 1  $\frac{1}{2}$ "") y un material especial (CPVC) que puede resistir temperaturas de hasta 82°C, que produce un calentador convencional. Con base en lo anterior se diseñó un primer bosquejo con el programa de ayuda para dibujo (AutoCAD 2016) para determinar longitudes, pesos y accesorios necesarios para la construcción del banco hidráulico, de esta forma se determina la altura total para tener facilidad de las lecturas en los manómetros.

Las condiciones de diseño del banco hidráulico fueron determinados con la revisión de los estudios teóricos realizados, en los que se analizaron las diferentes fórmulas para el análisis de pérdidas de presión en tuberías.

Utilizando en programa de diseño estructural (ETABS 2016), se determina que la estructura debe ser fabricada en tubería cuadrada de  $1\frac{1}{2}$ "\*1.5mm de espesor, las dimensiones generales son, una longitud de 2600mm, una altura de 1500mm y un ancho de 800mm, la cual tiene un peso aproximado de 95 Kg sin incluir los elementos hidráulicos como tanque, bomba y accesorios (véase la Figura 2).

**Figura 2. Plano Banco Hidráulico**



Fuente. El Autor

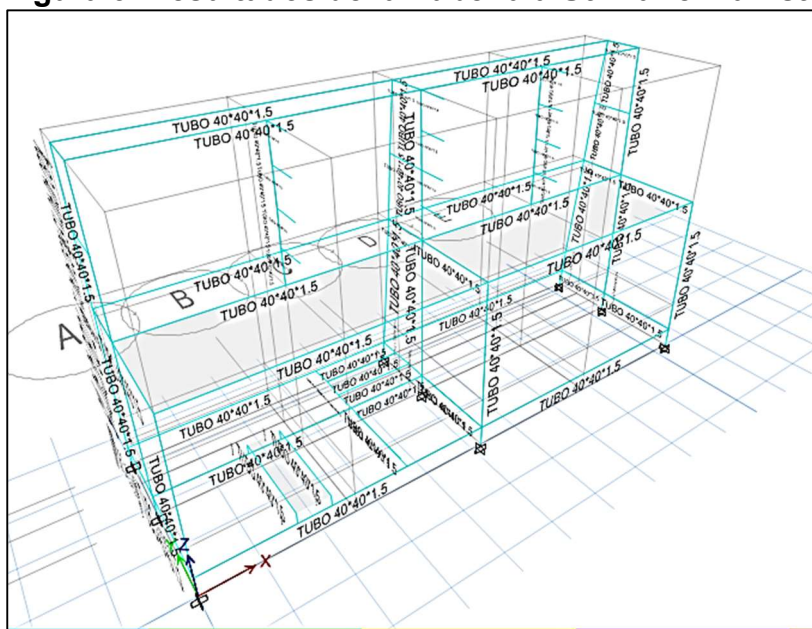
De acuerdo con las longitudes de las tuberías se determina que el tanque debe tener un volumen libre de 40l ya que las tuberías de todo el sistema totalmente llenas tienen una capacidad aproximada de 10l, y que al localizar la resistencia se determina una altura mínima dentro del tanque ya que esta no puede trabajar por ningún motivo al aire libre ni al nivel de la succión de la bomba, por tal motivo el coeficiente de almacenamiento de agua en el tanque debe ser mínimo 4 a 1 para una recirculación óptima.

Así mismo, el tanque cuenta con una resistencia eléctrica de 3000W y 220v bifásica para poder calentar este volumen de agua entre 3 y 5 minutos según la temperatura que se desee, la temperatura de la resistencia es controlada por un pirómetro instalado en la parte inicial de todo el sistema de tubería.

La bomba centrífuga, eléctrica bifásica a 220v con la que cuenta el banco, que es el dispositivo que aumenta energía al fluido es de un 1HP, con un impulsor hecho en acero inoxidable AISC-304, sus sellos hidráulicos son en viton, por estos motivos se puede trabajar con una temperatura desde  $-10^{\circ}\text{C}$  hasta  $90^{\circ}\text{C}$  (véase el Anexo D), el diámetro de la succión y de la descarga es de 1" NPT.

Con los planos iniciales de distribución y localización de las tuberías y accesorios y teniendo en cuenta las cargas mínimas de trabajo (muertas y vivas) de todo el prototipo se llevaron estos datos al programa ETABS 2016 para determinar el tipo de perfilaría a utilizar en la construcción de la estructura, arrojando como resultado que el tubo necesario para desarrollar el banco debe ser de 40mm\*40mm con un espesor de 1.5mm (véase la Figura 3).

**Figura 3. Resultados de la Tubería a Utilizar en la Estructura**



Fuente. El Autor.

Para completar el requerimiento se diseñó la parte hidráulica del banco, partiendo de la velocidad requerida en el sistema, igualando varias ecuaciones y de esta forma poder lograr una velocidad físicamente basada.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\epsilon_r}{3.7} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$

### Ecuación 12. Colebrook-White

Remplazando el número de Número de Reynolds, debido a que

$$Re = \frac{V_{prom} D}{\nu}$$

Entonces se tiene:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\epsilon_r}{3.7} + \frac{2.51 * \nu}{VD * \sqrt{f}} \right)$$

Despejando de la ecuación de Darcy-Weisbach el factor de fricción tenemos que:

$$h_L = f \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad \rightarrow \quad f = \frac{h_L * D * 2g}{L * V^2}$$

Entonces:

$$\frac{1}{f} = \frac{LV^2}{h_L * D * 2g} \quad \rightarrow \text{PERO} \quad \rightarrow \quad \frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{\sqrt{L} * V}{\sqrt{h_L * D * 2g}}$$

Con esto la igualación sería:

$$\frac{\sqrt{L} * V}{\sqrt{h_L * D * 2g}} = -2 \log \left( \frac{\epsilon_r}{3.7} + \frac{2.51 * \nu}{VD * \sqrt{f}} \right)$$

Reemplazando  $\frac{1}{\sqrt{f}}$  y cancelando las dos velocidades se tiene que:

$$V = -2 * \frac{\sqrt{h_L * D * 2g}}{\sqrt{L}} * \log \left( \frac{\epsilon_r}{3.7} + \frac{2.51 * \nu * \sqrt{L}}{D * \sqrt{h_L * D * 2g}} \right)$$

Luego de conseguir una velocidad para cada uno de los diámetros realizamos la igualación en Excel con la función buscar objetivo, de esta manera se puede calcular la bomba con base a las pérdidas, como se muestra a continuación el cálculo de la potencia de la bomba (véase el Cuadro 2).

**Cuadro 2. Potencia de la Bomba**

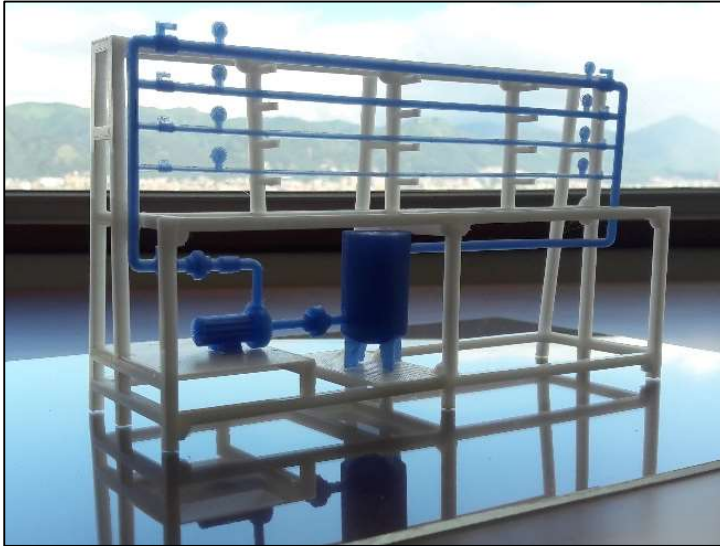
POTENCIA BOMBA														
BANCO DE PRUEBAS				PUNTOS DE REFERENCIA										
				PUNTO 1:			Superficie superior tanque 1							
				PUNTO 2:			Superficie superior tanque 2							
<b>DATOS</b>				<b>UNIDADES METRICAS SI</b>										
Rapidez de flujo Q=			0,00268948	m <sup>3</sup> /s	Elevacion punto 1=			0	m					
Presion punto 1=			0	kPa	Elevacion punto 2=			1,4	m					
Presion punto 2=			0	kPa										
Velocidad punto 1=			0	m/s										
Velocidad punto 2=			0	m/s										
<b>PROPIEDADES DEL FLUIDO</b>				AGUA Temperatura 15° C										
Peso específico			9,81	kN/m <sup>3</sup>	Viscosidad cinematica			0,0000115	m <sup>2</sup> /s					
<b>TUBERIA SUCCION</b>					<b>TUBERIA DESCARGA</b>									
Material:			GALVANIZADO		Material:			CPVC						
Diámetro nominal			2" in		Diámetro nominal			1 1/2" in						
Diámetro: (D int)=			52,48	mm	Diámetro: (D int)=			33,78	mm					
Rugosidad de pared: (ε)=			1,5E-06	m	Rugosidad de pared: (ε)=			3E-07	m					
Longitud: (L)=			0,4	m	Longitud: (L)=			3,6	m					
Area: (A)=			0,002163	m <sup>2</sup>	Area: (A)=			0,000896	m <sup>2</sup>					
Rugocidad relativa (D/ε)			34986,67		Rugocidad relativa (D/ε)			112600						
L/D			7,621951		L/D			106,5719						
Velocidad de flujo (V)=			1,243341	m/s	Velocidad de flujo (V)=			3,00	m/s					
Cabeza de velocidad			0,078792	m	Cabeza de velocidad			0,459006	m					
REYNOLDS			56739,58		REYNOLDS			88149,6						
Factor de friccion (f)			0,009242		Factor de friccion (f)			0,010287						
<b>PERDIDAS DE ENERGIA SUCCION</b>				<b>K</b>	<b>Cant</b>	<b>Pedidas (hL)</b>	<b>Un</b>	<b>PERDIDAS DE ENERGIA DESCARGA</b>			<b>K</b>	<b>Cant</b>	<b>Pedidas (hL)</b>	<b>Un</b>
Tubería						0,005550057	m	Tubería					0,50322295	m
Reduccion	2 1/2"-1"		0,27		1	0,021273801	m	Codo de 90° estandar	1 1/2"	0,6		5	1,377017009	m
Elemento							m	Tee paso directo	1 1/2"	0,4		5	0,918011339	m
Elemento							m	Valvula de compuerta abierta	1 1/2"	0,16		2	0,146881814	m
Elemento							m	Valvula de retencion	1 1/2"	2		1	0,918011339	m
Elemento							m	Ampliacion	1"-1 1/2"	0,39		1	0,179012211	m
Elemento							m	Salida	1"	1		0	0	m
Elemento							m	Elemento						m
						0,026823857							4,042156663	
PERDIDA TOTAL DE ENERGIA			5,468981	m										
CARGA TOTAL (hA)			7,249194	m										
POTENCIA AÑADIDA (Pa)			0,191261	kN.m/s										
EFICIENCIA			0,4	%										
POTENCIA REQUERIDA			0,478153	kN.m/s										
POTENCIA EN EL EJE (motor)			0,531281	kN.m/s										
POTENCIA DE LA BOMBA (HP)			0,712172	HP										

Fuente. El Autor

Debido al valor que se encuentra se toma la decisión de realizar el banco con una bomba de 1HP a 220V y para una temperatura de trabajo de hasta 90°C.

Finalmente se tiene la modelación final del banco hidráulico, que fue llevada a maqueta a escala como se muestra a continuación (véase la Figura 4).

**Figura 4. Maqueta Banco Hidráulico**



Fuente. El Autor

## **2.2 CONSTRUCCIÓN DEL BANCO HIDRÁULICO**

El banco hidráulico es una estructura diseñada para soportar los conductos, tubos, accesorios y dispositivos que se utilizan como prototipo para realizar los laboratorios de pérdida de energía.

**2.2.1 Estructura del banco hidráulico.** Una vez determinado el diseño según especificaciones técnicas para el mismo, y para los elementos que lo componen se inicia el proceso de construcción del banco hidráulico, el cual está fabricado en tubería estructural A-36 cuadrada de 1 1/2" \* 1.5mm de espesor, tiene una longitud horizontal de 2.60m, una altura total de 1.50m y un ancho de 0.80m, cuenta con tres bastidores verticales cuya función es dar rigidez al banco y soportar las líneas de tubería, para evitar la deflexión de los tubos debido a que a mayor temperatura el material CPVC (véase el Anexo G) se deflecta con mayor facilidad, para los ensayos de laboratorio, en la parte inferior lleva un espacio donde se ubica el tanque de almacenamiento con una capacidad de 40l, una bomba centrífuga de 1HP, un tablero de control eléctrico de la temperatura del fluido y un arrancador eléctrico especial para la bomba (véase la Figura 5). El acabado de la estructura es en pintura esmalte, la estructura metálica fue analizada mediante el programa ETABS (véase el Anexo H).



**Figura 5. Estructura Banco Hidráulico**



Fuente. El Autor

**2.2.2 Tanque de almacenamiento.** El tanque de almacenamiento (depósito) diseñado para un volumen neto de agua de 40 litros, fabricado en acero inoxidable calibre 24, con un diámetro de 0.36 m y una altura de 0.50 m, tiene un flanche de diámetro de 2" con rosca interna NPT, en la cual va instalada la resistencia eléctrica, el tanque cuenta con las siguientes salidas succión de la bomba 2", descarga de la red de circulación de 1 ½", limpieza de residuos del tanque en ¾", entrada del retorno en 1" y una mirilla con tubo de vidrio, con un diámetro de ½" (véase la Figura 6).

**Figura 6. Tanque Banco Hidráulico**



Fuente. El Autor

**2.2.3 Manómetro.** Dispositivo mecánico que comunmente se utiliza para medir la presión, consta de un tubo metálico hueco doblado cuyo extremo se cierra y se conecta a la aguja de un indicador de carátula, la cual se deflecta señalando la presión del sistema, cuando el tubo se abre a la atmosfera este recupera su estado inicial, el manómetro utilizado es de diámetro 2" de carátula con glicerina, con rosca de conexión diámetro ¼" NPT, en las tuberías de ½", ¾" y 1" utiliza una escala de 0-30 psi, mientras que en el tramo de tubería de 1 ½" utiliza una escala de 0-15 psi (véase la Figura 7).

**Figura 7. Manómetro Banco Hidráulico**



Fuente. El Autor

**2.2.4 Elemento calefactor (Resistencia eléctrica).** Es una resistencia tubular con un diámetro 7/16" con una longitud de 0.30 m, con un flanche de 2" NPT y una potencia de 3000 W, bifásica 220v con dos fases para dar una mayor rapidez en el aumento de la temperatura requerida en el fluido, este elemento calefactor está gobernado por un tablero de control eléctrico en el cual la señal es tomada por medio de un pirómetro instalada al inicio del sistema de tuberías (véase la Figura 8).

**Figura 8. Tablero Eléctrico**



Fuente. El Autor

**2.2.5 Bomba centrífuga.** Es un dispositivo eléctrico-mecánico cuya función es aumentar entregar energía al fluido, el proyecto cuenta con una bomba centrífuga de 1 HP con materiales especiales en su impulsor (acero inoxidable) y los sellos (viton) debido a la temperatura del fluido que va a trabajar. Especificaciones técnicas (véase Anexo D. Catalogo Bomba Centrífuga CP-620).

La bomba centrífuga CP-620 cuenta con una potencia de 1 HP bifásica 220v, consume aproximadamente 5 A, la curva de desempeño determina que para un caudal de 10l/min se tiene una altura de 34mca y para un caudal de 100l/min se obtiene una altura de 19mca, la bomba soporta una temperatura de hasta 90°C, el impeler está fabricado en acero inoxidable AISI-304 y con los sellos mecánicos especiales, el diámetro de succión e impulsión son en 1" NPT (véase la Figura 9).

