

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ACCESORIOS PARA
EXPERIMENTACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA, FLUJO
LAMINAR Y TURBULENTO EN TUBERÍAS**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ACCESORIO PARA
EXPERIMENTACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN TUBERÍAS**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

JAIRO ANDRES CARRASCO CUEVA

jairo.carrasco@epn.edu.ec

DIRECTOR: CRISTINA ALEXANDRA TORRES JACOBOWITZ

cristina.torresj@epn.edu.ec

DMQ, marzo 2023

CERTIFICACIONES

Yo, JAIRO ANDRES CARRASCO CUEVA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

JAIRO ANDRES CARRASCO CUEVA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por JAIRO ANDRES CARRASCO CUEVA, bajo mi supervisión.

CRISTINA ALEXANDRA TORRES JACOBOWITZ.
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Jairo Andres Carrasco Cueva

Ing. Cristina Alexandra Torres Jacobowitz. MS.c

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mi padre Víctor Carrasco quien con mucho esfuerzo me ha ayudado a llegar al lugar en el que me encuentro ahora, me ha demostrado una infinidad de valores, pero también me enseñó como ser un buen hombre, ya que sin importar la pericia que este presentase siempre estuvo ahí cuando más necesitaba una ayuda.

A mi madre Mery Cueva quien siempre me acompañó en este duro trayecto y sin importar la hora siempre me alentaba a seguir adelante por haberme ayudado tanto en tantas situaciones de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, hermanos, familiares, amigos, y a una persona en especial que forma parte de mi vida, llego a la misma cuando más necesité de un apoyo, aunque con su carácter recio siempre me ha motivado para poder culminar este trabajo y mi carrera universitaria gracias, Lizeth por brindarme tu apoyo tanto de día como en la noche por mostrarme otro punto de vista muy diferente al que estuve acostumbrado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	3
1.4 Marco teórico.....	5
1.4.1 Fluido.....	5
1.4.2 Propiedades de los Fluidos	5
1.4.2.1 Densidad ρ	6
1.4.2.2 Peso específico γ	6
1.4.2.3 Volumen específico v	7
1.4.2.4 Viscosidad.....	7
1.4.2.4.1 Volumen específico v	7
1.4.2.4.2 Viscosidad cinemática.....	7
1.4.2.5 Temperatura.....	8
1.4.2.6 Presión	8
1.4.2.6.1 Presión atmosférica	8
1.4.2.6.2 Presión manométrica	8
1.4.2.6.3 Presión absoluta.....	9
1.4.2.6.4 Presión de Vacío	9
1.4.3 Caudal.	9
1.4.4 Ecuación de Bernoulli.	10
1.4.4.1 Conservación de la energía.....	10
1.4.4.2 Energía Cinética.	10
1.4.4.3 Energía Potencial.	10
1.4.4.4 Ecuación general de la energía	10
1.4.5 Perdidas por fricción o longitud.....	11

1.4.5.1	Ecuación de Darcy Weisbach.	11
1.4.5.2	Factor de fricción (f).....	11
1.4.5.3	Diagrama de Moody.....	12
1.4.5.4	Rugosidad absoluta.	13
1.4.5.5	Rugosidad relativa.	13
1.4.5.6	Numero de Reynolds.	13
1.4.6	Tipos de Flujo.....	14
1.4.6.1	Flujo Laminar.	14
1.4.6.2	Flujo turbulento.....	15
1.4.6.3	Flujo en transición.....	15
1.4.7	Perdidas por accesorios.....	15
1.4.7.1	Longitud Equivalente.....	16
1.4.8	Tipos de accesorios.	17
1.4.8.1	Ampliación súbita.....	17
1.4.8.2	Ampliación gradual.	19
1.4.8.3	Contracción súbita.	20
1.4.8.4	Contracción gradual.	21
1.4.8.5	Accesorios varios.....	22
1.4.8.6	Válvulas.	24
1.4.9	Equipo e instrumentos.....	24
1.4.9.1	Banco hidráulico Cussons P6100.....	24
1.4.9.2	Portable ultrasonic Flow meter.....	26
1.4.9.3	Manómetro digital Cussons series 490.	27
1.5	Errores de cálculo en las perdidas por fricción y por accesorios.	28
1.5.1	Procedimiento del cálculo de error porcentual.....	28
1.6	Estudios previos y Estado del Arte.	28
2	METODOLOGÍA.....	32
2.1	Análisis de información	32
2.2	Diseño del accesorio adaptable al banco hidráulico Cussons P6100	32
2.2.1	Proceso para el diseño del accesorio adaptable al banco hidráulico Cussons P6100	33
2.2.2	Selección del diseño para el accesorio adaptable.	33
2.2.3	Elección de diámetros óptimos.	34
2.2.4	Elección de accesorios.....	35
2.2.5	Selección de parámetros de diseño para la red de accesorios.	35
2.2.6	Selección de caudal de diseño para la red de accesorios.	36
2.3	Procedimiento de cálculo en la red de accesorios adaptables.	36

2.3.1	Procedimiento para el cálculo pérdidas por fricción (h_{Long}).....	42
2.3.2	Procedimiento para el cálculo pérdidas por accesorios (h_{acc}).....	43
2.3.3	Procedimiento para el cálculo pérdidas por fricción (h_{Long}) experimental. 44	
2.3.4	Procedimiento para el cálculo pérdidas por accesorios (h_{acc}) experimental 45	
2.4	Proceso constructivo para la red de accesorios.	46
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
3.1	Resultados.	50
3.1.1	Análisis de la trayectoria 1. Tramo material PVC $\frac{3}{4}$ "	50
3.1.2	Perdidas de energía por fricción.	51
3.1.3	Perdidas de energía por accesorios	53
3.2	Datos obtenidos experimentalmente.	59
3.3	Instructivos para prácticas en laboratorio.....	67
3.4	Conclusiones.....	68
3.5	Recomendaciones	69
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
5.	ANEXO	72
	ANEXO I	73
	Diagrama de moody.....	73
	ANEXO 2	74
	Tablas y valores referenciales.....	74
	ANEXO 3	77
	ANEXO 4	82
	Tablas de Excel resultados.	82
	ANEXO 5	83
	Enlace fotografías y video del accesorio adaptable banco hidráulico.	83
	ANEXO 6	87
	Instructivos para practicas pérdidas de energía.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Perfil de velocidades flujo laminar	15
Figura 2. Perfil de velocidades flujo turbulento	15
Figura 3. Ampliación súbita.	18
Figura 4. En la siguiente figura se presenta un ábaco para encontrar el valor de coeficiente de resistencia k teniendo en cuenta las relaciones de Diámetros existentes en la ampliación súbita.	18
Figura 5. Ampliación gradual.	19
Figura 6. En la siguiente figura se presenta un ábaco para encontrar el valor de coeficiente de resistencia k teniendo en cuenta las relaciones de Diámetros existentes en la ampliación gradual.	20
Figura 7. Contracción súbita.....	21
Figura 8. En la siguiente figura se presenta un ábaco para encontrar el valor de coeficiente de resistencia k teniendo en cuenta las relaciones de Diámetros existentes en la contracción súbita.	21
Figura 9. Contracción gradual	22
Figura 10. En la siguiente figura se presenta un ábaco para encontrar el valor de coeficiente de resistencia k teniendo en cuenta las relaciones de Diámetros existentes en la contracción gradual.	22
Figura 11. Banco hidráulico presente en el laboratorio docente de hidráulica Escuela Politécnica Nacional (1) salida para conexión al accesorio adaptable $\frac{3}{4}$ ", (2) válvula regulación de caudal, (3) rotámetro. (4) Bomba marca Stuart Turner, (5) tanque de evacuación del fluido, (6) tanque reservorio	26
Figura 12. Medidor ultrasónico de caudal presente en los laboratorios de Hidráulica EPN , (1) Transductores medianos, (2) cables de señal 16.4 pies para conectar transductores, (3) medidor de flujo ultrasónico portátil, (4) Cargador de batería.....	27
Figura 13. Manómetro digital Cussons 490 presente en los laboratorios de Hidráulica EPN.....	28
Figura 14. Propuesta diseño 6 trayectorias diámetro $\frac{3}{4}$ "	34
Figura 15. Accesorios que conforman la red.	35
Figura 16. Elementos y trayectorias que conforman la Trayectoria 1.	36
Figura 17. Elementos y trayectorias que conforman el accesorio adaptable al banco hidráulico Cussons P610.....	37
Figura 18. Elementos, accesorios y recorrido que conforman la Trayectoria 1.	38
Figura 19. Elementos, accesorios y recorrido que conforman la Trayectoria 2.	39

Figura 20. Elementos, accesorios y recorrido que conforman la Trayectoria 3.	39
Figura 21. Elementos, accesorios y recorrido que conforman la Trayectoria 4.	40
Figura 22. Elementos, accesorios y recorrido que conforman la Trayectoria 5.	40
Figura 23. Elementos, accesorios y recorrido que conforman la Trayectoria 6.	41
Figura 24. Válvulas de compuerta donados por laboratorio de hidráulica de la escuela Politécnica Nacional.	49
Figura 25. Accesorios donados por laboratorio de hidráulica de la escuela Politécnica Nacional.	49
Figura 26. TABLERO DE MADERA TRIPLEX EN COLOR BLANCO MEDIDAS 236 X 135X 3.5 (cm) donados por laboratorio de hidráulica de la escuela Politécnica Nacional	50

RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular tiene por objetivo principal la implementación de un accesorio en el que se pueda evaluar pérdidas de energía en tuberías y accesorios sea esta por fricción en tuberías o pérdidas localizadas en accesorios para tuberías tales como: codos, tees, reducciones, ampliaciones y válvulas, debido a que actualmente la Escuela Politécnica Nacional en su laboratorio docente de hidráulica no cuenta con un equipo específico para realizar dichas prácticas en su haber el laboratorio docente de hidráulica cuenta con un Banco Hidráulico de marca Cussons que se utiliza para algunas prácticas de "bombas en serie" y no para la experimentación de pérdidas de energía en tuberías y accesorios.