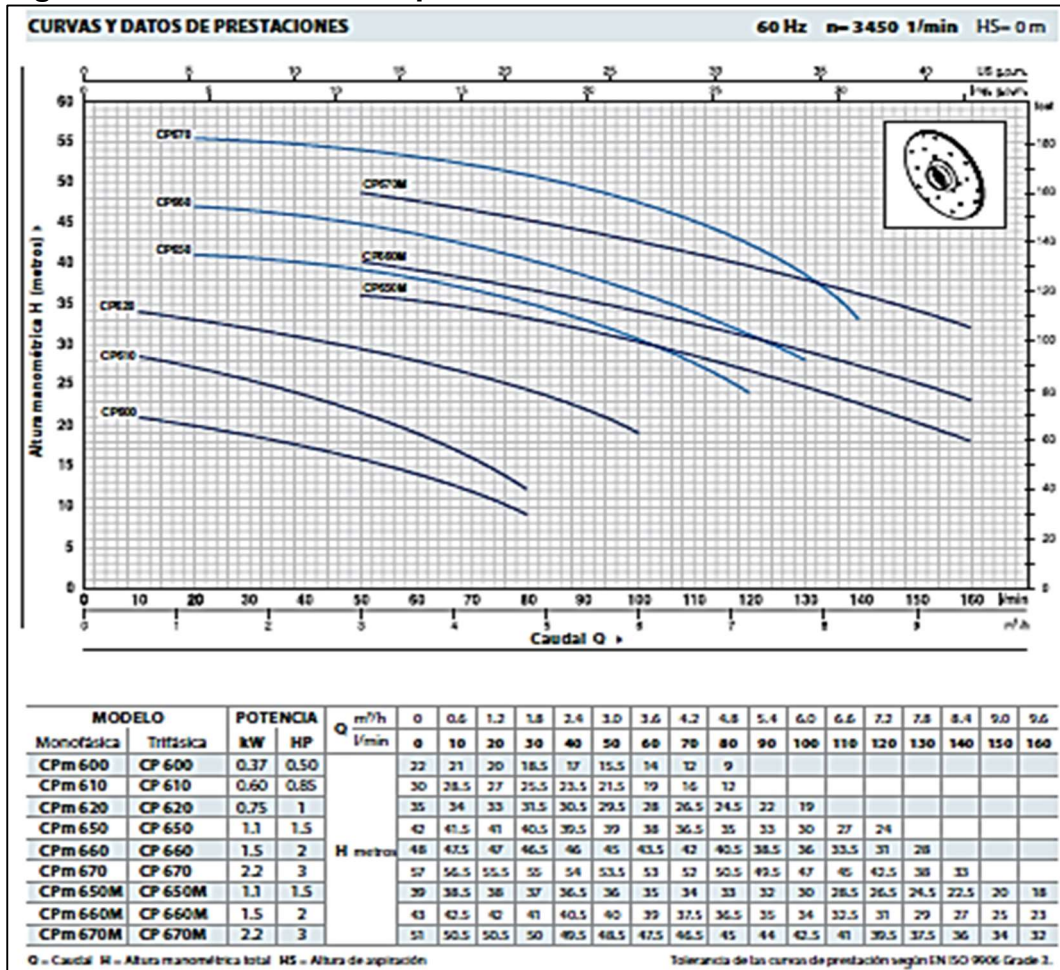
**Figura 9. Bomba Centrífuga**



Fuente. El Autor

**2.2.6 Curva de desempeño bomba centrífuga CP-620.** A continuación, se puede observar la Curva de desempeño de la bomba centrífuga (véase la Figura 10).

**Figura 10. Curva de Desempeño**



Fuente. PREDOLLO. Electrobombas centrífugas [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.pedrollo.com.co/es/cp-037-22-kw-electrobombas-centrifugas/245>>

**2.2.7 Redes y accesorios.** El banco hidráulico cuenta con tuberías en CPVC con diferentes diámetros ( $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ , 1, 1  $\frac{1}{2}$  in), codos, universales, tees, válvulas de cortina, cheques, ampliaciones, reducciones y manómetros de glicerina de 2" (véase la Figura 11).

**Figura 11. Accesorios Banco Hidráulico**



Fuente. El Autor

**2.2.8 Flujómetro - Caudalímetro.** Instrumento que se utiliza para la medida del caudal, en él un contrapeso puede ascender por una guía vertical, debido a la fuerza de arrastre de la corriente, hasta una altura que es proporcional al caudal que transita. El banco hidráulico cuenta con un flujómetro que empieza con un caudal de 4GPM hasta 28GPM, este puede resistir una temperatura máxima de 121°C, tiene un diámetro de entrada y salida de 1" NPT, cuenta con una precisión de +/- 5%, tiene una presión de trabajo máxima de 325 psi, el cuerpo, cono y piston esta fabricado en poliéster, el resorte esta fabricado en acero inoxidable y los sellos en Buna-N, su instalación es vertical (véase la Figura 12).

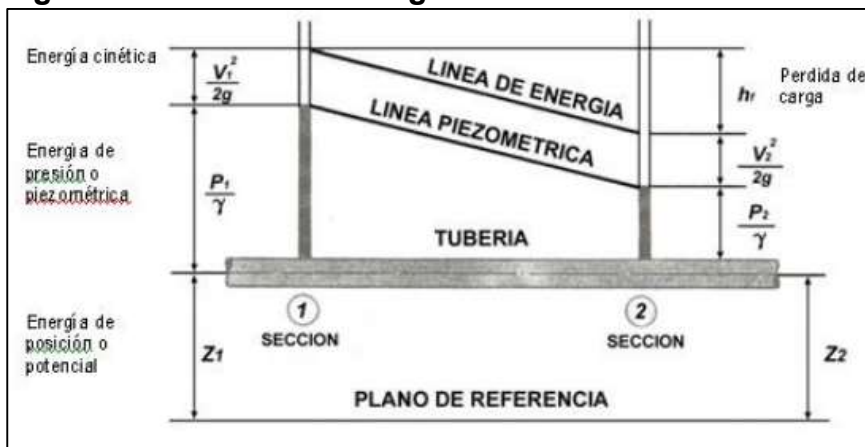
**Figura 12. Flujómetro Banco Hidráulico**



Fuente. El Autor

**2.2.9 Pérdida de energía.** A medida que un fluido fluye por un conducto, ocurren pérdidas debido al rozamiento de las partículas entre sí, y a la fricción que hay entre el fluido y la pared de la tubería; consecuentemente estas interacciones traen como resultado la pérdida de energía disponible, es decir que tiene que existir una pérdida de presión en el sentido del flujo. Si se conectan dos manómetros a una distancia  $L$  en una tubería por donde transita un fluido, el manómetro inicial  $P_1$  indicara una presión estática mayor que la del manómetro  $P_2$  ubicado a la distancia  $L$  aguas abajo. La ecuación general de pérdida de presión conocida como la fórmula de Darcy-Weisbach (ver ecuación 2) “es válida tanto como para flujo laminar como turbulento en cualquier liquido en una tubería”<sup>14</sup> (véase la Figura 13).

**Figura 13. Pérdida de Energía**



Fuente. MOTT, Robert. Mecánica de fluidos. México: Pearson, 2006

**2.2.10 Tuberías CPVC.** La tubería CPVC hecha en poli-cloruro de vinilo clorado fabricada por PAVCO, se utiliza para el transporte de agua a altas temperaturas. La línea completa en tuberías y accesorios de CPVC para agua caliente de  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ , 1 y  $1 \frac{1}{2}$  in, cuenta con una resistencia máxima de 30lb.pie, a altas presiones de agua. La tubería CPVC RDE-11 cuenta con una presión de trabajo de 100 psi y una temperatura máxima de 82°C (PAVCO, 2017) (véase la Figura 14). Para esta temperatura tanto el limpiador como la soldadura líquida debe ser CPVC.

<sup>14</sup> GILES, Ranald. Mecánica de los fluidos e hidráulica. México: Mc Graw Hill, 1996. p. 33



**Figura 14. Tubería CPVC**



Fuente. El Autor.

En el momento de tener el banco hidráulico totalmente diseñado y construido se trasladó hacia la Universidad Católica de Colombia para poder realizar los ensayos pertinentes (véase la Figura 15)

**Figura 15. Banco Hidráulico Instalado en Laboratorio de Plantas**



Fuente. El Autor.

En el laboratorio de plantas de la Universidad Católica de Colombia se encuentra instalado el banco hidráulico de pruebas para la pérdida en tuberías con agua caliente, para diferentes temperaturas, este funciona sin ningún inconveniente y toma datos bastante dicientes (ver capítulo 4 guía para el procedimiento de manejo del banco hidráulico).

### **3. ANÁLISIS DE LA CAÍDA DE PRESIÓN EN EL BANCO HIDRÁULICO TRANSPORTANDO AGUA CON UNA VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA POR MEDIO DE TUBERÍAS CON DIFERENTES DIÁMETROS**

#### **3.1 PRUEBAS HIDRÁULICAS DEL SISTEMA**

Luego de terminar el montaje completo del banco hidráulico se iniciaron las pruebas hidráulicas del sistema, se recolectaron datos en cinco días, utilizando el formato diseñado para tal fin (véase el Anexo B). El proceso inicia con una temperatura de 20°C tomando los datos que registra el flujómetro (caudal) y los dos manómetros (presión) en cada una de las tuberías, apenas termina el ciclo se incrementa la temperatura 5°C y se realizan las mismas mediciones, este proceso se repite hasta que el fluido (agua) llegue a una temperatura de 60°.

Al recopilar los datos se digitan en Microsoft Excel, de esta forma se facilita el ordenar y graficar los datos de acuerdo al requerimiento, ya sea con base en el diámetro, caudal y/o temperatura (véase el Anexo C). En el momento cuando los datos ya estén ordenados de acuerdo al diámetro, caudal y temperatura es fácil evidenciar las diferencias en la caída de presión de acuerdo al aumento de la temperatura (véase los Cuadros 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 y las Figuras 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23)

**Cuadro 3. Toma de Datos Tubería CPVC 1 1/2" Q = 13 – 16 GPM**

TUBERÍA CPVC 1 1/2" Q=13-16 GPM								
DIÁMETRO NOMINAL (in)	DIÁMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL (GPM)	CAUDAL(LPM)	PRESIÓN 1 (psi)	PRESIÓN 2 (psi)	DIFERENCIA PRESIÓN (psi)	DISTANCIA ENTRE MANÓMETROS(m)	TEMPERATURA FLUIDO (°C)
1 1/2"	33,78	13	49,205	14	13,4	0,6	2,00	20
1 1/2"	33,78	16	60,56	12,6	12	0,6	2,00	25
1 1/2"	33,78	14	52,99	12,2	11,6	0,6	2,00	30
1 1/2"	33,78	13	49,205	12,4	11,9	0,5	2,00	35
1 1/2"	33,78	13	49,205	11,8	11,4	0,4	2,00	40
1 1/2"	33,78	14	52,99	12,2	11,8	0,4	2,00	45
1 1/2"	33,78	14	52,99	12	11,6	0,4	2,00	50
1 1/2"	33,78	14	52,99	12,5	12,1	0,4	2,00	55
1 1/2"	33,78	14	52,99	12,2	11,8	0,4	2,00	60
1 1/2"	33,78	13	49,205	12,2	11,8	0,4	2,00	65

Fuente. El Autor

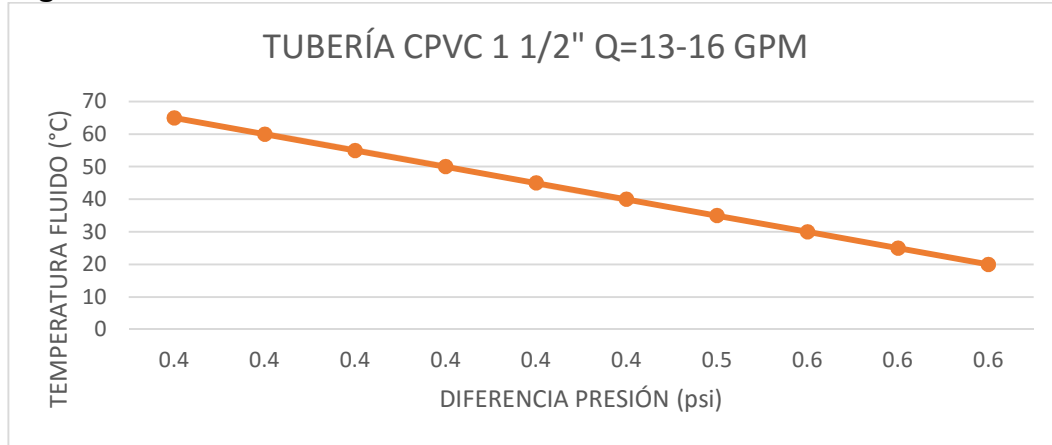
**Cuadro 4. Toma de Datos Tubería CPVC 1 1/2" Q = 13 – 17 GPM**

TUBERÍA CPVC 1 1/2" Q=16-17 GPM								
DIÁMETRO NOMINAL (in)	DIÁMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL (GPM)	CAUDAL(LPM)	PRESIÓN 1 (psi)	PRESIÓN 2 (psi)	DIFERENCIA PRESIÓN (psi)	DISTANCIA ENTRE MANÓMETROS(m)	TEMPERATURA FLUIDO (°C)
1 1/2"	33,78	17	64,345	5,2	4,5	0,7	2,00	20
1 1/2"	33,78	17	64,345	4,8	4,2	0,6	2,00	25
1 1/2"	33,78	17	64,345	4,4	3,9	0,5	2,00	30
1 1/2"	33,78	17	64,345	4,4	3,9	0,5	2,00	35
1 1/2"	33,78	17	64,345	4,4	4	0,4	2,00	40
1 1/2"	33,78	17	64,345	4,4	4	0,4	2,00	45
1 1/2"	33,78	17	64,345	4,2	3,8	0,4	2,00	50
1 1/2"	33,78	16	60,56	4,3	4	0,3	2,00	55
1 1/2"	33,78	16	60,56	3,8	3,5	0,3	2,00	60
1 1/2"	33,78	16	60,56	3,8	3,5	0,3	2,00	65

Fuente. El Autor

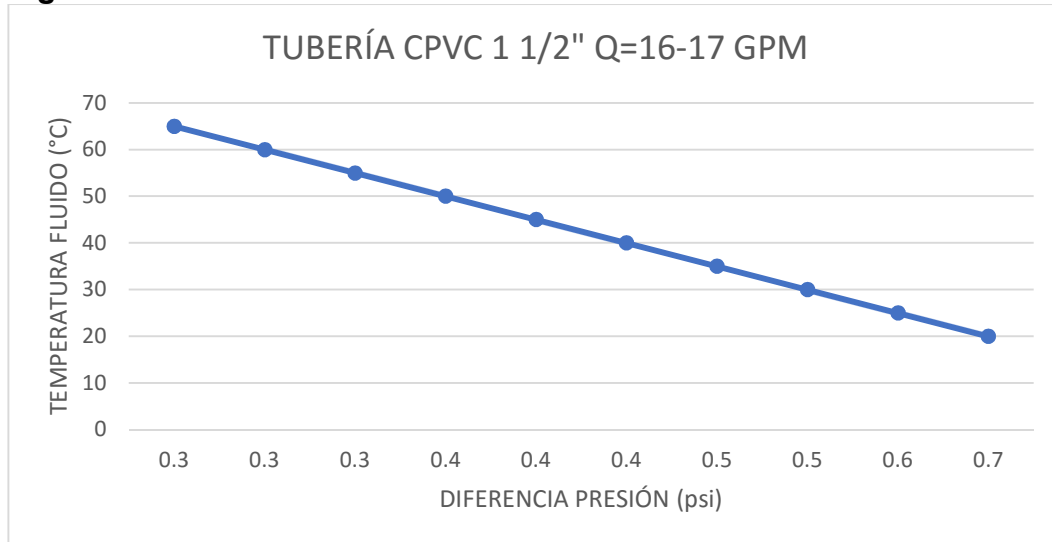


**Figura 16. Diferencia de Presión Tubería CPVC 1 1/2" Q=13-16 GPM**



Fuente. El Autor

**Figura 17. Diferencia de Presión Tubería CPVC 1 1/2" Q=16-17 GPM**



Fuente. El Autor

De acuerdo con los datos obtenidos en las pruebas de presión, en la tubería de 1 1/2" CPVC se demuestra que al aumentar la temperatura disminuye la caída de presión, analizando los valores registrados, se encuentra que la pérdida de presión en el sentido del flujo es de 0.3 psi equivalente a 0.21 mca y 2.07 kPa.