Al realizar un análisis en el estado del arte se pudo evidenciar los accesorios adaptables a bancos hidráulicos que se habían materializado en diversas universidades públicas y privadas tanto nacionales como extranjeras en la cuales se lograba montar experimentos que funcionaban con la apertura o cierre de válvulas.

Para el estudio de pérdidas de energía en accesorios y tuberías se construyó un accesorio adaptable a un banco hidráulico, el cual permite evaluar las pérdidas de energía en tuberías por fricción y localizadas, el accesorio se conecta al sistema de alimentación correspondiente (Banco hidráulico Cussons P6100), el accesorio está compuesto por un total de 6 trayectorias en las cuales se analizaron los diversos parámetros de pérdidas de energía, dichas pérdidas se midieron a través de un manómetro digital Cussons 490, los resultados se compararon con los valores calculados utilizando la base teórica.

PALABRAS CLAVE: Cussons P6100, Banco hidráulico, pérdidas, energía, accesorios.

ABSTRACT

The main objective of this curricular integration work is to implement an accessory in which energy losses in pipes and accessories can be evaluated, whether due to friction in pipes or localized losses in pipe accessories such as: elbows, tees, reductions, extensions and valves, due to the fact that currently the National Polytechnic School in its hydraulics teaching laboratory does not have specific equipment to carry out these practices to its credit the hydraulics teaching laboratory has a Cussons Hydraulic Bench that is used for some practices of "pumps in series" and not for the experimentation of energy losses in pipes and accessories.

When carrying out an analysis in the state of the art, it was possible to demonstrate the adaptable accessories to hydraulic benches that had materialized in various public and private universities, both national and foreign, in which it was possible to assemble a series of accessories that should not be disconnected for study, but rather that they worked only with the opening or closing of valves.

For the study of energy losses in accessories and pipes, it was possible to build an accessory adaptable to a hydraulic bench which allows evaluating the energy losses in pipes and accessories without being disconnected from the power system corresponding to the Cussons P6100 hydraulic bench, a total of 6 trajectories in which the various parameters of energy losses were analyzed, said losses were measured through a Cussons 490 digital manometer with the theoretical measurements that had been initially argued, agreeing the theoretical part with the trial part.

KEYWORDS: Cussons P6100, Hydraulic bench, losses, energy, accessories.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Una de las ramas con mayor acogida en la investigación de la mecánica de fluidos es la hidráulica, la cual permite conocer los principios básicos de los fluidos para ser considerados en el diseño de sistemas en los que su componente principal de estudio son los fluidos, con el fin de realizar investigaciones experimentales las cuales permiten conocer de manera más cercana la mecánica de fluidos en tuberías. [1]

Las pérdidas de energía en tuberías para el transporte de fluidos se deben principalmente al rozamiento con las paredes y los diferentes accesorios que componen un sistema de transporte de fluidos, estas pérdidas suelen manifestarse en una reducción de presión en las tuberías (energía de flujo). [1]

Según estudios realizados por la universidad de Girardot sobre el "LA EXPERIMENTACIÓN DE PERDIDAS POR FRICCIÓN, PERDIDAS LOCALIZADAS" menciona que además de las pérdidas de energía producto de la fricción, existe otro tipo de pérdidas "menores" asociadas con los problemas en tuberías. Se cree que tales pérdidas suceden localmente en el disturbio del flujo. La presencia de accesorios como: llaves de paso, ensanchamientos, codos, estrechamientos, tees, etc. Provocan pérdidas de carga adicionales en toda instalación, por causar variación de la dirección o modificar la velocidad lineal de desplazamiento del flujo. [1]

El componente desarrollado para la experimentación de pérdidas de energía en tuberías y accesorios fue desarrollado con la finalidad de incorporar al Banco hidráulico Cussons P6100 del Laboratorio Docente de Hidráulica un accesorio funcional para estudiar y realizar prácticas de pérdidas de energía por fricción en tuberías y pérdidas de energía en accesorios.

Para seleccionar el diámetro óptimo que se utilizó en las tuberías se analizó principalmente la velocidad mínima de diseño, se propuso los diámetros comerciales que se ofertan en el país, se construyeron 6 trayectorias de tuberías y accesorios, que permiten realizar prácticas de pérdidas de energía por fricción en tuberías y pérdidas en accesorios, dentro de las cuales se analizan 3 tramos para pérdidas por fricción : uno con tubería de hierro de $\frac{3}{4}$ " , tubería PVC $\frac{3}{4}$ " y tubería PVC $\frac{1}{2}$ " , a su vez también se analizan accesorios en la trayectoria 4, 5 y 6 que comprenden: válvulas, tees, bifurcaciones, codos, ampliaciones y reducciones, gracias el diseño de construcción con el que se implementó el, accesorio adaptable al banco hidráulico es posible estudiar cada trayectoria o varias a la vez mediante la apertura de llaves globo colocadas al extremo izquierda de cada trayectoria. [2]

Para medir las pérdidas de energía se usó un sistema de acoples rápidos de tipo NTP que juntamente con el manómetro digital Cussons 490 determina la pérdida de energía en los puntos requeridos para su análisis, para producir un caudal con el cual se pueda analizar las pérdidas se usó el banco hidráulico Cussons P6100 el cual gracias a su bomba Stuart Turner puede generar caudales con valores que van desde $0.36 \text{ m}^3/\text{h}$ hasta los $2.46 \text{ m}^3/\text{h}$ a 5400 rpm [3]

Debido a que el rotámetro que viene acoplado al sistema del banco hidráulico de encuentra descalibrado se usó un medidor ultrasónico de flujo, mismo que se empleó en todo el estudio realizado, obteniendo magnitudes reales de los caudales que entregaba el banco hidráulico hacia las tuberías del accesorio adaptable. [4]

El accesorio adaptable está construido de modo que sea posible añadir más trayectorias, debido a su fácil colocación y desmontaje, para lo cual se utilizó uniones universales que permiten desmontar toda la trayectoria y ser reemplazada por una nueva en el caso de sufrir algún daño, del mismo modo permite acoplar un tramo nuevo, dentro del modelo desarrollado se analizaran las pérdidas de energía que suscitan en tramos de tubería, así como también las pérdidas localizadas en accesorios. [5]

En las pruebas realizadas se comprobó que los resultados experimentales son cercanos a los teóricos, el error está entre **1% y 10%** dependiendo de la trayectoria o accesorio analizado.

Como resultado final se obtiene un instructivo que permite utilizar el accesorio de pérdidas de energía en tuberías por fricción y localizadas, para las cátedras de **Hidráulica Básica, Hidráulica en canales y tuberías e Hidráulica Básica y Laboratorio. En el instructivo** se detalla el procedimiento que se debe seguir para realizar esta práctica, así como los equipos necesarios que son empleados en la misma.

1.1 Objetivo general

Implementar un accesorio de experimentación de pérdidas de energía adaptable al banco hidráulico P6100 del Laboratorio Docente de Hidráulica para la generación de prácticas de flujo en tuberías.

1.2 Objetivos específicos

1. Perfeccionar el conocimiento de los principios hidráulicos de pérdidas de energía en accesorios y tuberías, como lo son pérdidas por fricción, pérdidas de carga por accesorios, ampliación o reducción en tramos de tuberías, etc.