**Cuadro 5. Toma de Datos Tubería CPVC 1" Q = 10 – 13 GPM**

TUBERÍA CPVC 1" Q=10-13 GPM								
DIÁMETRO NOMINAL (in)	DIÁMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL (GPM)	CAUDAL(LPM)	PRESIÓN 1 (psi)	PRESIÓN 2 (psi)	DIFERENCIA PRESIÓN (psi)	DISTANCIA ENTRE MANÓMETROS(m)	TEMPERATURA FLUIDO (°C)
1"	23,42	10	37,85	12,6	11,8	0,8	2,00	20
1"	23,42	13	49,205	13,8	13	0,8	2,00	25
1"	23,42	12	45,42	13,5	12,8	0,7	2,00	30
1"	23,42	11	41,635	11,2	10,5	0,7	2,00	35
1"	23,42	11	41,635	14,2	13,6	0,6	2,00	40
1"	23,42	11	41,635	13	12,5	0,5	2,00	45
1"	23,42	11	41,635	13,5	13	0,5	2,00	50
1"	23,42	11	41,635	14,3	13,8	0,5	2,00	55
1"	23,42	11	41,635	15,8	15,3	0,5	2,00	60
1"	23,42	11	41,635	14	13,6	0,4	2,00	65

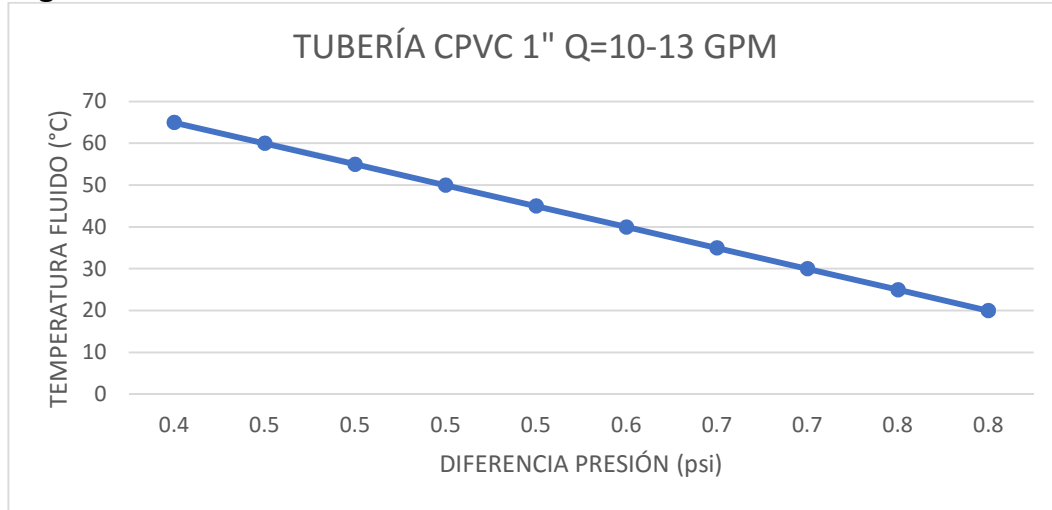
Fuente. El Autor

**Cuadro 6. Toma de Datos Tubería CPVC 1" Q = 17 GPM**

TUBERÍA CPVC 1" Q=17 GPM								
DIÁMETRO NOMINAL (in)	DIÁMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL (GPM)	CAUDAL(LPM)	PRESIÓN 1 (psi)	PRESIÓN 2 (psi)	DIFERENCIA PRESIÓN (psi)	DISTANCIA ENTRE MANÓMETROS(m)	TEMPERATURA FLUIDO (°C)
1"	23,42	17	64,345	4,8	3,2	1,6	2,00	20
1"	23,42	17	64,345	4,5	3	1,5	2,00	25
1"	23,42	17	64,345	4,5	3	1,5	2,00	30
1"	23,42	17	64,345	4,4	3	1,4	2,00	35
1"	23,42	17	64,345	4,4	3	1,4	2,00	40
1"	23,42	17	64,345	4,2	2,8	1,4	2,00	45
1"	23,42	17	64,345	4	2,8	1,2	2,00	50
1"	23,42	17	64,345	3,8	2,6	1,2	2,00	55
1"	23,42	17	64,345	3,8	2,6	1,2	2,00	60
1"	23,42	17	64,345	3,5	2,4	1,1	2,00	65

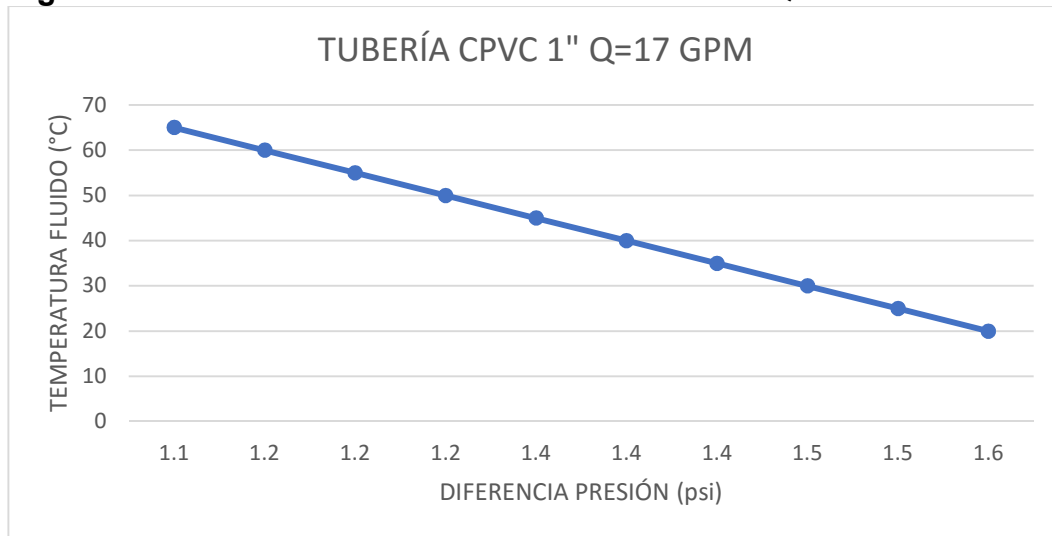
Fuente. El Autor

**Figura 18. Diferencia de Presión Tubería CPVC 1" Q=10-13 GPM**



Fuente. El Autor

**Figura 19. Diferencia de Presión Tubería CPVC 1" Q=17 GPM**



Fuente. El Autor.

En cuanto a la diferencia de presión en tubería de 1" CPVC, los registros tomados a los manómetros muestran la variación en la pérdida de presión basado en el aumento de la temperatura, también dejan ver que teniendo un diámetro menor la pérdida de presión empieza a aumentar, en promedio la variación entre el dato mínimo a la menor temperatura y el dato máximo a la mayor temperatura es de 0.45 psi equivalente a 0.32 mca y 3.1 kPa.

**Cuadro 7. Toma de Datos Tubería CPVC 3/4" Q = 12 GPM**

TUBERÍA CPVC 3/4" Q=12 GPM								
DIÁMETRO NOMINAL (in)	DIÁMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL (GPM)	CAUDAL(LPM)	PRESIÓN 1 (psi)	PRESIÓN 2 (psi)	DIFERENCIA PRESIÓN (psi)	DISTANCIA ENTRE MANÓMETROS(m)	TEMPERATURA FLUIDO (°C)
3/4"	18,17	12	45,42	17,4	15,4	2	2,00	20
3/4"	18,17	12	45,42	16,2	14,2	2	2,00	25
3/4"	18,17	12	45,42	16,4	14,8	1,6	2,00	30
3/4"	18,17	12	45,42	15	13,4	1,6	2,00	35
3/4"	18,17	12	45,42	16	14,5	1,5	2,00	40
3/4"	18,17	12	45,42	16,2	14,8	1,4	2,00	45
3/4"	18,17	12	45,42	16	14,6	1,4	2,00	50
3/4"	18,17	12	45,42	16	14,6	1,4	2,00	55
3/4"	18,17	12	45,42	15	13,6	1,4	2,00	60
3/4"	18,17	12	45,42	15,6	14,2	1,4	2,00	65

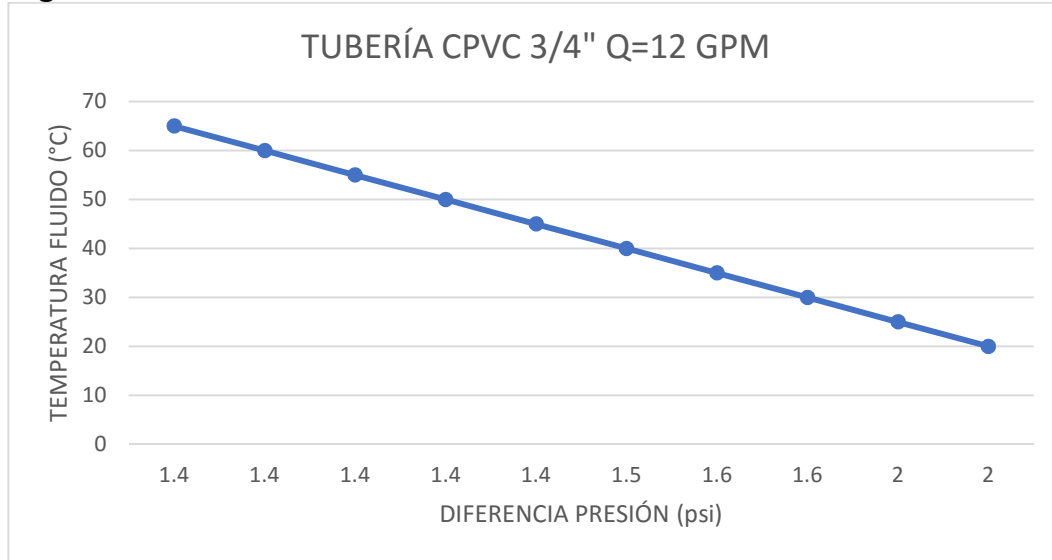
Fuente. El Autor

**Cuadro 8. Toma de Datos Tubería CPVC 3/4" Q = 15-17 GPM**

TUBERÍA CPVC 3/4" Q=15-17 GPM								
DIÁMETRO NOMINAL (in)	DIÁMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL (GPM)	CAUDAL(LPM)	PRESIÓN 1 (psi)	PRESIÓN 2 (psi)	DIFERENCIA PRESIÓN (psi)	DISTANCIA ENTRE MANÓMETROS(m)	TEMPERATURA FLUIDO (°C)
3/4"	18,17	16	60,56	11,5	8,5	3	2,00	20
3/4"	18,17	17	64,345	4,8	1,8	3	2,00	25
3/4"	18,17	16	60,56	11	8	3	2,00	30
3/4"	18,17	16	60,56	10,5	7,5	3	2,00	35
3/4"	18,17	16	60,56	10,4	7,5	2,9	2,00	40
3/4"	18,17	15	56,775	10	7,5	2,5	2,00	45
3/4"	18,17	15	56,775	10,2	7,8	2,4	2,00	50
3/4"	18,17	15	56,775	9,4	7,2	2,2	2,00	55
3/4"	18,17	15	56,775	9,8	7,6	2,2	2,00	60
3/4"	18,17	15	56,775	9	7	2	2,00	65

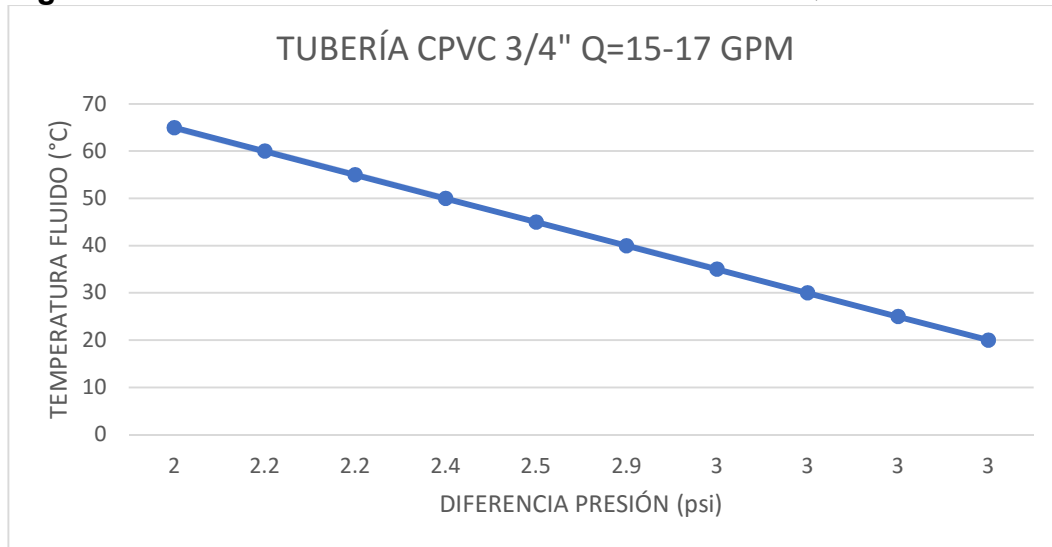
Fuente. El Autor

**Figura 20. Diferencia de Presión Tubería CPVC 3/4" Q = 12 GPM**



Fuente. El Autor

**Figura 21. Diferencia de Presión Tubería CPVC 3/4" Q = 15-17 GPM**



Fuente. El Autor

En la tubería de 3/4" CPVC manteniendo un variando un caudal entre 12 GPM y 17 GPM, teniendo los manómetros separados 2.00m y variando la temperatura de 20°C a 65°C, la diferencia en la caída de presión es de 0.8 psi equivalente a 0.56 mca y 5.52 kPa, demostrando que al aumentar la temperatura del sistema la pérdida de presión es menor.

**Cuadro 9. Toma de Datos Tubería CPVC 1/2" Q = 12 GPM**

TUBERÍA CPVC 1/2" Q=12 GPM								
DIÁMETRO NOMINAL (in)	DIÁMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL (GPM)	CAUDAL(LPM)	PRESIÓN 1 (psi)	PRESIÓN 2 (psi)	DIFERENCIA PRESIÓN (psi)	DISTANCIA ENTRE MANÓMETROS(m)	TEMPERATURA FLUIDO (°C)
1/2"	12,44	12	45,42	17	7	10	2,00	20
1/2"	12,44	12	45,42	16,8	6,8	10	2,00	25
1/2"	12,44	12	45,42	16,4	6,5	9,9	2,00	30
1/2"	12,44	12	45,42	16,4	6,8	9,6	2,00	35
1/2"	12,44	12	45,42	16,6	7	9,6	2,00	40
1/2"	12,44	12	45,42	16,6	7,2	9,4	2,00	45
1/2"	12,44	12	45,42	16,4	7	9,4	2,00	50
1/2"	12,44	12	45,42	16,1	6,8	9,3	2,00	55
1/2"	12,44	12	45,42	16,4	7,2	9,2	2,00	60
1/2"	12,44	12	45,42	16,2	7	9,2	2,00	65

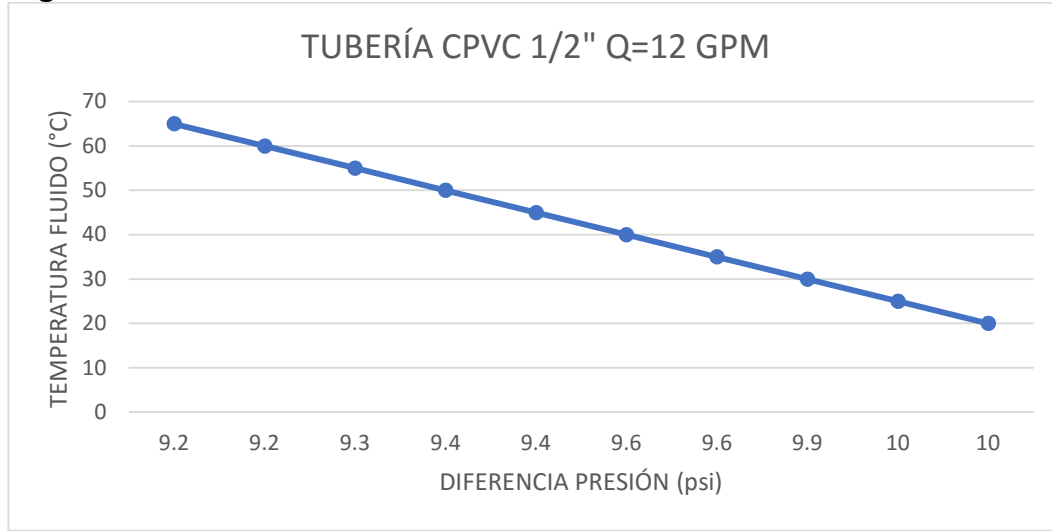
Fuente. El Autor

**Cuadro 10. Toma de Datos Tubería CPVC 1/2" Q = 13-14 GPM**

TUBERÍA CPVC 1/2" Q=13-14 GPM								
DIÁMETRO NOMINAL (in)	DIÁMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL (GPM)	CAUDAL(LPM)	PRESIÓN 1 (psi)	PRESIÓN 2 (psi)	DIFERENCIA PRESIÓN (psi)	DISTANCIA ENTRE MANÓMETROS(m)	TEMPERATURA FLUIDO (°C)
1/2"	12,44	13	49,205	17	4,5	12,5	2,00	20
1/2"	12,44	13	49,205	17	4,5	12,5	2,00	25
1/2"	12,44	13	49,205	16,2	4,2	12	2,00	30
1/2"	12,44	13	49,205	16,4	4,4	12	2,00	35
1/2"	12,44	13	49,205	16,4	4,5	11,9	2,00	40
1/2"	12,44	13	49,205	16,2	4,4	11,8	2,00	45
1/2"	12,44	13	49,205	16,4	4,6	11,8	2,00	50
1/2"	12,44	13	49,205	16,2	4,5	11,7	2,00	55
1/2"	12,44	14	52,99	16	4,4	11,6	2,00	60
1/2"	12,44	13	49,205	16	4,5	11,5	2,00	65

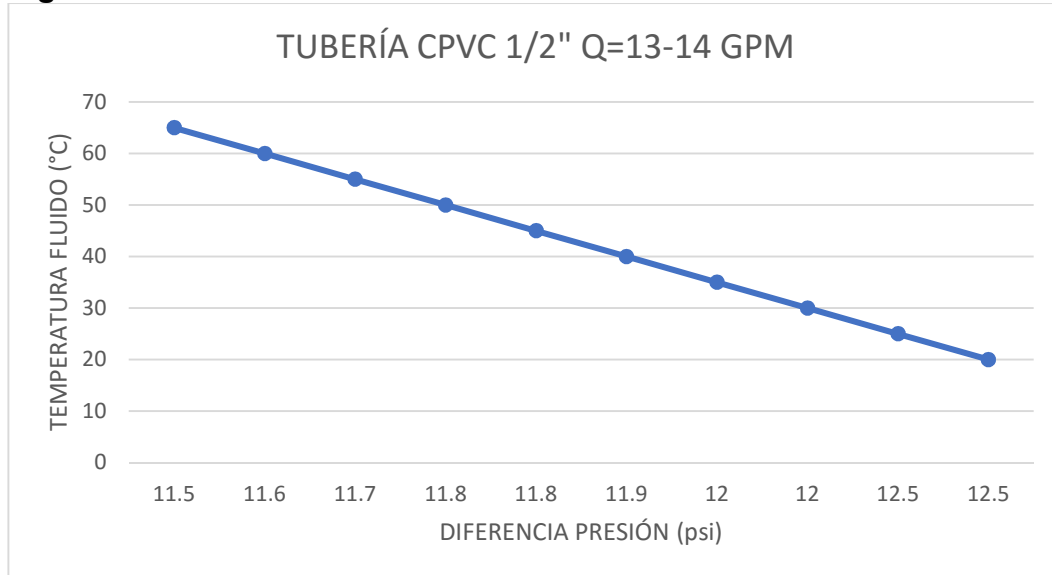
Fuente. El Autor

**Figura 22. Diferencia de Presión Tubería CPVC 1/2" Q = 12 GPM**



Fuente. El Autor

**Figura 23. Diferencia de Presión Tubería CPVC 1/2" Q = 13-14 GPM**



Fuente. El Autor

Finalmente, la diferencia de presión en la tubería de 1/2" CPVC en una longitud de 2.00m, al aumentar la temperatura de 20°C a 65°C y variando un caudal entre 12 GPM y 14GPM, determina que la diferencia de pérdida de presión entre las dos temperaturas es cercana a 1psi equivalente a 0.7 mca y 6.89 kPa.

#### **4. GUÍA PARA EL PROCEDIMIENTO DE MANEJO DEL BANCO HIDRÁULICO**

A continuación se describe el paso a paso para el manejo del banco hidráulico para las pruebas de la pérdida de presión de agua caliente en tuberías:

- Llenar y verificar niveles de agua en el tanque de almacenamiento, se debe encontrar en el nivel máximo (ver mirilla). Nunca prender resistencia con el tanque vacío.
- Conectar línea eléctrica a tablero eléctrico bifásico - 220v del banco (sin encender tablero de la resistencia ni de la bomba).
- Verificar que todas las válvulas se encuentren cerradas, es decir que deben estar en el punto máximo a la derecha.
- Definir en que tubería (diámetro) se va a hacer el ensayo y a que temperatura, dentro del rango de 20°C-60°C.
- Abrir completamente las válvulas que se encuentran en la impulsión (inicio de la red y retorno) y las dos válvulas localizadas en la tubería que se requiere para el ensayo, se recomienda para este paso empezar con el diámetro de 1 1/2" (se debe abrir dos vueltas).
- Abrir completamente las dos válvulas ventosas que se encuentran en los dos extremos superiores del banco hasta que comience a fluir agua por las mangeras (10 segundos).
- Poner en funcionamiento la bomba con el botón verde del arrancador eléctrico localizado en la parte izquierda del banco, verificar que el agua empiece a hacer circulación por toda la línea que se requiere para el ensayo.
- Cerrar las dos válvulas ventosas.
- Colocar en ON el botón de muletilla del tablero eléctrico de la resistencia (girar suavemente a la derecha)
- Utilizar la botonera del tablero de mando eléctrico, se recomienda empezar con una temperatura de 20°C, pulsar la temperatura requerida en la botonera del tablero eléctrico, esta se visualizara en el display, se debe esperar un tiempo aproximado de 3-5 minutos hasta que se estabilice esta temperatura de agua que circula en la red.
- En el momento que se encuentre estabilizada la temperatura debemos realizar la lectura de las presiones de los dos manómetros que se encuentran en la línea del



ensayo, junto con la lectura del caudal que circula por el flujómetro, se puede regular este caudal cerrando o abriendo la válvula de retorno según el requerimiento.

➤ Para hacer el cambio de diámetro de tubería, es necesario abrir completamente la válvula de retorno, luego abrir las dos válvulas de la siguiente línea a trabajar (primero la derecha y después la izquierda) y cerrar suavemente las dos válvulas registradas anteriormente (primero la izquierda y luego la derecha), con la válvula de retorno se regula el caudal que se requiere para la nueva línea (diferente diámetro).

➤ Registrado los datos de los cuatro diferentes diámetros, se procede a modificar la temperatura y tomar de nuevo los datos requeridos.

➤ Este proceso se debe repetir incrementando la temperatura cada 5°C hasta llegar a una temperatura de 60°C.

Para apagar el sistema se debe:

➤ Colocar en Off el botón de muletilla que se encuentra en el tablero eléctrico de la resistencia, debe quedar apagado el botón ver del tablero (girar a la izquierda).

➤ Dejar funcionar la bomba, para que el fluido circule por un tiempo de 5 minutos para enfriar un poco el sistema (se recomienda con las cuatro líneas abiertas).

➤ Hacer presión en el botón rojo del arrancador de la bomba.

➤ Cerrar todas las válvulas (de izquierda a derecha).

El manual de cómo manejar correctamente el banco se encuentra anexo en el presente documento (véase el Anexo I).

## 5. CONCLUSIONES

Con el desarrollo del trabajo se construyó un banco hidráulico con una estructura de acero SA-36 (36000 psi), según resultados del análisis estructural llevado a cabo mediante el programa ETABS, este banco fue fabricado en tubería de 40mm\*40mm\* 1.5mm según los cálculos estructurales (véase el Anexo H). A partir de los cálculos hidráulicos el banco cuenta con un depósito de almacenamiento con un volumen aproximado de 40 l fabricado en acero inoxidable con un diámetro de 0.36m y una altura de 0.50m, una bomba centrífuga 1 HP para un caudal mínimo de 10 l/min y un caudal máximo de 100 l/min, con una presión entre 34mca y 19mca respectivamente, flujómetro de 1" que está diseñado para un caudal entre 4GPM y 28GPM con una temperatura de hasta 121°C, resistencia eléctrica tubular de diámetro 7/16" y una disipación de 3000 W a 220v bifásica, una flauta con cuatro tuberías de diferentes diámetros ( $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ , 1 y 1  $\frac{1}{2}$  in) fabricadas en CPVC (PAVCO), junto con sus respectivos accesorios, válvulas, acoplamientos, dispositivos de toma de presión manómetros análogos de glicerina 2" de carátula y los tableros eléctricos de manejo y control del sistema.

El banco hidráulico diseñado permite realizar pruebas para comprender con claridad las caídas de presión en el transporte de agua a diferentes temperaturas la cual transita por tuberías CPVC (poli-cloruro de vinilo clorado) identificando la variación de estas pérdidas de presión al variar la temperatura, el banco permite hacer varias mediciones para cada diámetro, de esta forma se obtienen diferentes datos, que son tabulados así poder establecer el comportamiento de la pérdida de presión.

Con la realización de los ensayos, se pudo determinar que la caída de presión en las tuberías del banco hidráulico construido para la Universidad Católica de Colombia, en el momento en que el fluido (agua) se le incrementa la temperatura, la pérdida de carga comienza a disminuir debido al cambio en las propiedades mecánicas del agua (véase el Anexo A), encontrándose que, a una mayor temperatura disminuye la viscosidad dinámica, viscosidad cinemática, peso específico y su densidad. Basado en la toma de datos, se encontró y analizó la tendencia de pérdida de presión en el sentido del flujo, comparando la lectura en los dos manómetros de cada línea de tubería utiliza ( $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ ", 1" y 1  $\frac{1}{2}$ ") teniendo en cuenta un caudal típico a una temperatura diferente, de este modo se observa claramente la pérdida de presión en las tuberías CPVC al modificar la temperatura.

Con el manual realizado en el presente trabajo (véase el Anexo I) se podrá dar un correcto uso y buen manejo al banco hidráulico para su utilización en el laboratorio de pérdida de presión en agua caliente y tubería CPVC al igual que la guía de toma de datos y parámetros a analizar.

## 6. RECOMENDACIONES

Mediante la realización de este trabajo de grado, se da un primer paso en la comprobación de la pérdida de presión de agua entre dos puntos, dos manómetros separados a una distancia de 2.00m, debido a que en el banco hidráulico se puede aumentar la temperatura del fluido (agua) hasta 80°C, se recomienda que se continúe con la obtención de datos para poder determinar valores más cercanos a la realidad en función a la temperatura y el caudal que circule a través de las diferentes tuberías.

Se recomienda que la tubería se trabaje con una temperatura máxima de 82°C, según las especificaciones técnicas de fabricante PAVCO, para la tubería con CPVC con la que cuenta el banco hidráulico, los demás accesorios con que dispone el banco (flujómetro, bomba centrífuga, depósito, accesorios de en bronce de conexión y manómetros) pueden trabajar a una temperatura de hasta 90°C.

Para el mantenimiento del banco hidráulico tanto en la parte eléctrica como en la parte de limpieza mecánica, se efectuó por lo menos una vez cada dos meses.

Se sugiere que, en el corto plazo, el banco hidráulico sea sistematizado de tal manera que las lecturas no sean análogas si no digitales, para obtener una mayor precisión en los resultados esperados.

## BIBLIOGRAFÍA

ÁVILA, G. S. Fundamentos Hidráulica general. México: Limusa, 1977

BARNES. Plantas eléctricas [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 8 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://www.barnes.com.co/index.php?option=com\\_virtuemart&Itemid=78&lang=es](http://www.barnes.com.co/index.php?option=com_virtuemart&Itemid=78&lang=es)>

CENGEL, Yunus y CIMBALA, Jhon. Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones. México: Mc Graw Hill, 2006.

CENTER, P.S. PG Estudiar la incorporación de aceite de ricino en PVC flexible. Sao Pablo. La Empresa, 2009.

CHOW, V. T. Hidráulica de canales. Bogotá: MC Graw Hill. 1996

COLEBROOK C. F. Turbulent Flow in Pipes, with Particular Reference to the transition Region Between the Smooth and Rough Pipe Laws. London: ICE. 1938.

CRANE, . Flujo de fluidos en valvulas, accesorios y tuberias. Mexico: Mc. Graw-Hill, 1989.

ENRIQUEZ, Harper El ABC de las instalaciones de gas, hidráulicas y sanitarias. México: Limusa, 2000

FAY, James. Mecanica de fluidos. México: Continental, 1996

GILES, Ranald. Mecanica de los fluidos e hidraulica. México: Mc Graw Hill, 1996.

GLENN, B. The History of Darcy Weisbach for pipe Flow Resistance. En: Environmental and Water Resources History. October – November, 2002. no. 4.

HARPER, E. El ABC de las instalaciones de gas, hidráulicas y sanitarias. México: Limusa, 2000.

HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNANDEZ COLLADO, C., y BAPTISTA LUCIO, P. Metodología de la Investigación. México: Mc Graw Hill, 2010.

INSTITUTO SUPERIOR DEL MEDIO AMBIENTE. Análisis de ciclo de vida: conceptos y metodologías [en línea]. Madrid: ISMA [citado 8 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.ismedioambiente.com/programas-formativos/analisis-del-ciclo-de-vida-conceptos-y-metodologia>>

MOTT, Robert. Mecánica de fluidos. México: Pearson, 2006

OJEDA LAND, Elizabeth. Ricinus communis L., Tartaguera, Castor bean. Canarias: GesPlan. Recuperado el 26 de 08 de 2017, de <http://www.interregionatur.com/especies/pdf/Ricinus%20communis.pdf>

PAVCO. Manuales técnicos [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 20 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://pavco.com.co/manuales/manuales-tecnicos/4-25/i/25#a25>>

PAVCO. Tubería PVC [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 2 de septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://pavco.com.co/manuales/manuales-tecnicos/4-25/i/25#a25>>

PEDROZA GONZÁLEZ, Edmundo; ORTIZ MEDEL, Josefina y MARTÍNEZ GONZÁLEZ, Francisco Historia del Teorema de Bernoulli. En: Acta Universitaria, vol. 17, núm. 1, enero-abril, 2007, pp. 39

POTTER, M. C., y WINGGERT, D.C. Mecánica de fluidos. México: Cengage, 2014. PREDOLLO. Electro bomba centrífugas [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 20 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.pedrollo.com.co/es/cp-037-22-kw-electrobombas-centrifugas/245>>

SALDARRIAGA, Juan. Hidráulica de tuberías abastecimiento de agua, redes, riegos. Bogotá: Alfaomega, 2016

STREETER, Victor y WYLIE, B. E. Mecánica de fluidos. México: Mc. Graw Hill. 1979

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA CIUDAD DE MÉXICO. Número Reynolds [en línea]. México: La Universidad [citado 2 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://fjartnmusic.com/Personal/6o\\_Semestre\\_files/Re.pdf](http://fjartnmusic.com/Personal/6o_Semestre_files/Re.pdf)>

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DEL TÁCHIRA. Fenómenos de transporte [en línea]. Táchira: La Universidad [citado 20 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/index.html>>

WHITE, Frank. Fluid Mechanics. New York: MC Graw Hill, 1994

## ANEXOS

### Anexo A. Tabla de Propiedades del Agua


PROPIEDADES DEL AGUA				
TEMPERATURA	PESO ESPECÍFICO	DENSIDAD	VISCOSIDAD DINAMICÁ	VISCOSIDAD CINEMÁTICA
°C	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (Pa.s)	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
0	9,81	1000	1,75*10 <sup>-3</sup>	1,75*10 <sup>-6</sup>
5	9,81	1000	1,52*10 <sup>-3</sup>	1,52*10 <sup>-6</sup>
10	9,81	1000	1,30*10 <sup>-3</sup>	1,30*10 <sup>-6</sup>
15	9,81	1000	1,15*10 <sup>-3</sup>	1,15*10 <sup>-6</sup>
20	9,79	998	1,02*10 <sup>-3</sup>	1,02*10 <sup>-6</sup>
25	9,78	997	8,91*10 <sup>-4</sup>	8,94*10 <sup>-7</sup>
30	9,77	996	8,00*10 <sup>-4</sup>	8,03*10 <sup>-7</sup>
35	9,75	994	7,18*10 <sup>-4</sup>	7,22*10 <sup>-7</sup>
40	9,73	992	6,51*10 <sup>-4</sup>	6,56*10 <sup>-7</sup>
45	9,71	990	5,94*10 <sup>-4</sup>	6,00*10 <sup>-7</sup>
50	9,69	988	5,41*10 <sup>-4</sup>	5,48*10 <sup>-7</sup>
55	9,67	986	4,98*10 <sup>-4</sup>	5,05*10 <sup>-7</sup>
60	9,65	984	4,60*10 <sup>-4</sup>	4,67*10 <sup>-7</sup>
65	9,62	981	4,31*10 <sup>-4</sup>	4,39*10 <sup>-7</sup>
70	9,59	978	4,02*10 <sup>-4</sup>	4,11*10 <sup>-7</sup>
75	9,56	975	3,73*10 <sup>-4</sup>	3,83*10 <sup>-7</sup>
80	9,53	971	3,50*10 <sup>-4</sup>	3,60*10 <sup>-7</sup>
85	9,50	968	3,30*10 <sup>-4</sup>	3,41*10 <sup>-7</sup>
90	9,47	965	3,11*10 <sup>-4</sup>	3,22*10 <sup>-7</sup>
95	9,44	962	2,92*10 <sup>-4</sup>	3,04*10 <sup>-7</sup>
100	9,40	958	2,84*10 <sup>-4</sup>	2,94*10 <sup>-7</sup>