2. Diseñar una alternativa que sea sustentable y adaptable al equipo banco hidráulico P6100 para experimentación de pérdidas de energía en tuberías y accesorios.
3. Construir un accesorio para el banco hidráulico P6100 que facilite el estudio de las pérdidas de energía asociadas al flujo en tuberías.
4. Analizar los resultados obtenidos dentro de la practicas de pérdidas de energía en accesorios en de un sistema de tuberías y compararlos con los resultados de las ecuaciones teóricas y accesorios de tubería comercial.
5. Elaborar un instructivo para la práctica de pérdidas de energía en tuberías que se utilizará en las cátedras: Hidráulica Básica, Hidráulica en canales y tuberías e Hidráulica Básica y Laboratorio.

1.3 Alcance

En el presente plan de trabajo se diseñó e implemento un accesorio adaptable al banco hidráulico P6100, para la experimentación de pérdidas de energía en accesorios y tuberías, teniendo en cuenta las bases teóricas que abarca el funcionamiento de este.

Se tuvo que considerar las siguientes fases.

- a) Fase de diseño o planteamiento.

En la fase de diseño se investigó y compilo la información necesaria sobre los principios hidráulicos que fueron necesarios para interpretar adecuadamente las pérdidas de energía dentro de accesorios y tuberías ocasionados por fricción, carga, ampliación, reducción etc. Asimismo, se tomó en cuenta especificaciones técnicas, manuales, instructivos y videos sobre el funcionamiento del banco hidráulico Cussons P6100. Además, dentro de esta fase se realizó el diseño de un sistema de pérdidas de energía en tuberías y accesorios, acoplable al banco hidráulico del Laboratorio Docente de Hidráulica. [3]

Para la presente fase de diseño se examinó que los parámetros presentados en los estudios realizados por Henry Darcy y Julius Weisbach los cuales se basan en un modelo matemático de la Física clásica el cual interpreta a partir de una ecuación la perdida de energía en tuberías, dicha ecuación manifiesta que las perdidas presentes son proporcionales a la dimensión del tramo de tubería y la altura de esta, e inversamente proporcional al diámetro de la tubería, dicha proporcionalidad se implanta mediante un coeficiente de fricción que va en función de la capacidad rugosa que posee una tubería y características propias del flujo que estarán dispuestas por el número de Reynolds. [6]

Para optar por el parámetro de coeficiente de rugosidad, dentro de la implementación del circuito hidráulico se debe considerar que este está completamente en función del material de la tubería, así como de su estado interno dicho estado se verá afectado con el paso del tiempo principalmente en tuberías de acero o hierro fundido e los cuales es más visible este tipo de incrustación de minerales que contiene el fluido (agua), en tuberías de concreto cobre y plástico este fenómeno de incrustaciones se demora un tiempo más prolongado en aparecer [7]

Al analizar diversos estudios realizados sobre la implementación de un circuito hidráulico para el estudio de pérdidas de energía en tuberías y accesorios, se determina comparativamente que los costos de implementación al importar materiales son desproporcionales a lo previsto anteriormente dentro de la propuesta inicial por lo que se optara por reducir lo máximo posible los costos, sin afectar el óptimo funcionamiento del circuito hidráulico así como también la comodidad para remplazar accesorios o tramos de tubería que pudieran estropearse.

b) Fase de implementación.

En esta fase de implementación, se fabricó el circuito hidráulico para el estudio de pérdidas de energía acorde a lo obtenido en la fase de diseño, cumpliendo con todos los parámetros para tener en cuenta como son coeficientes, materiales, dimensiones. Con esto se procuró no presentar grandes falencias en la fase de pruebas, en la implementación de accesorios adaptables al banco hidráulico p6100 se obtuvo como una gran alternativa el uso de un circuito hidráulico o sistema de tuberías interconectadas, la cuales fueron accionadas mediante la apertura y cierre de válvulas, para así poder analizar cada accesorio presente, al tener un circuito hidráulico conectado permanentemente con una gran infinidad de accesorios se aumenta la eficiencia al obtener datos respecto a la pérdida de energía en accesorios, así como la gran facilidad de intercambiar los mismos por diversos materiales además de ser muy versátil a la hora de reemplazar cualquier accesorio dañado. [8]

c) Fase de pruebas.

En la fase de pruebas, se evaluó que los valores obtenidos del circuito hidráulico implementado sean coherentes y se contrastaron con los obtenidos teóricamente, donde se evidencie que el circuito implementado funcione acorde a la teoría de pérdidas de energía en tuberías y accesorios.

Tanto el trayecto del circuito hidráulico que fue diseñado, así como la disposición de accesorios correspondientes al banco de pruebas Cussons P6100, se deberá considerar lo siguiente:

- El cálculo de pérdidas de energía se dio en cada red independiente.
 - La velocidad empleada será la máxima fue proporcionada por el banco de pruebas Cussons P6100
 - Se considero la ruta más crítica para obtención de las pérdidas de energía del circuito.
- d) Fase análisis de resultados.

En esta fase de análisis se exhibe un informe final acorde al circuito hidráulico implementado, como también un instructivo detallado que será utilizado en las prácticas de pérdidas de energía en accesorios y tuberías.

1.4 Marco teórico

En el presente subcapítulo se pretende dar a conocer toda la recolección de información y estudios con suficiente relevancia, mismos que son utilizados para un correcto desarrollo de este trabajo de integración curricular.

1.4.1 Fluido

Fluido se denomina a la sustancia que puede encontrarse tanto en una fase gaseosa como en una fase líquida, que es deformable si está bajo los efectos de un esfuerzo cortante sin tener en cuenta lo microscópico que parezca un fluido se puede encontrar en reposo o movimiento. [9]"

1.4.2 Propiedades de los Fluidos

En la representación del movimiento de un cierto fluido se debe requerir al uso de las leyes de la Mecánica (ley de la conservación de la energía y cantidad de movimiento, leyes de Newton) juntamente con especificaciones características para cada tipo de fluido, así como también de su estado presente en la naturaleza.

En una escala minúscula un fluido se conforma principalmente de moléculas, que están en constante movimiento y chocando entre ellas, a una escala mucho mayor es donde se concentran la mayor parte de estudios sobre cálculos hidráulicos ya que se toma en cuenta

una acción colectiva de un grupo considerable de moléculas que da como resultado la aparición de ciertas propiedades como lo son la presión, la densidad o la temperatura.

En la práctica esto se simplifica dando como resultado por así decirlo hipotética distribución continua de materia la cual también se conoce como el continuo o el medio continuo, así se logra remplazar la materia real por dicho medio continuo artificial en el cual sus propiedades cambian de una manera continua y nos permiten observar propiedades macroscópicas de un medio real, no obstante si se está operando en el medio continuo y con cantidades macroscópicas, al tomar un elemento de tipo infinitesimal y analizar su volumen este será del medio continuo y no de la materia real, por lo que se puede inferir con completa seguridad que a partir de estas magnitudes microscópicas obtendremos magnitudes macroscópicas.

“La materia y las propiedades físicas asociadas a la misma se consideran dispersas de forma continua en ella, y no concentradas en pequeñas fracciones (átomos y moléculas) de la misma.” [11].

1.4.2.1 Densidad ρ

La densidad se la define como la cantidad de masa que interactúa con una unidad de volumen por lo general la densidad en un fluido está relacionada con la presión y la temperatura, en un fluido de tipo homogéneo la densidad no varía y se la define como. [9]

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

Ecuación 1. Densidad ρ .

Dónde:

- ρ : Densidad del fluido (Kg/m^3).
- m : Masa (kg).
- V : Volumen del fluido (m^3).

1.4.2.2 Peso específico γ

El peso específico es la fuerza de atracción que tiene un cuerpo en dirección al centro del planeta tierra como consecuencia de la gravedad de este, a su vez el peso específico se define como el peso por unidad de volumen. [12]

$$\gamma = \frac{m * g}{V}$$

Ecuación 2. Peso específico γ .

Dónde:

- γ : Peso específico (N/m³).
- m: Masa (kg).
- g: Gravedad (m/s²).
- V: Volumen del fluido (m³).

1.4.2.3 Volumen específico v

Se define al volumen específico como el volumen que es ocupado por unidad de masa, en un flujo de tipo homogéneo se lo define como. [2]

$$v = \frac{1}{\rho}$$

Ecuación 3. Volumen específico v.

Dónde:

- v: Volumen específico (N/m³).
- ρ : Densidad del fluido (Kg/m³).

1.4.2.4 Viscosidad.

La viscosidad se define como la fuerza de oposición al movimiento de un fluido o también como la fuerza de rozamiento interno de un fluido, al analizar la viscosidad del agua de infiere que los únicos parámetros que interfieren en su viscosidad son la temperatura y la presión, estos parámetros varían la magnitud de viscosidad. [12]

1.4.2.4.1 Volumen específico v

La viscosidad dinámica de un fluido es el resultado de cuantificar su resistencia a desplazarse o capacidad para deformarse internamente. [2]

1.4.2.4.2 Viscosidad cinemática.

La viscosidad cinemática de un fluido es el resultado de la división entre la viscosidad dinámica y su densidad se la define como. [2]

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

Ecuación 4. viscosidad cinemática v .