Fuente. (Mott, 2006)

## Anexo B. Formato para la Toma de Datos en el Laboratorio


TOMA DE DATOS EN EL BANCO HIDRÁULICO								
FECHA:					 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small>			
		APELLIDOS:		NOMBRE:		FIRMA:		CODIGO:
DIAMETRO NOMINAL (in)	DIAMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL (GPM)	CAUDAL (LPM)	PRESIÓN 1 (psi)	PRESIÓN 2 (psi)	DIFERENCIA PRESIÓN (psi)	DISTANCIA ENTRE MANOMETROS(m)	TEMPERATURA FLUIDO (°C)

## Anexo C. Toma de Datos en el Laboratorio. Banco Hidráulico


TOMA DE DATOS EN EL BANCO HIDRÁULICO								
FECHA:	19-OCT-2017							
							UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación	
DIAMETRO NOMINAL (in)	DIAMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL (GPM)	CAUDAL (LPM)	PRESIÓN 1 (psi)	PRESIÓN 2 (psi)	DIFERENCIA PRESIÓN (psi)	DISTANCIA ENTRE MANOMETROS(m)	TEMPERATURA FLUIDO (°C)
1/2"	12,44		0			0	2,00	20
3/4"	18,17		0			0	2,00	20
1"	23,42		0			0	2,00	20
1 1/2"	33,78		0			0	2,00	20
1/2"	12,44		0			0	2,00	25
3/4"	18,17		0			0	2,00	25
1"	23,42		0			0	2,00	25
1 1/2"	33,78		0			0	2,00	25
1/2"	12,44	11	41,635	15,8	6,5	9,3	2,00	30
3/4"	18,17	12	45,42	13,5	12	1,5	2,00	30
1"	23,42	10	37,85	12,6	11,5	1,1	2,00	30
1 1/2"	33,78		0			0	2,00	30
1/2"	12,44	11	41,635	15,1	6,5	8,6	2,00	35
3/4"	18,17	12	45,42	15	13,6	1,4	2,00	35
1"	23,42	12	45,42	12	11,3	0,7	2,00	35
1 1/2"	33,78		0			0	2,00	35
1/2"	12,44	14	52,99	16	7,2	8,8	2,00	40
3/4"	18,17	14	52,99	14,2	12,6	1,6	2,00	40
1"	23,42	14	52,99	12,5	11,5	1	2,00	40
1 1/2"	33,78		0			0	2,00	40
1/2"	12,44	11	41,635	15,5	6,5	9	2,00	45
3/4"	18,17	13	49,205	15	13,5	1,5	2,00	45
1"	23,42	11	41,635	11,3	10,6	0,7	2,00	45
1 1/2"	33,78		0			0	2,00	45
1/2"	12,44		0			0	2,00	50
3/4"	18,17		0			0	2,00	50
1"	23,42		0			0	2,00	50
1 1/2"	33,78		0			0	2,00	50
1/2"	12,44		0			0	2,00	55
3/4"	18,17		0			0	2,00	55
1"	23,42		0			0	2,00	55
1 1/2"	33,78		0			0	2,00	55
1/2"	12,44		0			0	2,00	60
3/4"	18,17		0			0	2,00	60
1"	23,42		0			0	2,00	60
1 1/2"	33,78		0			0	2,00	60
1/2"	12,44		0			0	2,00	65
3/4"	18,17		0			0	2,00	65
1"	23,42		0			0	2,00	65
1 1/2"	33,78		0			0	2,00	65




**TOMA DE DATOS EN EL BANCO HIDRÁULICO**

FECHA:		20-oct-17				 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small>			
DIAMETRO NOMINAL (in)	DIAMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL (GPM)	CAUDAL (LPM)	PRESIÓN 1 (psi)	PRESIÓN 2 (psi)	DIFERENCIA PRESIÓN (psi)	DISTANCIA ENTRE MANOMETROS(m)	TEMPERATURA FLUIDO (°C)	
1/2"	12,44	13	49,205	17	7,5	9,5	2,00	20	
3/4"	18,17	13	49,205	15	13	2	2,00	20	
1"	23,42	11	41,635	11,5	11	0,5	2,00	20	
1 1/2"	33,78	13	49,205	14	13,4	0,6	2,00	20	
1/2"	12,44	12	45,42	16,2	7	9,2	2,00	25	
3/4"	18,17	13	49,205	13,8	12	1,8	2,00	25	
1"	23,42	11	41,635	12,2	11,5	0,7	2,00	25	
1 1/2"	33,78	16	60,56	12,6	12	0,6	2,00	25	
1/2"	12,44	10,5	39,7425	14,6	6,5	8,1	2,00	30	
3/4"	18,17	13	49,205	13,5	11,5	2	2,00	30	
1"	23,42	11	41,635	12	11	1	2,00	30	
1 1/2"	33,78	14	52,99	12,2	11,6	0,6	2,00	30	
1/2"	12,44	11	41,635	13,6	6,6	7	2,00	35	
3/4"	18,17	11	41,635	12,5	10,9	1,6	2,00	35	
1"	23,42	10,2	38,607	10,9	10	0,9	2,00	35	
1 1/2"	33,78	13	49,205	12,4	11,9	0,5	2,00	35	
1/2"	12,44	12	45,42	15,4	6,5	8,9	2,00	40	
3/4"	18,17	12	45,42	14	12,4	1,6	2,00	40	
1"	23,42	12	45,42	12,3	11,5	0,8	2,00	40	
1 1/2"	33,78	13	49,205	11,8	11,4	0,4	2,00	40	
1/2"	12,44	12	45,42	15,5	6,7	8,8	2,00	45	
3/4"	18,17	12	45,42	12,3	10,5	1,8	2,00	45	
1"	23,42	13	49,205	13,4	12,5	0,9	2,00	45	
1 1/2"	33,78	14	52,99	12,2	11,8	0,4	2,00	45	
1/2"	12,44	12	45,42	16,5	7	9,5	2,00	50	
3/4"	18,17	13	49,205	14,4	12,5	1,9	2,00	50	
1"	23,42	12	45,42	12,9	12,1	0,8	2,00	50	
1 1/2"	33,78	14	52,99	12	11,6	0,4	2,00	50	
1/2"	12,44	12	45,42	16,3	7	9,3	2,00	55	
3/4"	18,17	13	49,205	13,4	11,5	1,9	2,00	55	
1"	23,42	12	45,42	11,4	10,8	0,6	2,00	55	
1 1/2"	33,78	14	52,99	12,5	12,1	0,4	2,00	55	
1/2"	12,44	12	45,42	16,4	6,9	9,5	2,00	60	
3/4"	18,17	13	49,205	13,8	11,9	1,9	2,00	60	
1"	23,42	12	45,42	12,9	12	0,9	2,00	60	
1 1/2"	33,78	14	52,99	12,2	11,8	0,4	2,00	60	
1/2"	12,44	12	45,42	16,4	6,9	9,5	2,00	65	
3/4"	18,17	13	49,205	14,4	12,6	1,8	2,00	65	
1"	23,42	12	45,42	12,9	12	0,9	2,00	65	
1 1/2"	33,78	13	49,205	12,2	11,8	0,4	2,00	65	


**TOMA DE DATOS EN EL BANCO HIDRÁULICO**

FECHA:		24-oct-17				 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small>			
DIAMETRO NOMINAL (in)	DIAMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL (GPM)	CAUDAL(L PM)	PRESIÓN 1 (psi)	PRESIÓN 2 (psi)	DIFERENCIA PRESIÓN (psi)	DISTANCIA ENTRE MANOMETROS(m)	TEMPERATURA FLUIDO (°C)	
1/2"	12,44	12		17	7	10	2,00	20	
3/4"	18,17	12	45,42	17,4	15,4	2	2,00	20	
1"	23,42	10	37,85	12,6	11,8	0,8	2,00	20	
1 1/2"	33,78	13	49,205	14	13,4	0,6	2,00	20	
1/2"	12,44	12	45,42	16,8	6,8	10	2,00	25	
3/4"	18,17	12	45,42	16,2	14,2	2	2,00	25	
1"	23,42	13	49,205	13,8	13	0,8	2,00	25	
1 1/2"	33,78	16	60,56	12,6	12	0,6	2,00	25	
1/2"	12,44	12	45,42	16,4	6,5	9,9	2,00	30	
3/4"	18,17	12	45,42	16,4	14,8	1,6	2,00	30	
1"	23,42	12	45,42	13,5	12,8	0,7	2,00	30	
1 1/2"	33,78	14	52,99	12,2	11,6	0,6	2,00	30	
1/2"	12,44	12	45,42	16,4	6,8	9,6	2,00	35	
3/4"	18,17	12	45,42	15	13,4	1,6	2,00	35	
1"	23,42	11	41,635	11,2	10,5	0,7	2,00	35	
1 1/2"	33,78	13	49,205	12,4	11,9	0,5	2,00	35	
1/2"	12,44	12	45,42	16,6	7	9,6	2,00	40	
3/4"	18,17	12	45,42	16	14,5	1,5	2,00	40	
1"	23,42	11	41,635	14,2	13,6	0,6	2,00	40	
1 1/2"	33,78	13	49,205	11,8	11,4	0,4	2,00	40	
1/2"	12,44	12	45,42	16,6	7,2	9,4	2,00	45	
3/4"	18,17	12	45,42	16,2	14,8	1,4	2,00	45	
1"	23,42	11	41,635	13	12,5	0,5	2,00	45	
1 1/2"	33,78	14	52,99	12,2	11,8	0,4	2,00	45	
1/2"	12,44	12	45,42	16,4	7	9,4	2,00	50	
3/4"	18,17	12	45,42	16	14,6	1,4	2,00	50	
1"	23,42	11	41,635	13,5	13	0,5	2,00	50	
1 1/2"	33,78	14	52,99	12	11,6	0,4	2,00	50	
1/2"	12,44	12	45,42	16,1	6,8	9,3	2,00	55	
3/4"	18,17	12	45,42	16	14,6	1,4	2,00	55	
1"	23,42	11	41,635	14,3	13,8	0,5	2,00	55	
1 1/2"	33,78	14	52,99	12,5	12,1	0,4	2,00	55	
1/2"	12,44	12	45,42	16,4	7,2	9,2	2,00	60	
3/4"	18,17	12	45,42	15	13,6	1,4	2,00	60	
1"	23,42	11	41,635	15,8	15,3	0,5	2,00	60	
1 1/2"	33,78	14	52,99	12,2	11,8	0,4	2,00	60	
1/2"	12,44	12	45,42	16,2	7	9,2	2,00	65	
3/4"	18,17	12	45,42	15,6	14,2	1,4	2,00	65	
1"	23,42	11	41,635	14	13,6	0,4	2,00	65	
1 1/2"	33,78	13	49,205	12,2	11,8	0,4	2,00	65	


**TOMA DE DATOS EN EL BANCO HIDRÁULICO**

FECHA:		24-oct-17				 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia Vigilada Mineducación			
DIAMETRO NOMINAL (in)	DIAMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL (GPM)	CAUDAL(L PM)	PRESIÓN 1 (psi)	PRESIÓN 2 (psi)	DIFERENCIA PRESIÓN (psi)	DISTANCIA ENTRE MANOMETROS(m)	TEMPERATURA FLUIDO (°C)	
1/2"	12,44	13	49,205	17	4,5	12,5	2,00	20	
3/4"	18,17	16	60,56	11,5	8,5	3	2,00	20	
1"	23,42	17	64,345	4,8	3,2	1,6	2,00	20	
1 1/2"	33,78	17	64,345	5,2	4,5	0,7	2,00	20	
1/2"	12,44	13	49,205	17	4,5	12,5	2,00	25	
3/4"	18,17	17	64,345	4,8	1,8	3	2,00	25	
1"	23,42	17	64,345	4,5	3	1,5	2,00	25	
1 1/2"	33,78	17	64,345	4,8	4,2	0,6	2,00	25	
1/2"	12,44	13	49,205	16,2	4,2	12	2,00	30	
3/4"	18,17	16	60,56	11	8	3	2,00	30	
1"	23,42	17	64,345	4,5	3	1,5	2,00	30	
1 1/2"	33,78	17	64,345	4,4	3,9	0,5	2,00	30	
1/2"	12,44	13	49,205	16,4	4,4	12	2,00	35	
3/4"	18,17	16	60,56	10,5	7,5	3	2,00	35	
1"	23,42	17	64,345	4,4	3	1,4	2,00	35	
1 1/2"	33,78	17	64,345	4,4	3,9	0,5	2,00	35	
1/2"	12,44	13	49,205	16,4	4,5	11,9	2,00	40	
3/4"	18,17	16	60,56	10,4	7,5	2,9	2,00	40	
1"	23,42	17	64,345	4,4	3	1,4	2,00	40	
1 1/2"	33,78	17	64,345	4,4	4	0,4	2,00	40	
1/2"	12,44	13	49,205	16,2	4,4	11,8	2,00	45	
3/4"	18,17	15	56,775	10	7,5	2,5	2,00	45	
1"	23,42	17	64,345	4,2	2,8	1,4	2,00	45	
1 1/2"	33,78	17	64,345	4,4	4	0,4	2,00	45	
1/2"	12,44	13	49,205	16,4	4,6	11,8	2,00	50	
3/4"	18,17	15	56,775	10,2	7,8	2,4	2,00	50	
1"	23,42	17	64,345	4	2,8	1,2	2,00	50	
1 1/2"	33,78	17	64,345	4,2	3,8	0,4	2,00	50	
1/2"	12,44	13	49,205	16,2	4,5	11,7	2,00	55	
3/4"	18,17	15	56,775	9,4	7,2	2,2	2,00	55	
1"	23,42	17	64,345	3,8	2,6	1,2	2,00	55	
1 1/2"	33,78	16	60,56	4,3	4	0,3	2,00	55	
1/2"	12,44	14	52,99	16	4,4	11,6	2,00	60	
3/4"	18,17	15	56,775	9,8	7,6	2,2	2,00	60	
1"	23,42	17	64,345	3,8	2,6	1,2	2,00	60	
1 1/2"	33,78	16	60,56	3,8	3,5	0,3	2,00	60	
1/2"	12,44	13	49,205	16	4,5	11,5	2,00	65	
3/4"	18,17	15	56,775	9	7	2	2,00	65	
1"	23,42	17	64,345	3,5	2,4	1,1	2,00	65	
1 1/2"	33,78	16	60,56	3,8	3,5	0,3	2,00	65	