Dónde:

- v : Viscosidad cinemática (m/s²).
- μ : Viscosidad dinámica (kg/m²).
- ρ : Densidad del fluido (Kg/m³).

1.4.2.5 Temperatura

La temperatura se interpreta como la magnitud que dictamina el calor medible de un sistema mediante un termómetro. [12]

1.4.2.6 Presión

Se define a la presión como la fuerza que se efectúa o es aplicada por un fluido por unidad de área, en el cálculo de presiones en fluidos se debe tener en cuenta la presión de referencia, la cual se determina a través de presiones manométricas (manómetro) o por presiones absolutas (Presión manométrica +presión atmosférica). [12]

$$P = \frac{F}{A}$$

Ecuación 5. Presión P .

Dónde:

- P : Presión (Pa).
- F : Fuerza (N).
- A : Área (m²).

1.4.2.6.1 Presión atmosférica

La presión atmosférica es la presión que ejerce una masa de aire en el planeta, la presión atmosférica puede cambiar dependiendo de las condiciones climáticas, o de en donde se encuentra localizado el punto en el cual se va a realizar la medición de presión. [13]

1.4.2.6.2 Presión manométrica

La presión manométrica se define como la presión que es cuantificada dentro de un medidor (manómetro) al interior de una tubería misma que sobrepasa a la presión atmosférica adyacente. [12]

1.4.2.6.3 Presión absoluta

La presión absoluta es la resultante de la suma entre la presión atmosférica y la presión manométrica de un fluido con respecto al cero absoluto. [9]

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{man}$$

Ecuación 6. Presión absoluta P_{abs} .

Dónde:

- P_{abs} : Presión absoluta.
- P_{atm} : Presión atmosférica.
- P_{man} : Presión Manométrica.

1.4.2.6.4 Presión de Vacío

La presión de vacío se utiliza para interpretar la presión que se sitúa de bajo de la presión atmosférica dentro de un sistema de bombeo, es el resultado del residuo que existe entre la presión que es medida y la presión atmosférica misma que se expresa en unidades de mercurio. [12]

1.4.3 Caudal.

El caudal se lo define como la cantidad de un fluido que pasa a través de una estructura (canal, río, tubería), en una determinada unidad de tiempo, también se puede definir como el volumen de un fluido que circula a través de un área en específico en la unidad de tiempo. [9]

$$Q = V.A$$

Ecuación 7. Caudal Q.

Dónde:

- Q: Caudal (m^3/s , lts/s).

- V : Volumen del líquido (m^3).
- A : Área (m^2).

1.4.4 Ecuación de Bernoulli.

La ecuación de Bernoulli es la interpretación matemática del balance de energía existente en toda la trayectoria que realiza una partícula de un fluido entre dos puntos a través de una línea de corriente. [12]

Cuando un fluido de tipo real circula a lo largo del interior de un tubo o a su vez a través de dos secciones se producen dos efectos que surgen como resultado de una viscosidad diferente de cero, el perfil de velocidad posee un valor máximo situado en la parte central del tubo, y no se conserva su energía mecánica dentro del sistema, se sabe también que la ecuación de Bernoulli sirve para la interpretación de un flujo estacionario a través de una línea de corriente. [9]

1.4.4.1 Conservación de la energía.

Se afirma que **“La energía no puede crearse ni destruirse solo sufre transformaciones o cambios para pasar de una energía a otra”**, lo que se traduce que en un sistema cerrado no puede producir más energía de la inicial a menos que esta provenga de algún agente externo, misma que puede transferirse de un sistema a otro. [12]

1.4.4.2 Energía Cinética.

La energía cinética es la energía producto de la puesta en movimiento de un sistema, para establecer la energía cinética se debe tener en consideración la velocidad del fluido que atraviesa una tubería. [9]

1.4.4.3 Energía Potencial.

La energía potencial es la consecuencia de la altura a la que se encuentra un fluido multiplicada por la gravedad. [9]

La energía de flujo representa la cuantificación del trabajo que es necesario para desplazar un fluido a través de una sección respectiva. [9]

1.4.4.4 Ecuación general de la energía

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 * g} + h_A - h_{lon} - h_{acc} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 * g}$$

Ecuación 8. Ecuación de la energía.

Dónde:

- h_A : energía añadida al sistema por una bomba o dispositivo mecánico.
- h_{long} : Pérdida de energía por fricción a lo largo de la longitud de la tubería.
- h_{acc} : Pérdida de energía por accesorios.

1.4.5 Pérdidas por fricción o longitud.

Las pérdidas primarias se dan como resultado de la pérdida de energía por fricción que se cuantifican en forma de presión, esta pérdida es analizada en flujos de tipo laminar y turbulento denominadas como pérdidas por fricción dichas pérdidas por lo general se ocasionan a lo largo de un sistema de tuberías producto del rozamiento existente entre las paredes de la tubería y el flujo que circula a través de estas. Para analizar las pérdidas por fricción o longitud se usará la ecuación de Darcy Weisbach [12]

1.4.5.1 Ecuación de Darcy Weisbach.

La ecuación de Darcy-Weisbach toma en cuenta los siguientes parámetros: el régimen del flujo, la viscosidad que posee un fluido, la extensión de la tubería considerando que en una tubería muy extensa las pérdidas por fricción no se pueden despreciar por consiguiente ecuación de Darcy-Weisbach expresa las pérdidas por fricción o longitud, usando los siguientes parámetros Rugosidad, velocidad de flujo, coeficiente de fricción todas estas variables dependen del material con el que están diseñadas las tuberías del sistema. [12]

$$h_{lf} = f * \frac{L}{Di} * \frac{v^2}{2 * g}$$

Ecuación 9 Ecuación de Darcy-Weisbach.

Dónde:

- h_f : Pérdidas por longitud o fricción (m).
- f : Factor de fricción del tramo de tubería (adimensional).
- g : Gravedad (m/s^2).
- Di : Diámetro interno tubería (m).

1.4.5.2 Factor de fricción (f).

En la fórmula de Darcy-Weisbach no se puede deducir de manera simple el factor de fricción (f) este factor se lo determina de manera experimental bajo las siguientes condiciones: flujo laminar ($Re < 2000$) se encuentra solamente en función del número de Reynolds, Flujo turbulento ($Re > 4000$) depende también de las paredes de la tubería. [2]

En la región conocida con el nombre de “zona critica” comprendida entre los valores de 2000 a 4000 el flujo puede presentarse como flujo turbulento al igual que flujo laminar dependiendo de otros factores que pueden ser, variaciones en la sección, cambios en la dirección de flujo, obstrucciones presentes en sistema ocasionados por válvulas. En la zona critica el factor de fricción es indeterminado pero de encontrarse en la zona de flujo laminar ($Re < 2000$) se lo puede determinar con la siguiente ecuación. [2]

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

Ecuación 10 Factor de fricción flujo laminar

Dónde:

- f : Factor de fricción (adimensional)
- Re : Numero de Reynolds (adimensional)

Cuando el flujo es turbulento ($Re > 4000$) el factor de fricción depende del número de Reynolds, rugosidad de las paredes en la tubería ε y el diámetro interno de la tubería (D_i) para encontrar la magnitud del factor de fricción se utiliza el diagrama de Moody o la fórmula de Swamme, se podría utilizar también la fórmula de Colebrook White, pero se generaría un proceso iterativo. [2]

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{\varepsilon}{3.7 * D_i} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2}$$

Ecuación 11 Factor de fricción flujo turbulento

Dónde:

- f : Factor de fricción (adimensional)
- Re : Numero de Reynolds (adimensional)
- D_i : Diámetro interno (m)
- ε : Rugosidad paredes de tubería (m)

1.4.5.3 Diagrama de Moody.

El método más comúnmente utilizado para encontrar el valor del factor de fricción es mediante el diagrama de Moody, mismo que ilustra al factor de fricción f vs el número de Reynolds Re acompañado de una serie de curvas paramétricas que relacionan la rugosidad relativa ε/D , dichas curvas son el resultado de datos experimentales de L.F. Moody. [14]

En el **Anexo 1** se presenta el diagrama de moody a una mayor escala para su uso.

1.4.5.4 Rugosidad absoluta.

Se define a la rugosidad absoluta como una propiedad que caracteriza a un material en específico sea este latón, acero, PVC entre otros [2].

A continuación, se presenta la Tabla 1 y Tabla 2, con los valores de rugosidad absoluta para algunos materiales comunes en tuberías [14] [15]

En el **Anexo 2** se presentas las tablas que se usaron, en este caso específico el de rugosidad absoluta suministrado por la EMAAP-Q.

Tabla 1.Valores de la Rugosidad Absoluta EMAAP-Q.