**TOMA DE DATOS EN EL BANCO HIDRÁULICO**

FECHA:		25-oct-17				 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small>		
DIAMETRO NOMINAL (in)	DIAMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL (GPM)	CAUDAL (LPM)	PRESIÓN 1 (psi)	PRESIÓN 2 (psi)	DIFERENCIA PRESIÓN (psi)	DISTANCIA ENTRE MANOMETROS(m)	TEMPERATURA FLUIDO (°C)
1/2"	12,44	12	45,42	16,9	4,6	12,3	2,00	20
3/4"	18,17	12	45,42	11,6	8,4	3,2	2,00	20
1"	23,42	10	37,85	4,7	3,3	1,4	2,00	20
1 1/2"	33,78	13	49,205	5,3	4,6	0,7	2,00	20
1/2"	12,44	12	45,42	16,9	4,6	12,3	2,00	25
3/4"	18,17	12	45,42	4,7	1,7	3	2,00	25
1"	23,42	13	49,205	4,6	3,1	1,5	2,00	25
1 1/2"	33,78	16	60,56	4,7	4,1	0,6	2,00	25
1/2"	12,44	12	45,42	16,3	4,3	12	2,00	30
3/4"	18,17	12	45,42	10,9	7,9	3	2,00	30
1"	23,42	12	45,42	4,4	3,1	1,3	2,00	30
1 1/2"	33,78	14	52,99	4,5	3,8	0,7	2,00	30
1/2"	12,44	12	45,42	16,3	4,5	11,8	2,00	35
3/4"	18,17	12	45,42	10,6	7,4	3,2	2,00	35
1"	23,42	11	41,635	4,3	3,1	1,2	2,00	35
1 1/2"	33,78	13	49,205	4,5	3,8	0,7	2,00	35
1/2"	12,44	12	45,42	16,3	4,6	11,7	2,00	40
3/4"	18,17	12	45,42	10,3	7,4	2,9	2,00	40
1"	23,42	11	41,635	4,5	3,1	1,4	2,00	40
1 1/2"	33,78	13	49,205	4,3	3,9	0,4	2,00	40
1/2"	12,44	12	45,42	16,3	4,5	11,8	2,00	45
3/4"	18,17	12	45,42	10,1	7,4	2,7	2,00	45
1"	23,42	11	41,635	4,3	2,9	1,4	2,00	45
1 1/2"	33,78	14	52,99	4,5	3,9	0,6	2,00	45
1/2"	12,44	12	45,42	16,5	4,7	11,8	2,00	50
3/4"	18,17	12	45,42	10	7,7	2,3	2,00	50
1"	23,42	11	41,635	3,9	2,9	1	2,00	50
1 1/2"	33,78	14	52,99	4,3	3,7	0,6	2,00	50
1/2"	12,44	12	45,42	16,3	4,6	11,7	2,00	55
3/4"	18,17	12	45,42	9,5	7,1	2,4	2,00	55
1"	23,42	11	41,635	3,7	2,7	1	2,00	55
1 1/2"	33,78	14	52,99	4,2	3,9	0,3	2,00	55
1/2"	12,44	12	45,42	15,9	4,5	11,4	2,00	60
3/4"	18,17	12	45,42	9,9	7,5	2,4	2,00	60
1"	23,42	11	41,635	3,7	2,7	1	2,00	60
1 1/2"	33,78	14	52,99	3,9	3,4	0,5	2,00	60
1/2"	12,44	12	45,42	16,1	4,6	11,5	2,00	65
3/4"	18,17	12	45,42	9,1	6,9	2,2	2,00	65
1"	23,42	11	41,635	3,6	2,5	1,1	2,00	65
1 1/2"	33,78	13	49,205	3,7	3,4	0,3	2,00	65

**TOMA DE DATOS EN EL BANCO HIDRÁULICO**

FECHA:		25-oct-17				 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small>			
DIAMETRO NOMINAL (in)	DIAMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL (GPM)	CAUDAL (LPM)	PRESIÓN 1 (psi)	PRESIÓN 2 (psi)	DIFERENCIA PRESIÓN (psi)	DISTANCIA ENTRE MANOMETROS(m)	TEMPERATURA FLUIDO (°C)	
1/2"	12,44	13	49,205	16,9	4,6	12,3	2,00	20	
3/4"	18,17	16	60,56	11,6	8,4	3,2	2,00	20	
1"	23,42	17	64,345	4,7	3,3	1,4	2,00	20	
1 1/2"	33,78	17	64,345	5,3	4,4	0,9	2,00	20	
1/2"	12,44	13	49,205	16,9	4,6	12,3	2,00	25	
3/4"	18,17	17	64,345	4,9	1,7	3,2	2,00	25	
1"	23,42	17	64,345	4,4	3,1	1,3	2,00	25	
1 1/2"	33,78	17	64,345	4,9	4,1	0,8	2,00	25	
1/2"	12,44	13	49,205	16,1	4,3	11,8	2,00	30	
3/4"	18,17	16	60,56	11,1	7,9	3,2	2,00	30	
1"	23,42	17	64,345	4,4	3,1	1,3	2,00	30	
1 1/2"	33,78	17	64,345	4,5	3,8	0,7	2,00	30	
1/2"	12,44	13	49,205	16,3	4,5	11,8	2,00	35	
3/4"	18,17	16	60,56	10,6	7,4	3,2	2,00	35	
1"	23,42	17	64,345	4,3	3,1	1,2	2,00	35	
1 1/2"	33,78	17	64,345	4,5	3,8	0,7	2,00	35	
1/2"	12,44	13	49,205	16,3	4,6	11,7	2,00	40	
3/4"	18,17	16	60,56	10,5	7,4	3,1	2,00	40	
1"	23,42	17	64,345	4,3	3,1	1,2	2,00	40	
1 1/2"	33,78	17	64,345	4,5	3,9	0,6	2,00	40	
1/2"	12,44	13	49,205	16,1	4,5	11,6	2,00	45	
3/4"	18,17	15	56,775	10,1	7,4	2,7	2,00	45	
1"	23,42	17	64,345	4,1	2,9	1,2	2,00	45	
1 1/2"	33,78	17	64,345	4,5	3,9	0,6	2,00	45	
1/2"	12,44	13	49,205	16,3	4,7	11,6	2,00	50	
3/4"	18,17	15	56,775	10,3	7,7	2,6	2,00	50	
1"	23,42	17	64,345	3,9	2,9	1	2,00	50	
1 1/2"	33,78	17	64,345	4,3	3,7	0,6	2,00	50	
1/2"	12,44	13	49,205	16,1	4,6	11,5	2,00	55	
3/4"	18,17	15	56,775	9,5	7,1	2,4	2,00	55	
1"	23,42	17	64,345	3,7	2,7	1	2,00	55	
1 1/2"	33,78	16	60,56	4,4	3,9	0,5	2,00	55	
1/2"	12,44	14	52,99	15,9	4,5	11,4	2,00	60	
3/4"	18,17	15	56,775	9,9	7,5	2,4	2,00	60	
1"	23,42	17	64,345	3,7	2,7	1	2,00	60	
1 1/2"	33,78	16	60,56	3,9	3,4	0,5	2,00	60	
1/2"	12,44	13	49,205	15,9	4,6	11,3	2,00	65	
3/4"	18,17	15	56,775	9,1	6,9	2,2	2,00	65	
1"	23,42	17	64,345	3,4	2,5	0,9	2,00	65	
1 1/2"	33,78	16	60,56	3,9	3,4	0,5	2,00	65	

## Anexo D. Catalogo Bomba Centrífuga CP-620

# CP

Electrobombas centrífugas



### CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta 160 l/min (0,6 m<sup>3</sup>/h)
- Altura manométrica hasta 57 m

### LIMITES DE UTILIZO

- Altura de aspiración manométrica hasta 7 m
- Temperatura del líquido de -10 °C hasta +90 °C
- Temperatura ambiente hasta +40 °C
- Presión máx. en el cuerpo de la bomba:
  - 6 bar para CP 600-610-620
  - 10 bar para CP 650-660-670-650M-660M-670M
- Funcionamiento continuo S1

### EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD

EN 60335-1      EN 60034-1  
IEC 60335-1      IEC 60034-1  
CEI 61-150      CEI 2-3



### CERTIFICACIONES

COMPANY WITH MANAGEMENT SYSTEM  
CERTIFIED BY DNV  
ISO 9001: QUALITY  
ISO 14001: ENVIRONMENT AND SAFETY

### UTILIZOS E INSTALACIONES

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba.

Por su confiabilidad y simplicidad encuentran un amplio utilizzo en el sector doméstico y civil, particularmente para la distribución del agua acopladas a pequeños o medianos tanques autoclaves, para el vaciado o para la irrigación de huertos o jardines. La instalación se debe realizar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.

### PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Modelo comunitario registrado n° 002008434

### EJECUCION BAJO PEDIDO

- Electrobomba con rodete en tecnopolímero (CP600X, CP510X, CP620X)
- Sello mecánico especial
- Otros voltajes
- Protección IP X5 para CP 650-660-670-650M-660M-670M

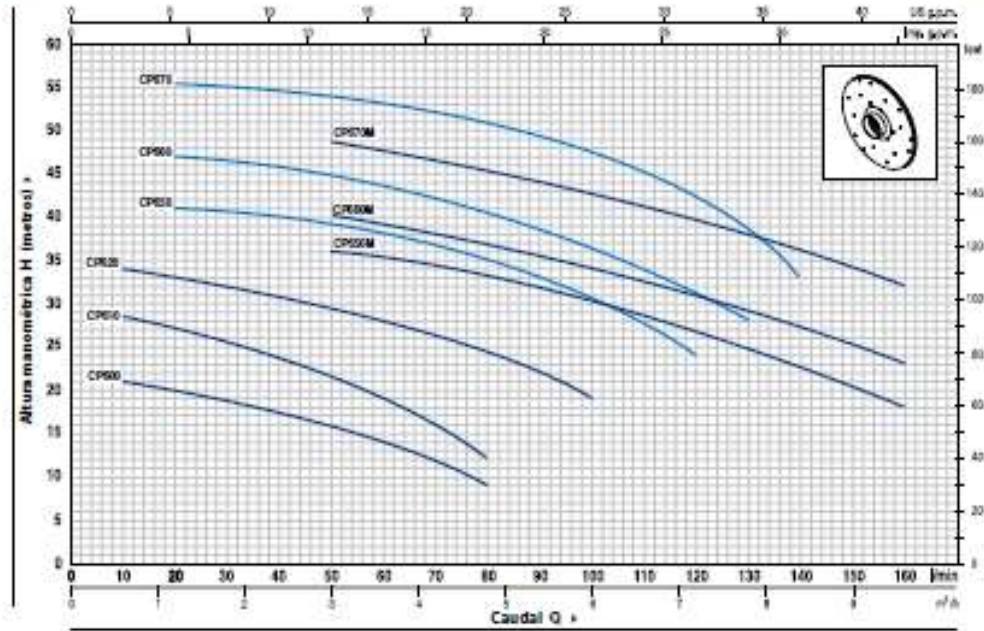
### GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta



**CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES**

60 Hz n= 3450 1/min HS= 0 m



MODELO		POTENCIA		Q	H																	
Monofásica	Trifásica	kW	HP		m³/h	0	0.5	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0	9.6
				l/min	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	
CPm 600	CP 600	0.37	0.50		22	21	20	18.5	17	15.5	14	12	9									
CPm 610	CP 610	0.60	0.85		30	28.5	27	25.5	23.5	21.5	19	16	12									
CPm 620	CP 620	0.75	1		35	34	33	31.5	30.5	29.5	28	26.5	24.5	22	19							
CPm 650	CP 650	1.1	1.5		42	41.5	41	40.5	39.5	39	38	36.5	35	33	30	27	24					
CPm 660	CP 660	1.5	2		48	47.5	47	46.5	46	45	43.5	42	40.5	38.5	36	33.5	31	28				
CPm 670	CP 670	2.2	3		57	56.5	55.5	55	54	53.5	52	50.5	49.5	47	45	42.5	39	35				
CPm 650M	CP 650M	1.1	1.5		39	38.5	38	37	36.5	36	35	34	33	32	30	28.5	26.5	24.5	22.5	20	18	
CPm 660M	CP 660M	1.5	2		45	44.5	44	43.5	43	42.5	41	40	39	37.5	36.5	35	34	32.5	31	29	27	25
CPm 670M	CP 670M	2.2	3		53	52.5	52	51	50.5	50	49.5	48.5	47.5	46.5	45	44	42.5	41	39.5	37.5	36	34

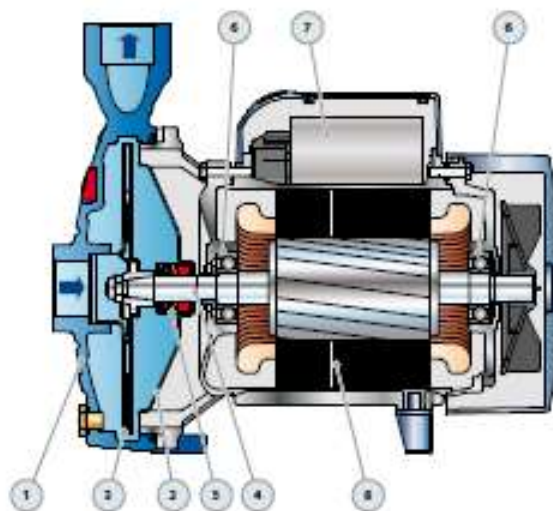
Q = Caudal R = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grade 1.

POS. COMPONENTE	CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS					
1 CUERPO BOMBA	Hierro fundido, con bocas roscadas ISO 228/1					
2 TAPA	Acero Inoxidable AISI 304 (en hierro para CP 650-660-670-650M-660M-670M)					
3 RODETE	Acero Inoxidable AISI 304					
4 EJE MOTOR	Acero Inoxidable EN 10088-3 - 1.4104					
5 SELLO MECANICO	Electrobomba	Sello	Eje	Materiales		
	Modelo	Modelo	Diámetro	Anillo	Anillo móvil	Elastómero
	CP 600-610	AR-12	Ø 12 mm	Cerámica	Grafito	NBR
	CP 620	AR-14	Ø 14 mm	Cerámica	Grafito	NBR
	CP 650-660-670 CP 650M-660M-670M	FN-18	Ø 18 mm	Grafito	Cerámica	NBR
6 RODAMIENTOS	Electrobomba	Modelo				
	CP 600-610	6201 ZZ / 6201 ZZ				
	CP 620	6203 ZZ / 6203 ZZ				
	CP 650-660-670 CP 650M-660M-670M	6204 ZZ / 6204 ZZ				
	7 CONDENSADOR	Electrobomba	Capacidad			
Monofásica		(220 V)	(110 V o 115 V o 127 V)			
CPm 600		10 µF 450 VL	25 µF 250 VL			
CPm 610		14 µF 450 VL	25 µF 250 VL			
CPm 620		20 µF 450 VL	60 µF 300 VL			
CPm 650-650M		25 µF 450 VL	60 µF 250 VL			
CPm 660-660M		31,5 µF 450 VL	60 µF 250 VL			
CPm 670-670M		50 µF 450 VL	80 µF 250 VL			

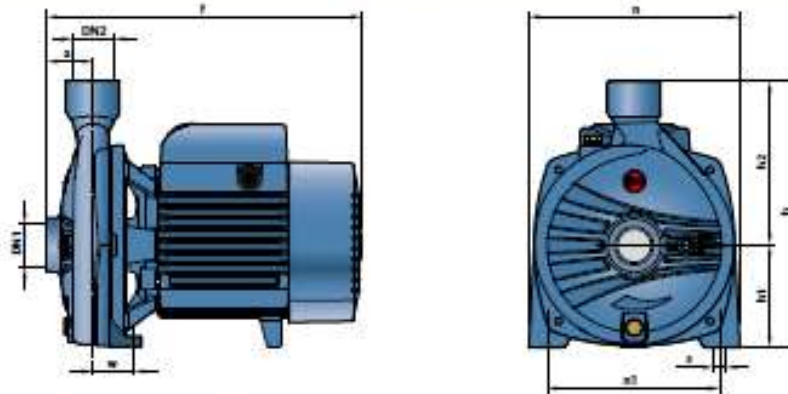
**8 MOTOR ELECTRICO**

CPm: monofásica 220 V - 60 Hz con protección térmica incorporada en el bobinado.  
 CP: trifásica 220/380 V - 60 Hz o 220/440 V - 60 Hz.  
 = Las bombas con motores trifásicos son de alto rendimiento en clase IE2 (IEC 60034-30)  
 - Aislamiento: clase F.  
 - Protección: IP XL.