COEFICIENTES DE RUGOSIDAD ABSOLUTA-FORMULA DE DARCY-WEISBACH.		
Clase de tubería y revestimiento interno	COEFICIENTE K_s (mm)	
	Factibilidad líneas expresas (1)	Diseño detallado líneas expresas (2)
PVC	0.120	0.060
Hierro dúctil y acero cm revestimiento en mortero de cemento	0.240	0.120

Fuente: NORMAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE PARA LA EMAAP-Q. (2009)

Elaborada por: Carrasco

1.4.5.5 Rugosidad relativa.

La rugosidad relativa se define como un parámetro de índole adimensional proveniente del resultado de dividir el valor de la rugosidad absoluta (ε) para el diámetro interno de la tubería. [2]

1.4.5.6 Numero de Reynolds.

El número de Reynolds es la representación de la relación que existe fuerzas viscosas y las fuerzas de inercia que juntamente con otros parámetros adimensionales que están relacionados con los fluidos, un exhaustivo estudio llego a conclusiones de verificación y diferenciación entre un flujo laminar y uno turbulento. [12]

$$Re = \frac{V * D}{\gamma}$$

Ecuación 12 Número de Reynolds

Dónde:

- Re: Numero de Reynolds (adimensional)
- D Diámetro interior de la tubería (m)
- γ Viscosidad Cinemática (m²/s)
- V: Velocidad del fluido (m/s)

A continuación, se presenta la Tabla 3, con los valores del número de Reynolds para diferentes tipos de flujo en tuberías.

Tabla 2.Rangos número de Reynolds

NÚMERO DE REYNOLDS	FLUJO
Re < 2300	LAMINAR
2300<Re<4000	TRANSICIÓN
Re>4000	TURBULENTO

Fuente: Fox & McDonald (1990)

Elaborada por: Carrasco

1.4.6 Tipos de Flujo.

1.4.6.1 Flujo Laminar.

Se habla de flujo laminar al fluido que al atravesar por el interior de la tubería posee velocidades medidas, con esto se logra que el fluido se mueva ordenadamente logrando un desplazamiento en láminas de corriente o capas. [12]

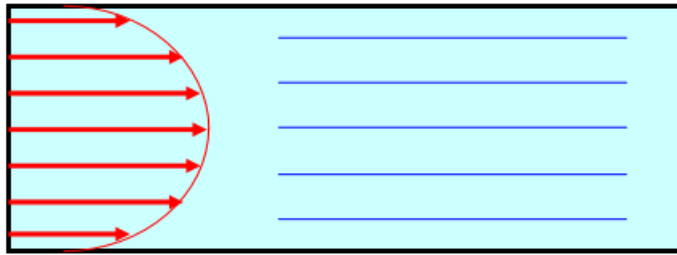


Figura 1.Perfil de velocidades flujo laminar

Fuente: Hidráulica en Tuberías y Accesorios (Válvulas Industriales): Pérdidas, Casos reales de Aplicación y Selección de Bombas Centrífugas (2020).

1.4.6.2 Flujo turbulento.

Se habla de un flujo turbulento al fluido que la atravesar por el interior de la tubería posee velocidades desmesuradas, con esto se logra que el fluido se desplace en todas las direcciones provocando remolinos. [12]

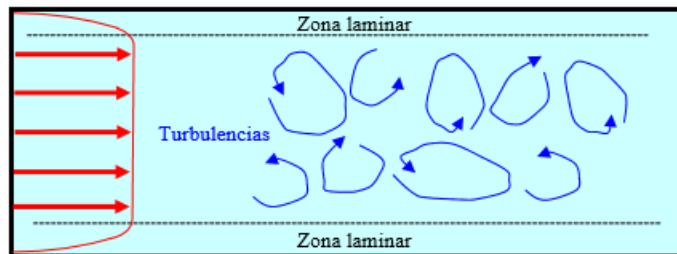


Figura 2.Perfil de velocidades flujo turbulento

Fuente: Hidráulica en Tuberías y Accesorios (Válvulas Industriales): Pérdidas, Casos reales de Aplicación y Selección de Bombas Centrífugas (2020).

1.4.6.3 Flujo en transición.

El flujo en transición es el que cuenta con cambios intermitentes de la dirección del fluido este tipo de fluido es la fase de transición entre turbulento y laminar [9]

1.4.7 Perdidas por accesorios.

Las pérdidas por accesorios se presentan debido a cambios bruscos en la dirección del fluido, para conocer estos cambios es necesario tener conocimientos tanto de la longitud

equivalente, así como de su factor k que se encuentra en función del factor de fricción y su longitud equivalente [6]

Unos de los mejores métodos para evaluar las pérdidas por accesorios es determinar un valor k global (coeficientes de resistencia) así como también de las caídas de presión. Se lo determina a través de la ecuación de Cengel et al. [12]

$$h_{acc} = k \frac{V^2}{2 * g}$$

Ecuación 13 Cengel et al. Ecuación pérdida por accesorios

Dónde:

- h_{acc} : Pérdidas por accesorios.
- k : Coeficiente de pérdida local (adimensional).
- g : Gravedad (m/s^2).
- v : velocidad del fluido (m/s).

1.4.7.1 Longitud Equivalente.

La longitud equivalente se encuentra en tablas o catálogos que presentan valores ya determinados sobre coeficientes. [13]

Para el cálculo de la resistencia expresada en longitud equivalente se debe determinar el factor de fricción, se utiliza la ecuación de Swamme. [12]

$$k = f \left(\frac{Le}{D} \right)$$

Ecuación 14 coeficiente de pérdidas

Dónde:

- k : Coeficiente de pérdida local (adimensional).
- f : Factor de fricción.
- Le/D : Resistencia de accesorios en longitud equivalente

A continuación, se presenta la Tabla 4, Resistencia de accesorios expresada en longitud equivalente

Tabla 4. Resistencia de accesorios expresada en longitud equivalente

ACCESORIOS	Le/D
Válvula de globo (abierta por completo)	340
Válvula de ángulo (abierta por completo)	150
Válvula de compuerta (abierta por completo)	8
3/4 abierta	35
1/2 abierta	160
1/4 abierta	900
Válvula de verificación tipo giratorio	100
Válvula de pie tipo bola	150
Válvula de mariposa (abierta por completo) 2 - 8"	45
10 - 14 pulgadas	35
16 - 24 pulgadas	25
Válvula de pie (tipo disco vástago)	420
Válvula de pie (tipo disco de bisagra)	75
Codo estándar a 90°	30
Codo 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Té estándar con flujo directo	20
Con flujo en ramal	60
Uniones	1

Fuente: Crane (1992)

Elaborada por: Carrasco

1.4.8 Tipos de accesorios.

1.4.8.1 Ampliación súbita.

La ampliación súbita es un accesorio utilizado para aumentar la sección transversal en un sistema de tuberías llevándolo de una sección menor a una mayor, en esta ampliación súbita se logra que la velocidad del flujo caiga abruptamente provocando turbulencias, lo que se traduce a una pérdida de energía. [13]

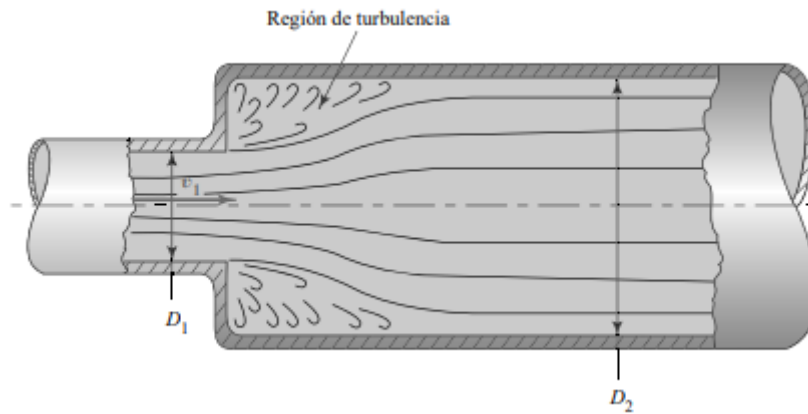


Figura 3.Ampliación súbita.

Fuente: Mercancía de fluido Mott. (2015).