**DIMENSIONES Y PESOS**



MODELO		BOCAS		DIMENSIONES mm										kg	
Monofásica	Trifásica	DN1	DN2	a	f	h	a1	a2	n	n1	w	s	1-	3-	
CFm 600	CP 600	1"	1"	42	253	265	82	123	165	135	41	10	6,9	7,1	
CFm 610	CP 610				285	290	92	148	190	160	38		11,5	10,5	
CFm 620	CP 620				367	360	110	150	206	165	44,5		11	17,8	17,2
CFm 650-650M	CP 650-650M	1 1/4"	1"	51	367	360	110	150	206	165	44,5	11	18,0	17,9	
CFm 660-660M	CP 660-660M				367	360	110	150	206	165	44,5	11	20,7	20,1	
CFm 670-670M	CP 670-670M				367	360	110	150	206	165	44,5	11	20,7	20,1	

**CONSUMO EN AMPERIOS**

MODELO	TENSION (monofásica)			MODELO	TENSION (trifásica)				
	220 V	110 V	127 V		220 V	380 V	660 V	220 V	440 V
CFm 600	3,7 A	5,5 A	5,2 A	CF 600	1,8 A	1,0 A	0,8 A	2,0 A	1,2 A
CFm 610	4,0 A	8,0 A	7,6 A	CF 610	2,0 A	1,6 A	0,9 A	2,6 A	1,5 A
CFm 620	6,0 A	12,0 A	11,5 A	CF 620	4,2 A	2,4 A	1,4 A	4,4 A	2,5 A
CFm 650-650M	8,8 A	17,6 A	16,7 A	CF 650-650M	5,3 A	3,1 A	1,8 A	5,6 A	3,1 A
CFm 660-660M	9,7 A	19,4 A	18,4 A	CF 660-660M	6,7 A	3,9 A	2,3 A	6,4 A	4,1 A
CFm 670	13,2 A	26,4 A	25,0 A	CF 670	10,4 A	6,0 A	3,5 A	9,7 A	5,2 A
CFm 670M	12,6 A	24,0 A	22,8 A	CF 670M	9,8 A	5,2 A	3,0 A	8,8 A	5,0 A

**PALETIZADO**

MODELO	PARA GRUPAJE	PARA CONTAINER			
		n° bombas	H (mm)	1-	3-
CFm 600	CP 600	105	1280	242	763
CFm 610	CP 610	105	1365	889	857
CFm 620	CP 620	70	1440	822	752
CFm 650-650M	CP 650-650M	90	1550	907	877
CFm 660-660M	CP 660-660M	90	1550	962	912
CFm 670-670M	CP 670-670M	90	1550	1052	1022



## Anexo E. Catalogo Tubería CPVC-PAVCO

### Tubería Presión Ultratemp CPVC Plus PAVCO (Agua Caliente)



NTC 1662

Los diámetros nominales se refieren a los diámetros "ODSRE" según las normas IPT

La tubería para agua caliente no debe usarse

RDE 11 PVC- Presión de Trabajo a 62°C: 100 PSI

Diam. Nominal	Referencia	Peso por metro	Diámetro Ext. P.V.M.	Espesor de Pared Min.	Diámetro Interior	Longitud Tubería
1/2"	290206	129	18.80	1.75	15.44	3
3/4"	290208	218	22.23	2.02	18.17	3
1"	290209	320	28.80	2.89	25.42	3
1 1/4"	290210	500	38.80	3.59	35.64	3
1 1/2"	290211	690	41.30	3.76	38.79	3
2"	290212	1180	54.61	4.90	44.29	3

### Accesorios Presión Ultratemp CPVC Plus PAVCO



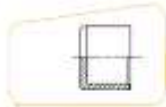
#### Codos 45°

Diámetro Nominal (pulg)	Referencia
1/2"	290107
3/4"	290108
1"	290109
"Nominal" 1 1/4"	290110
"Nominal" 1 1/2"	290111
"Nominal" 2"	290112



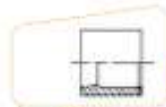
#### Codos 90°

Diámetro Nominal (pulg)	Referencia
1/2"	290103
3/4"	290104
1"	290105
"Nominal" 1 1/4"	290106
"Nominal" 1 1/2"	290108
"Nominal" 2"	290109



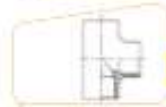
#### Tapones Soldados

Diámetro Apertura (pulg)	Referencia
1/2"	290126
3/4"	290127
1"	290128
"Nominal" 1 1/4"	290129
"Nominal" 1 1/2"	290130
"Nominal" 2"	290131



#### Bujes Soldados

Diámetro Nominal (pulg)	Referencia
3/4" x 1/2"	290240
1" x 1/2"	290241
1" x 3/4"	290242
"Nominal" 1 1/4" x 1"	290243
"Nominal" 1 1/4" x 3/4"	290244
"Nominal" 1 1/2" x 1"	290245
"Nominal" 1 1/2" x 3/4"	290246
"Nominal" 2" x 1 1/2"	290247
"Nominal" 2" x 1"	290248
"Nominal" 2 1/2" x 1 1/2"	290249
"Nominal" 2 1/2" x 1"	290250



#### Tees

Diámetro Nominal (pulg)	Referencia
1/2"	290140
3/4"	290141
1"	290142
"Nominal" 1 1/4"	290143
"Nominal" 1 1/2"	290144
"Nominal" 2"	290145



#### Universales

Diámetro Nominal (pulg)	Referencia
1/2"	290107
3/4"	290108

## Anexo F. Catalogo Fluómetro

Rotámetros, Fluómetros área variable para agua H521-028 HEDLAND Manual Ingles www.viaindustrial.com

### EZ-View® Flow Meters For Oil, Water, Air & Compressed Gases

- 1/2 to 1 inch ports
- EZ to install, in any position
- No special piping or flow straighteners needed
- No electrical connections
- Direct reading indication
- Accuracy within  $\pm 5\%$  full scale
- Relatively insensitive to shock and vibration

#### SPECIFICATIONS:

##### MATERIALS:

Polystyrene plastic body, piston and cone  
T300-series stainless spring  
Buna N flow indicator ring and pressure seats  
C360 Brass, PVC, or T300 stainless fittings  
Polypropylene limit indicators  
Ph15 - 7/60 stainless retaining ring

Optional: Teflon® coated spring and retaining ring, consult factory

FITTINGS/ THREADS: NPT AND/ASME B1.20.1, BSPT, BSPP

See Ordering Information Table, page 64

TEMPERATURE RANGE: 32 °F to 250 °F (0 °C to 121 °C) Ⓞ

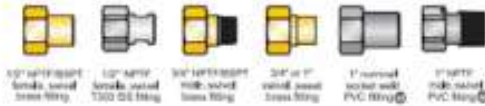
PRESSURE RATING: Liquid: 325 psi / 22.4 bar maximum Ⓞ

PRESSURE DROP: See Differential Pressure Charts, page 64

ACCURACY:  $\pm 5\%$  of full scale

REPEATABILITY:  $\pm 1\%$

DIMENSIONS: See Ordering Information Table, page 64



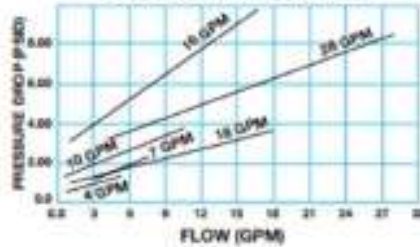
Ⓞ Meters with Type 1 PVC fittings:  
Pressure rating per nominal PVC system specifications  
Temperature range - 32 °F to 140 °F (0 °C to 60 °C)

Rotámetros, Fluómetros área variable para agua H521-028 HEDLAND Manual Ingles www.viaindustrial.com

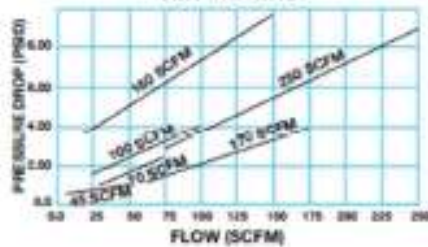
# EZ-View® Flow Meters

## For Oil, Water, Air & Compressed Gases

### OIL & WATER METERS



### AIR METERS



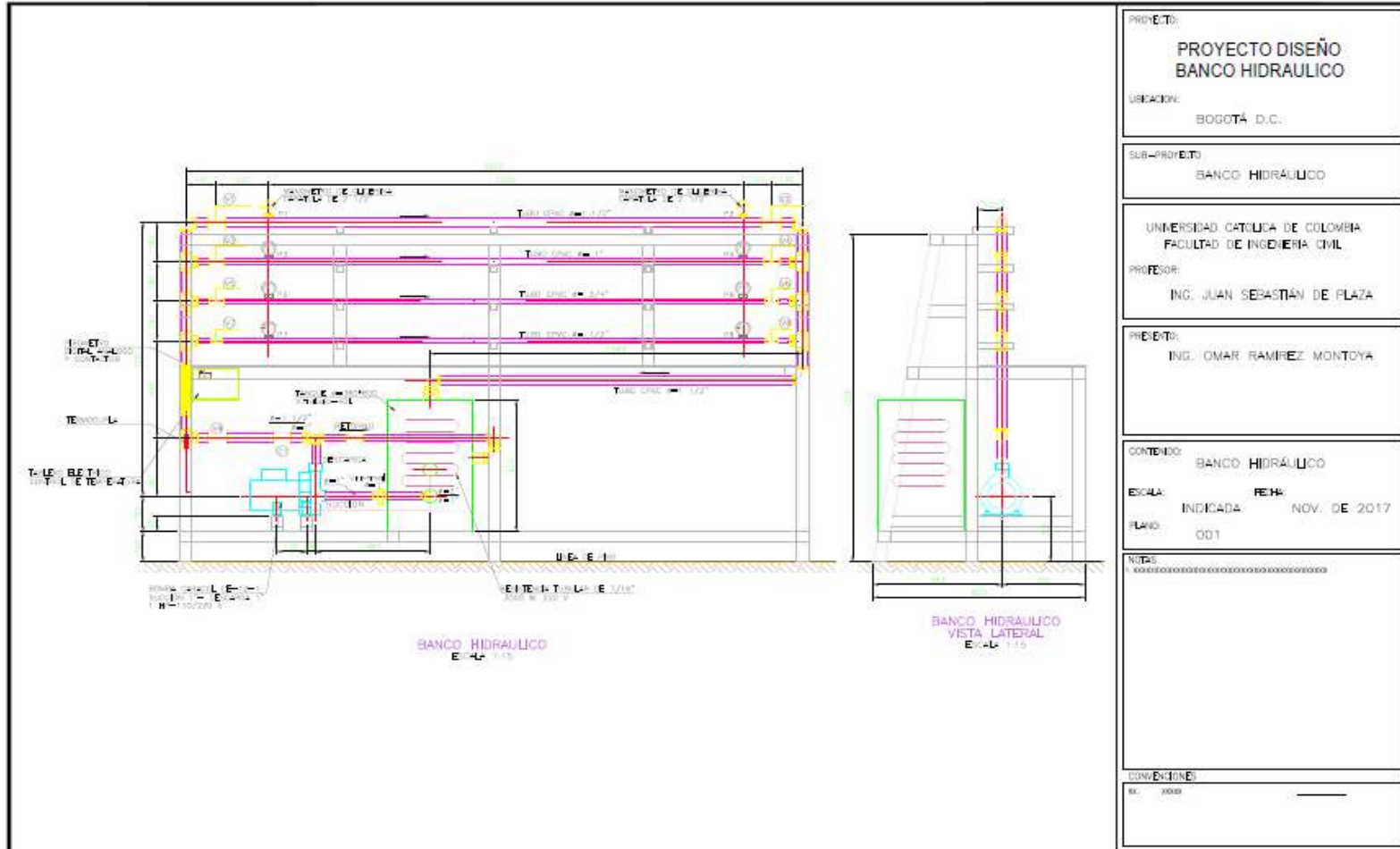
### Ordering Information

Fluid Media	Flow Range	1/2" NPT female, socket brass fitting	1/2" NPT female, socket T301 SS fitting	3/4" BSPF female, socket brass fitting	3/4" BSPF male, socket brass fitting	3/4" BSPF male, socket brass fitting	3/4" or 1 inch female, socket brass fitting	1" NPT female, plastic	1" nominal socket steel PVC fitting	1" NPT male, socket PVC fitting
Oil 1.0 c.p.g.	0.5 - 4 GPM	H624-104	H624-104	H624-104	H624-104	H624-104		H624-104	H624-104	H624-104
	1.0 - 7 GPM	H624-107	H624-107	H624-107	H624-107	H624-107		H624-107	H624-107	H624-107
	1.0 - 10 GPM	H624-110	H624-110	H624-110	H624-110	H624-110		H624-110	H624-110	H624-110
	1.0 - 16 GPM	H624-116	H624-116	H624-116	H624-116	H624-116		H624-116	H624-116	H624-116
	1.0 - 28 GPM	H624-128	H624-128	H624-128	H624-128	H624-128		H624-128	H624-128	H624-128
Water 1.0 c.p.g.	0.5 - 4 GPM	H624-004	H624-004	H624-004	H624-004	H624-004	H624-004	H624-004	H624-004	H624-004
	1.0 - 7 GPM	H624-007	H624-007	H624-007	H624-007	H624-007	H624-007	H624-007	H624-007	H624-007
	1.0 - 10 GPM	H624-010	H624-010	H624-010	H624-010	H624-010	H624-010	H624-010	H624-010	H624-010
	1.0 - 16 GPM	H624-016	H624-016	H624-016	H624-016	H624-016	H624-016	H624-016	H624-016	H624-016
	1.0 - 28 GPM	H624-028	H624-028	H624-028	H624-028	H624-028	H624-028	H624-028	H624-028	H624-028
Air 1.0 c.p.g.	10 - 45 SCFM	H624-045	H624-045	H624-045	H624-045	H624-045		H624-045	H624-045	H624-045
	20 - 70 SCFM	H624-070	H624-070	H624-070	H624-070	H624-070		H624-070	H624-070	H624-070
	25 - 100 SCFM	H624-100	H624-100	H624-100	H624-100	H624-100		H624-100	H624-100	H624-100
	30 - 170 SCFM	H624-170	H624-170	H624-170	H624-170	H624-170		H624-170	H624-170	H624-170
	35 - 250 SCFM	H624-250	H624-250	H624-250	H624-250	H624-250		H624-250	H624-250	H624-250
DIMENSIONS		Length (inches)	7.75 (196.8)	7.75 (196.8)	7.75 (196.8)	8.25 (209.5)	8.25 (209.5)	7.75 (196.8)	8.25 (209.5)	8.86 (225.8)
		Weight (pounds)	1.80 (81.1)	1.90 (84.7)	1.90 (84.7)	1.90 (84.7)	1.90 (84.7)	1.86 (84.1)	1.94 (87.1)	1.96 (88.1)
		Weight (kilograms)	0.82 (0.42)	0.85 (0.39)	0.85 (0.42)	0.85 (0.41)	0.85 (0.41)	0.75 (0.34)	0.85 (0.39)	0.88 (0.39)

① The 3/4" BSPF version has a 1/2" NPT inlet for the 1" size. ② The 1" NPT version has a 3/4" BSPF inlet for the 1" size. ③ The 1" NPT version has a 3/4" BSPF inlet for the 1" size. ④ Length includes end fittings.