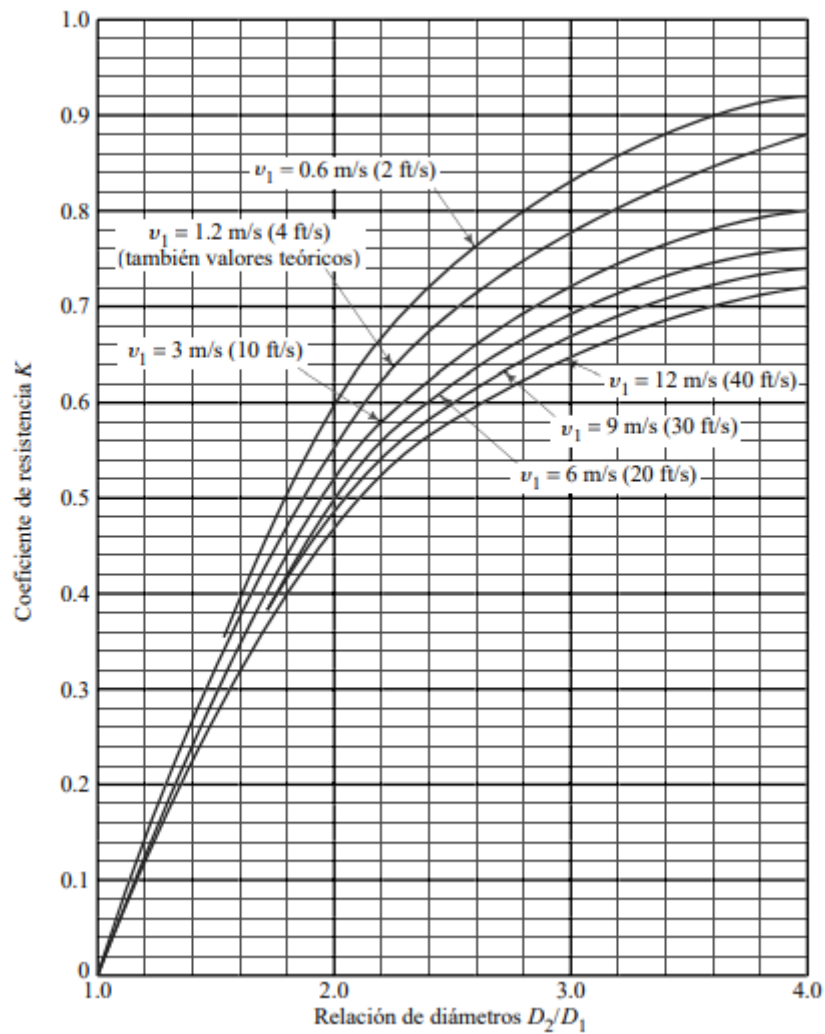


Figura 4.En la siguiente figura se presenta un ábaco para encontrar el valor de coeficiente de resistencia k teniendo en cuenta las relaciones de Diámetros existentes en la ampliación súbita.

Fuente: Mercancía de fluido Mott. (2015).

1.4.8.2 Ampliación gradual.

La ampliación gradual es un accesorio que se usa en algunos sistemas de tuberías para aumentar la sección de un sistema de tuberías, esta transición de secciones se da de una manera progresiva, lo que da como resultado que se produzca perdidas de energía menores que en una ampliación súbita. [13]

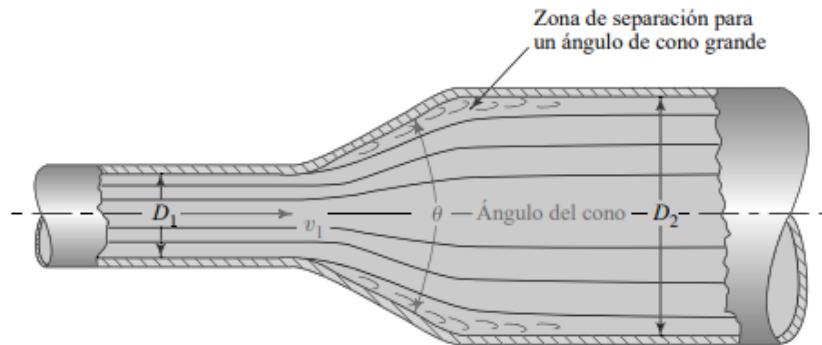


Figura 5. Ampliación gradual.

Fuente: Mercancía de fluido Mott. (2015).

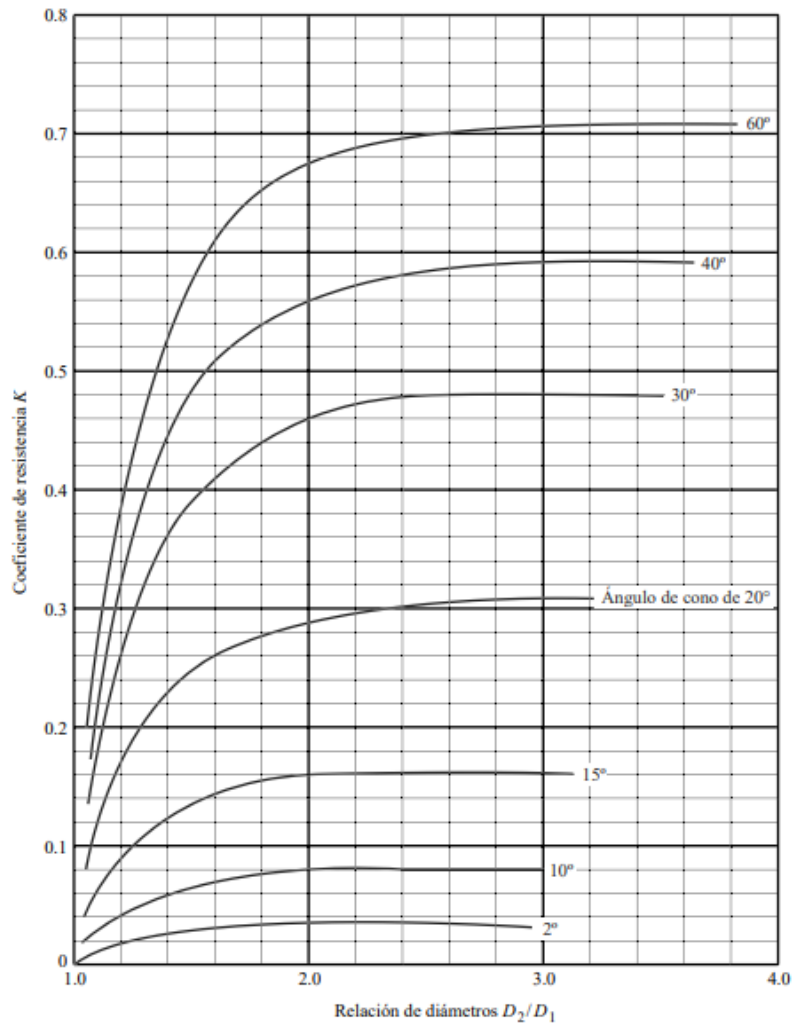


Figura 6. En la siguiente figura se presenta un ábaco para encontrar el valor de coeficiente de resistencia k teniendo en cuenta las relaciones de Diámetros existentes en la ampliación gradual.

Fuente: Mercancía de fluido Mott. (2015).

1.4.8.3 Contracción súbita.

La contracción súbita es el accesorio que nos permite disminuir la sección de un sistema de tuberías de manera abrupta produciendo pérdida de energía y generando turbulencias y aumento en la velocidad del fluido. [13]

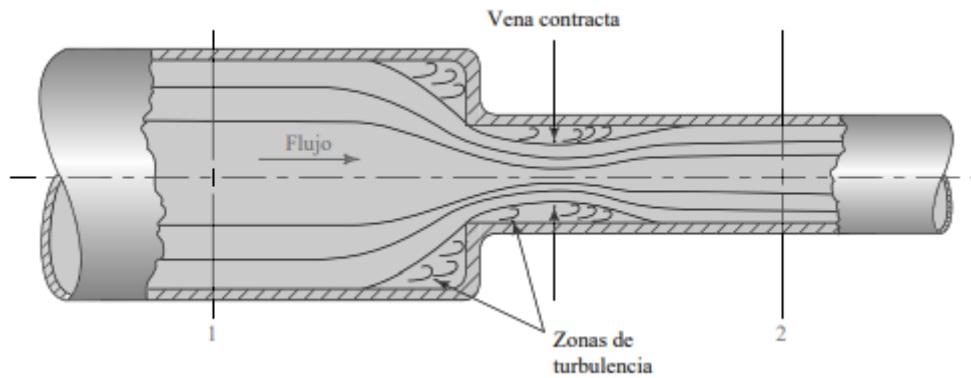


Figura 7. Contracción súbita

Fuente: Mercancía de fluido Mott. (2015).

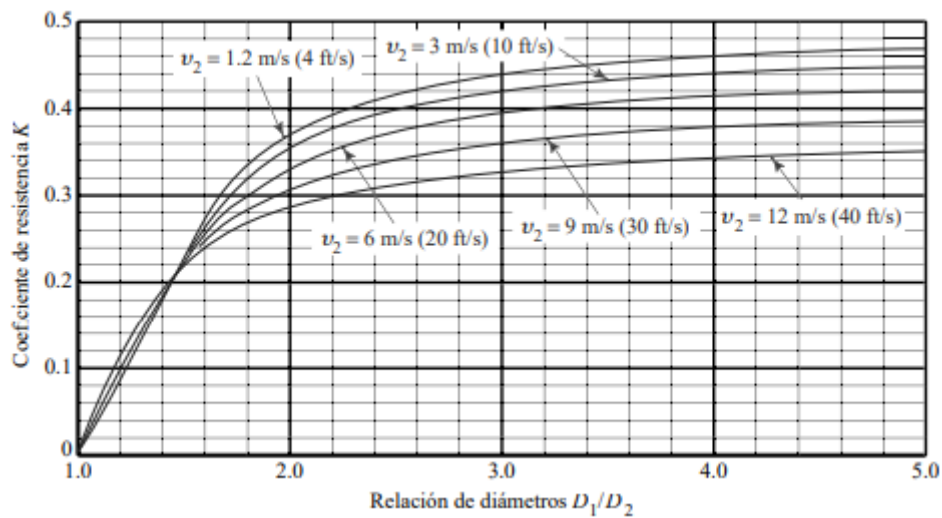


Figura 8. En la siguiente figura se presenta un ábaco para encontrar el valor de coeficiente de resistencia k teniendo en cuenta las relaciones de Diámetros existentes en la contracción súbita.

Fuente: Mercancía de fluido Mott. (2015).

1.4.8.4 Contracción gradual.

La contracción gradual es la encargada de disminuir de manera progresiva la sección de una tubería, produciendo pérdidas de energía y aumento de la velocidad de flujo. [13]

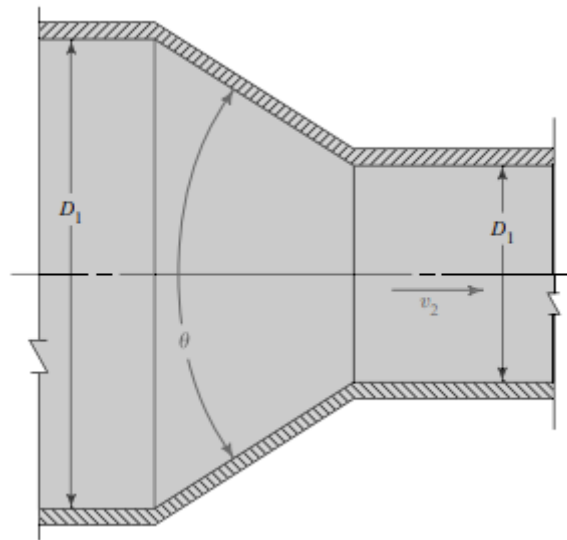


Figura 9. Contracción gradual

Fuente: Mercancía de fluido Mott. (2015).

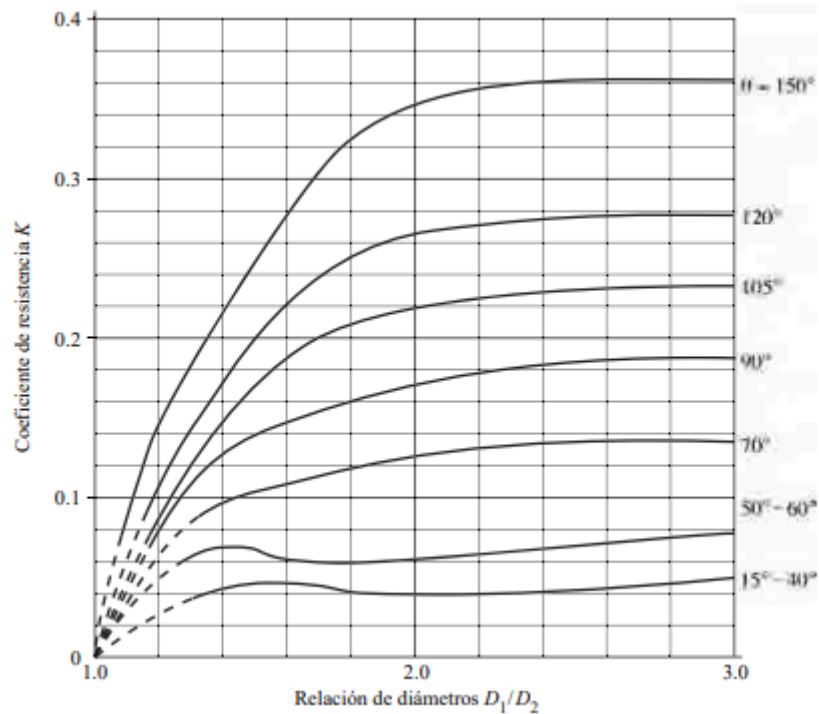









Figura 10. En la siguiente figura se presenta un ábaco para encontrar el valor de coeficiente de resistencia k teniendo en cuenta las relaciones de Diámetros existentes en la contracción gradual.

Fuente: Mercancía de fluido Mott. (2015).

1.4.8.5 Accesorios varios.

Entre otros principales accesorios se encuentran Tees, codos, bifurcaciones, encargadas de cambiar la dirección del flujo para cumplir con la necesidad y localización de un sistema de tuberías. [9]

Tabla 5. Accesorios comunes.

Accesorios para tuberías		
Accesorio	Medida pulgadas	IMAGEN
Tee	3/4	
Codo 90	3/4	
Codo 45	3/4	
Yee roscable	3/4	
Reducción brusca 3/4 - 1/2	N	
Reducción gradual 1- 3/4	N	
Unión universal	3/4	

Fuente: Mercancía de fluido Mott. (2015).

Elaborada por: Carrasco

1.4.8.6 Válvulas.

Válvula se define como una abertura variable capaz de controlar la cantidad de fluido que fluye a través de un sistema entre las principales válvulas se tiene válvula de globo, compuerta móvil, bola etc., una de sus principales funciones es la de regular el fluido en un sistema y proteger al mismo, se las utiliza para una mejor operación de las condiciones hidráulicas esto lo realizan a través de control o inspección de caudales, presión etc. Al no saber la operación y funcionamiento específico de una válvula se puede generar daños en el sistema. [12]

Tabla 6. Tipos de válvulas.

Válvula globo	El nombre de esta válvula se debe a que en su interior posee una esfera la cual se abre o cierra en su totalidad cuando se logra un giro de 90° del vástago, las válvulas globo proporcionan un alto grado de hermeticidad cuando se encuentran en su posición de cierre, dependiendo del uso que este planeado dar a estas válvulas se las puede encontrar en una presentación manual o eléctrica. [12]
Válvula compuerta	Las válvulas de compuerta cumplen con la función de detener completamente un flujo en ambas direcciones, algo que caracteriza a estas válvulas es que permiten un paso sin ningún tipo de obstrucción al fluido cuando estas se encuentran abiertas en su totalidad. No deberán usarse como válvulas reguladoras ya que pueden sufrir daños dependiendo de la velocidad de flujo a través de la válvula, entre los principales daños que se pueden ocasionar. [2]
Válvula check.	Válvula check o válvula de retención, como su nombre lo indica esta válvula no permite que fluido fluya en ambas direcciones, toma un solo sentido evitando el flujo inverso, su funcionamiento implica que al parar o detener el fluido el disco o bola interior que posee y esta válvula se asienta y la cierra, cuando el cierre se produce demasiado pronto se presenta el golpe de ariete. [12]

Fuente: Hidráulica en tuberías y accesorios.

Elaborada por: Carrasco

1.4.9 Equipo e instrumentos.

1.4.9.1 Banco hidráulico Cussons P6100.

El banco hidráulico Cussons P6100 se utiliza para realizar experimentos en el campo de la mecánica de fluidos, debido a su construcción y configuración en los experimentos que se realizan se obtiene datos cercanos a los teóricos.

Este banco hidrodinámico está conformado por un marco de acero que sostiene una placa de plástico reforzado con fibra de vidrio y madera, cuyo objetivo es proporcionar un área de trabajo para el montaje de aparatos experimentales. Se sustenta sobre un sistema de ruedas, para su fácil manejo. El banco hidráulico Cussons P6100, posee un tanque de medición volumétrica que permite aforar caudales, cuenta con una segmentación escalonada con una fracción inferior de 10 litros y una superior de 35 litros. La descarga del tanque de medición se realiza mediante un tanque de sumidero de fibra de vidrio de 120 litros de capacidad, mediante una tubería de PVC la cual cuenta con una válvula de esfera de acción rápida. En el extremo de descarga del canal del dique se sitúa un vertedero en forma de V de plástico acrílico con una báscula calibrada en l/min, con el fin de realizar lecturas continuas del caudal.