## Anexo G. Planos de Diseño

### PLANO BANCO HIDRÁULICO





# PLANO BANCO HIDRÁULICO 3D



PROYECTO: <b>PROYECTO DISEÑO BANCO HIDRAULICO</b>
UBICACION: BOGOTA D.C.
SUB-PROYECTO: BANCO HIDRAULICO
UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
PROFESOR: ING. JUAN SEBASTIAN DE PLAZA
PRESENTE: ING. OMAR RAMIREZ MONTOYA
CONTENIDO: BANCO HIDRAULICO 3-D
ESCALA: SIN ESCALA      FECHA: OCT. 06 2017
PLANO: 001
TITULO: .....
CONDICIONES: Ed. 3000

# Anexo H. Resultados ETABS Calculo Estructura (puntual)

ETABS 2016 16.0.2

License #\*14MGBYNLVRMGNCF

## ETABS 2016 Steel Frame Design

### AISC 360-10 Steel Section Check (Strength Summary)

#### Element Details

Level	Element	Unique Name	Location (mm)	Combo	Element Type	Section	Classification
N1	945	95	0	00001	Special Moment Frame	TUBO 40*40*1.5	Compact

#### LLRF and Demand/Capacity Ratio

L (mm)	LLRF	Stress Ratio Limit
113.3	1	0.95

#### Analysis and Design Parameters

Provision	Analysis	2nd Order	Reduction
LRFD	Direct Analysis	General 2nd Order	Tau-b Flood

#### Stiffness Reduction Factors

$\alpha P_1 / P_y$	$\alpha P_1 / P_x$	$\tau_b$	EA factor	EI factor
-2.426E-04	0	1	0.8	0.8

#### Design Code Parameters

$\Phi_c$	$\Phi_s$	$\Phi_{rv}$	$\Phi_{rt}$	$\Phi_v$	$\Phi_{wc}$	$\Phi_{wt}$
0.9	0.9	0.9	0.75	0.9	1	1

#### Section Properties

A (cm <sup>2</sup> )	J (cm <sup>4</sup> )	I <sub>xx</sub> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>yy</sub> (cm <sup>4</sup> )	A <sub>wt</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>wt</sub> (cm <sup>2</sup> )
2.2	5.6	5.5	5.5	1.1	1.1

#### Design Properties

S <sub>xx</sub> (cm <sup>3</sup> )	S <sub>yy</sub> (cm <sup>3</sup> )	Z <sub>xx</sub> (cm <sup>3</sup> )	Z <sub>yy</sub> (cm <sup>3</sup> )	r <sub>xx</sub> (mm)	r <sub>yy</sub> (mm)	C <sub>w</sub> (cm <sup>6</sup> )
2.7	2.7	3.2	3.2	15.5	15.6	

#### Material Properties

E (MPa)	f <sub>y</sub> (MPa)	R <sub>y</sub>	n
199947.98	344.74	1.1	NA

#### HSS Section Parameters

HSS Welding	Reduce HSS Thickness?
EPW	No

#### Stress Check forces and Moments

Location (mm)	P <sub>x</sub> (kN)	M <sub>xx</sub> (kN-m)	M <sub>yy</sub> (kN-m)	V <sub>xx</sub> (kN)	V <sub>yy</sub> (kN)	T <sub>x</sub> (kN-m)
0	0.0189	-0.0002	0.0009	-0.0047	0.0007	-0.0001

#### Axial Force & Biaxial Moment Design Factors (H1.2.H1-1b)

	L Factor	K <sub>x</sub>	K <sub>y</sub>	B <sub>x</sub>	B <sub>y</sub>	C <sub>w</sub>
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	1

#### Parameters for Lateral Torsion Buckling

L <sub>br</sub>	K <sub>br</sub>	C <sub>b</sub>
1	1	1.875

## Demand/Capacity (D/C) Ratio Eqn.(H1.2.H1-1b)

D/C Ratio =	$(P_u / 2P_u ) + (M_{max} / M_{ux} ) + (M_{max} / M_{uy} )$
0.001	$1.353E-04 + 1.02E-04 + 0.001$

## Axial Force and Capacities

$P_u$ Force (kN)	$\phi P_n$ Capacity (kN)	$\phi P_n$ Capacity (kN)
0.0189	69.5298	69.7984

## Moments and Capacities

	M <sub>u</sub> Moment (kN-m)	$\phi M_n$ Capacity (kN-m)	$\phi M_n$ No L <sub>nc</sub> (kN-m)
Major Bending	0.0002	0.9964	0.9964
Minor Bending	0.0009	0.9964	

## Torsion Moment and Capacities

T <sub>u</sub> Moment (kN-m)	T <sub>n</sub> Capacity (kN-m)	$\phi T_n$ Capacity (kN-m)
-0.0001	0.9171	0.6254

## Shear Design

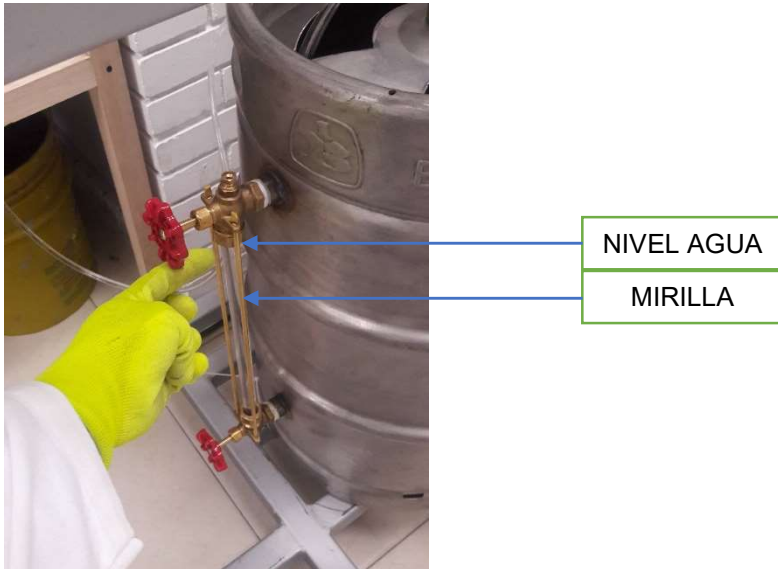
	V <sub>u</sub> Force (kN)	$\phi V_n$ Capacity (kN)	Stress Ratio
Major Shear	0.0047	19.6259	2.381E-04
Minor Shear	0.0007	19.6259	3.374E-05



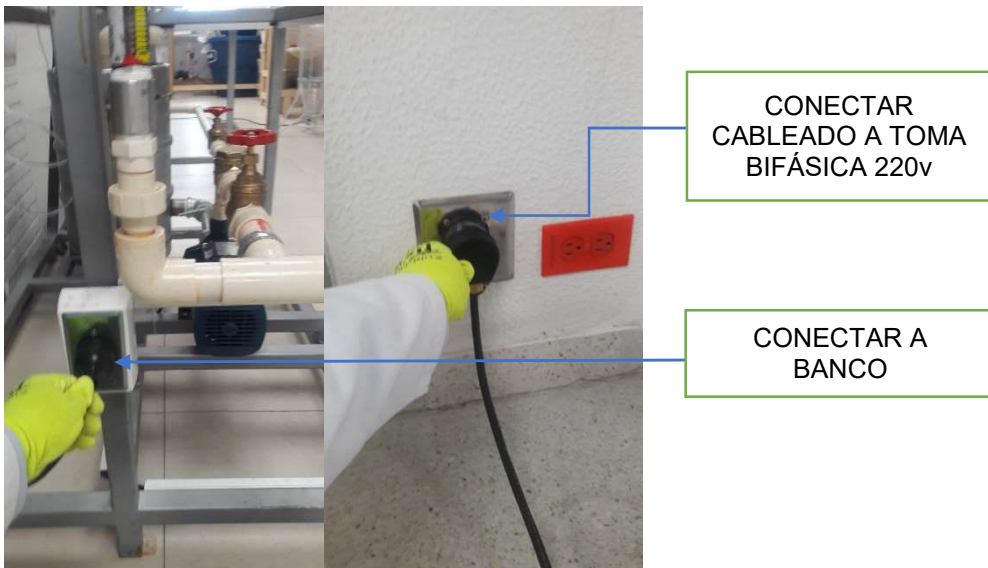
## Anexo I. Manual de Operación Banco Hidráulico

A continuación se describe el paso a paso para el manejo del banco hidráulico para las pruebas de la pérdida de presión de agua caliente en tuberías CPVC

➤ Llenar y verificar niveles de agua en el tanque de almacenamiento, se debe encontrar en el nivel máximo (ver mirilla). Nunca prender resistencia con el tanque vacío.



➤ Conectar línea eléctrica a tablero eléctrico bifásico - 220v del banco (sin encender tablero de la resistencia ni de la bomba).



➤ Verificar que todas las válvulas se encuentren cerradas, es decir que deben estar en el punto máximo a la derecha.



CERRAR  
TODAS LAS  
VÁLVULAS DEL  
BANCO

➤ Definir en que tubería (diámetro) se va a hacer el ensayo y a que temperatura, dentro del rango de 20°C-60°C.



$\Phi=1\frac{1}{2}$ "

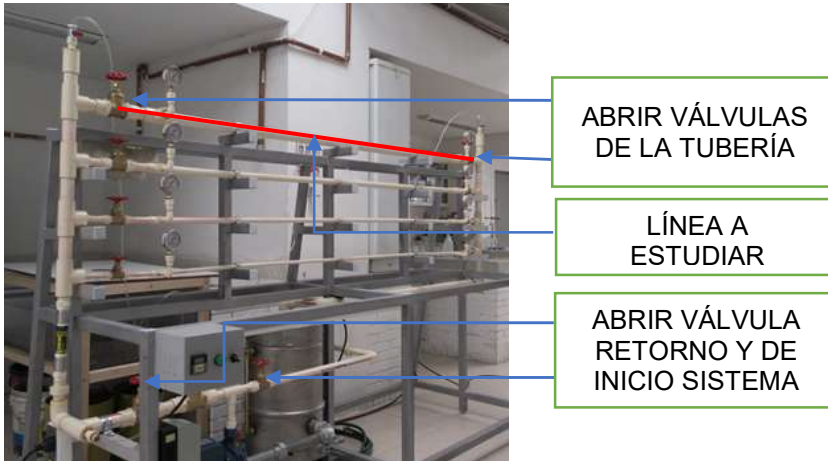
$\Phi=1$ "

$\Phi=3/4$ "

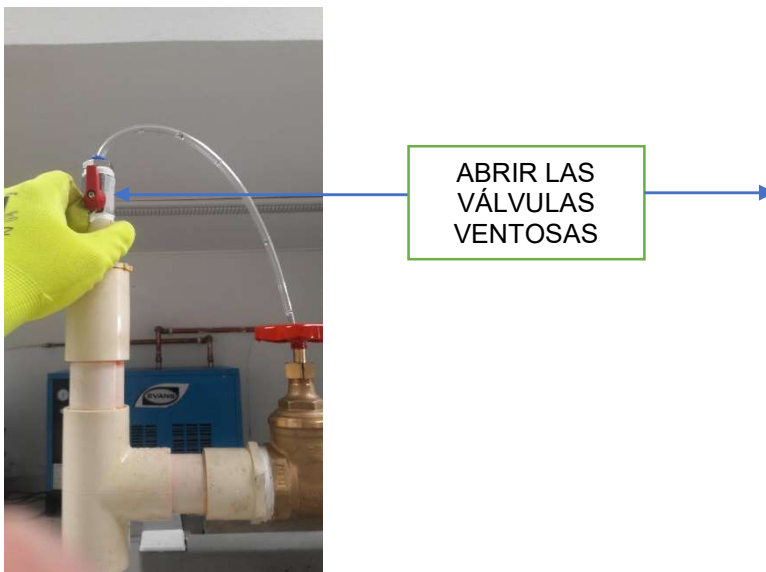
$\Phi=1/2$ "

DEFINIR  
 $\Phi$  PARA  
PRUEBA

➤ Abrir completamente las válvulas que se encuentran en la impulsión (inicio de la red y retorno) y las dos válvulas localizadas en la tubería que se requiere para el ensayo, se recomienda para este paso empezar con el diametro de 1 ½" (se debe abrir dos vueltas).



➤ Abrir completamente las dos válvulas ventosas que se encuentran en los dos extremos superiores del banco hasta que comience a fluir agua por las mangueras (10 segundos).



➤Poner en funcionamiento la bomba con el boton verde del arrancador eléctrico localizado en la parte izquierda del banco, verificar que el agua empiece a hacer circulación por toda la línea que se requiere para el ensayo.



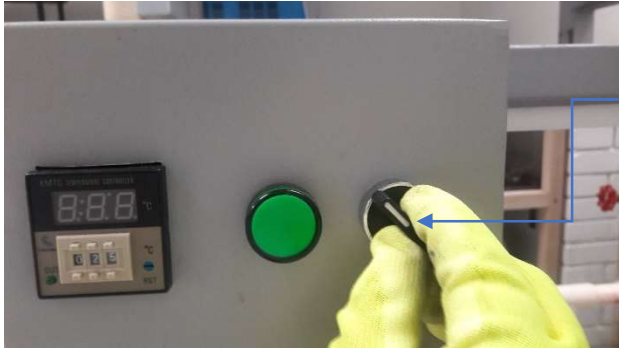
OPRIMIR  
BOTÓN  
VERDE

➤Cerrar las dos válvulas ventosas.



CERRAR LAS  
VÁLVULAS  
VENTOSAS

➤ Colocar en ON el boton de muletilla del tablero eléctrico de la resistencia (girar suavemente a la derecha)



GIRAR  
SUAVEMENTE A LA  
DERECHA BOTÓN  
DE MULETILLA

➤ Utilizar la botonera del tablero de mando eléctrico, se recomienda empezar con una temperatura de 20°C, pulsar la temperatura requerida en la botonera del tablero eléctrico, esta se visualizara en el display, se debe esperar un tiempo aproximado de 3-5 minutos hasta que se establezca esta temperatura de agua que circula en la red.



PULSAR  
TEMPERATURA  
REQUERIDA

➤ En el momento que se encuentre estabilizada la temperatura debemos realizar la lectura de las presiones de los dos manómetros que se encuentran en la línea del ensayo, junto con la lectura del caudal que circula por el flujómetro, se puede regular este caudal cerrando o abriendo la válvula de retorno según el requerimiento.



LECTURA  
FLUJÓMETRO

LECTURA DE  
MANÓMETROS



➤ Para hacer el cambio de diámetro de tubería, es necesario abrir completamente la válvula de retorno, luego abrir las dos válvulas de la siguiente línea a trabajar (primero la derecha y después la izquierda) y cerrar suavemente las dos válvulas registradas anteriormente (primero la izquierda y luego la derecha), con la válvula de retorno se regula el caudal que se requiere para la nueva línea (diferente diámetro).



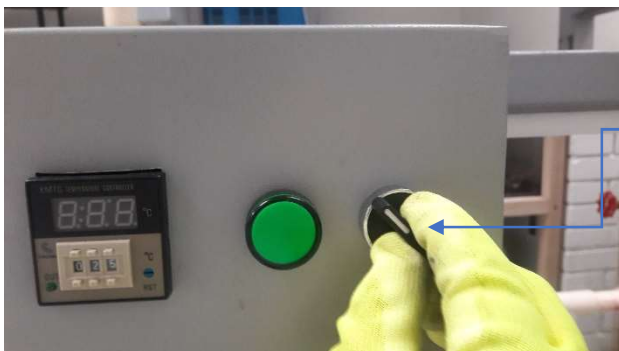
ABRIR VÁLVULA RETORNO  
Y LAS VÁLVULAS DE LA  
LÍNEA A ESTUDIAR

➤ Registrado los datos de los cuatro diferentes diámetros, se procede a modificar la temperatura y tomar de nuevo los datos requeridos.

➤ Este proceso se debe repetir incrementando la temperatura cada 5°C hasta llegar a una temperatura de 60°C.

Para apagar el sistema se debe:

➤ Colocar en Off el boton de muletilla que se encuentra en el tablero eléctrico de la resistencia, debe quedar apagado el boton ver del tablero (girar a la izquierda).



GIRAR EL BOTÓN DE  
MULETILLA A LA  
IZQUIERDA

➤Dejar funcionar la bomba, para que el fluido circule por un tiempo de 5 minutos para enfriar un poco el sistema (se recomienda con las cuatro líneas abiertas).

➤Hacer presión en el boton rojo del arrancador de la bomba.



APAGAR LA BOMBA CON  
EL BOTÓN ROJO

➤Cerrar todas la válvulas (de izquierda a derecha).



CERRAR LAS VÁLVULAS DE TODO  
EL BANCO Y DESCONECTAR LA  
LÍNEA ELÉCTRICA



## GUÍA PARA EL ESTUDIANTE

### OBJETIVO.

Encontrar la pérdida de presión en cada una de las diferentes tuberías de diámetros ( $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ , 1, 1  $\frac{1}{2}$  in) de CPVC a diferentes temperaturas. Utilizar el formato que se muestra a continuación para el registro de los datos.

TOMA DE DATOS EN EL BANCO HIDRÁULICO								
FECHA:					 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small>			
		APELLIDOS:		NOMBRE:		FIRMA:		CODIGO:
DIAMETRO NOMINAL (in)	DIAMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL (GPM)	CAUDAL (LPM)	PRESIÓN 1 (psi)	PRESIÓN 2 (psi)	DIFERENCIA PRESIÓN (psi)	DISTANCIA ENTRE MANOMETROS(m)	TEMPERATURA FLUIDO (°C)

### PROCEDIMIENTO.

- Revisar y dimensionar el diámetro interno de la tubería con la que cuenta el banco.
- Definir con que tubería se dará inicio a la prueba del laboratorio (línea a estudiar).
- Seguir paso a paso la guía para el procedimiento del manejo del banco hidráulico.
- Tabular todos y cada uno de los datos que se muestran en el formato.
- Los datos encontrados en los diferentes ensayos, se deben ordenar de acuerdo al diámetro de cada una de las tuberías, temperatura y caudal.
- Luego graficar la temperatura del fluido vs la pérdida de presión en la distancia (L) entre los dos manómetros, en cada una de las tuberías.

➤ Determinar la variación de pérdida de presión en cada una de las tuberías de acuerdo a la temperatura.

➤ Hallar otras variables que se pueden encontrar analíticamente a partir de los datos recolectados, como son:

- ✓ Velocidad
- ✓ Numero de Reynolds
- ✓ Coeficiente de fricción