La placa base cuenta una bomba centrífuga fija marca Stuart Turner, que es operada por un motor eléctrico y consigue funcionar de forma fija o variable. Esta cede agua a la salida, en la superficie de trabajo para el enlace a los experimentos particulares. El flujo está controlado por una válvula de latón y circula a través de una tubería transparente de succión. Los puntos de toma de presión se localizan en la succión de la bomba, la entrega y en un punto anterior al experimento, para la medición, se suministra un medidor de presión con escala de 0-4 barómetros, conectado a un interruptor giratorio, junto con un medidor de succión de la bomba.



Figura 11.Banco hidráulico presente en el laboratorio docente de hidráulica Escuela Politécnica Nacional (1) salida para conexión al accesorio adaptable $\frac{3}{4}$ ", (2) válvula regulación de caudal, (3) rotámetro. (4) Bomba marca Stuart Turner, (5) tanque de evacuación del fluido, (6) tanque reservorio

Fuente: Elaborado por Carrasco

1.4.9.2 Portable ultrasonic Flow meter.

Este equipo portátil permite una toma de magnitudes de caudal mucho más exactas que rotámetro incorporado por el equipo Cussons [4]

- El medidor de caudal por ultrasonido puede medir tasas de flujo en tuberías de plástico y metal Los transmisores de alta temperatura pueden operar en varios rangos de temperaturas. [4]
- Ideal para mediciones de velocidad de flujo en tuberías como acero al carbono, acero inoxidable, hierro fundido, hierro dúctil, hierro, cobre, PVC, aluminio, fibra de asbesto y vidrio. [4]



Figura 12. Medidor ultrasónico de caudal presente en los laboratorios de Hidráulica EPN, (1) Transductores medianos, (2) cables de señal 16.4 pies para conectar transductores, (3) medidor de flujo ultrasónico portátil, (4) Cargador de batería.

Fuente: Carrasco

1.4.9.3 Manómetro digital Cussons series 490.

Se trata de un manómetro digital de mano que puede trabajar en 6 escalas diferentes con una exactitud del $\pm 0.5\%$ en la medición de presiones. [3]



Figura 13. Manómetro digital Cussons 490 presente en los laboratorios de Hidráulica EPN.

Fuente: Carrasco

1.5 Errores de cálculo en las pérdidas por fricción y por accesorios.

En toda experimentación se necesita cuantificar el error proveniente de la comparación de los resultados teóricos con los experimentales ya que existen factores que afectan la toma de mediciones. [16]

Entre los errores más comunes que se pueden cometer dentro de laboratorio existen:

- Errores de instrumentación: se presentan por aparatos defectuosos o que ya cumplieron su vida útil dentro del laboratorio, también por su mala calibración al momento de su uso. [16]
- Errores de tipo humano: se presentan por una mala cuantificación de medidas, producto de un mal estado de ánimo, cansancio limitaciones de índole personal. [16]
- Errores de método: se presentan por desconocer el correcto uso de los aparatos de medida dentro del laboratorio lo que produce alteraciones en la medición de magnitudes físicas. [16]

1.5.1 Procedimiento del cálculo de error porcentual.

$$E\% = \frac{\text{Valor teórico} - \text{valor experimental}}{\text{Valor experimental}} * 100$$

Ecuación 15 Error porcentual

Dónde:

- $E\%$: Error porcentual.

1.6 Estudios previos y Estado del Arte.

Los estudios que se han realizado sobre accesorios para un banco hidráulico se los ha realizado principalmente en Ecuador y Latinoamérica ya que al ser paises que no cuentan con una economía que permita la compra de equipos por el alto costo que esto implica. De acuerdo con la revisión bibliográfica sobresalen tesis, y trabajos de carácter experimental los cuales atribuyen a los conocimientos de funcionamiento y diseño de accesorios que puedan ser adaptables a un banco hidráulico.

En la tesis realizada por la Universidad Católica del Ecuador sobre **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA LA DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS Y EN ACCESORIOS, PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA PUCE”** se menciona la necesidad de implementación de un equipo que permita cuantificar las pérdidas de energía en tuberías y accesorios, así como también que los ensayos realizados por pérdidas de energía beneficiarían a docentes y estudiantes, realizando ensayos que demuestran la pérdida de carga que produce un fluido en tuberías y accesorios, este trabajo incluye en sus estudios los elementos más típicos que pueden encontrarse en sistemas de tuberías que son montados en la vida real a su vez también dispone de instrumentos de medida como son manómetros y rotámetros para cuantificar lagunas magnitudes de presión y caudal. [8].

El estudio realizado por la universidad de Girardot sobre **“DISEÑO Y MONTAJE DEL EQUIPO HIDRÁULICO PARA LA EXPERIMENTACIÓN DE PERDIDAS POR FRICCIÓN, PERDIDAS LOCALIZADAS”** menciona lo siguiente: que además de las pérdidas de energía producto de la fricción, existe otro tipo de pérdidas "menores" asociadas con los problemas en tuberías. Se cree que tales pérdidas suceden localmente en el disturbio del flujo. La presencia de accesorios como: llaves de paso, ensanchamientos, codos, estrechamientos, tees, etc. Provocan pérdidas de carga adicionales en toda instalación, por causar variación de la dirección o modificar la velocidad lineal de desplazamiento del flujo. [1]

A la par se cita el proyecto de grado realizado en la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE de SANTIAGO DE CALI** titulado **“DISEÑO PARA CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN UN SISTEMA DE TUBERÍAS”** cuyo objetivo principal es desarrollar el diseño para la elaboración de un banco de pruebas para establecer las pérdidas de carga o su equivalente en energía en un sistema de tuberías. El banco permitirá conocer y verificar las pérdidas a que se presentan en tuberías de diferente material y diámetros, así como las pérdidas ocasionadas por los accesorios instalados en dichas tuberías. [5]

El diseño del equipo está enfocado a la determinación de pérdidas provocadas por los elementos utilizados en redes hidráulicas comunes en edificaciones, adoptando elementos comercialmente disponibles. En los estudios antes mencionados se dan pautas las cuales fueron consideradas para realizar esta investigación experimental, con el fin de obtener resultados reales de pérdidas de energía para posteriormente compararlos con los valores teóricos y conocer su rango de error, y finalmente plantear posibles recomendaciones que

ayuden a obtener mejores resultados en un posterior estudio y así garantizar un buen funcionamiento de sistemas de redes hidráulicas. [5]

TABLA 7. Estudios previos y estado del arte

Tema	Autores	Universidad	Objetivo
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA LA DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS Y EN ACCESORIOS	<ul style="list-style-type: none"> • ALEXIS JESÚS HIDALGO CRUZ • DARÍO FERNANDO MORALES JARAMILLO 	<ul style="list-style-type: none"> • LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA PUCE 	<p>El objetivo de este trabajo de titulación es la construcción de un equipo que determine las pérdidas por fricción tanto en tuberías como en accesorios, así como también la elaboración de una guía que pueda ser usada en el laboratorio.</p>
DISEÑO Y MONTAJE DEL EQUIPO HIDRÁULICO PARA LA EXPERIMENTACIÓN DE PERDIDAS POR FRICCIÓN, PERDIDAS LOCALIZADAS)	<ul style="list-style-type: none"> • ORGE LUIS BARRETO RIVERA • HENRY ALEXANDER BARRAGÁN • JOSÉ LUIS TRUJILLO VARGAS. 	<ul style="list-style-type: none"> • GIRARDOT. 	<p>Como objetivo general este trabajo presenta el diseño y construcción de un equipo hidráulico que permita realizar análisis de pérdidas de energía por fricción y pérdidas en accesorios, además de la generación de un material que brinde soporte para las prácticas que se realizan en el laboratorio de hidráulica.</p>

<p>DISEÑO PARA CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN UN SISTEMA DE TUBERÍAS)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • JORGE ANDRÉS PARRA DURÁN • LUIS GABRIEL VELASCO MARÍN. 	<ul style="list-style-type: none"> • UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE-CALI 	<p>Elaborar un banco hidráulico mismo que permita el análisis de pérdida de carga dentro de un sistema de tuberías.</p>
<p>“ ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA • POR FRICCIÓN Y ACCESORIOS EN TUBERÍAS HDPE</p>	<ul style="list-style-type: none"> • PASCO MONTOYA JULIO CÉSAR 	<ul style="list-style-type: none"> • UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA – PERÚ. 	<p>Implementación de un banco de pruebas para analizar perdidas de energía en tuberías de ½”, ¾” 1”, y 1/1/2” además de contar con los accesorios más comúnmente usados en instalaciones hidráulicas, esta investigación concluye que las mayores pérdidas se dan en las tuberías de ½” y la de menos en las de 1 ½”.</p>
<p>BANCO DE PRUEBAS PARA ENSAYOS DE PERDIDA DE CARGA EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS”</p>	<ul style="list-style-type: none"> • YAMBOMBO GUANUTAXI, JAVIER GUSTAVO 	<ul style="list-style-type: none"> • UNIVERSIDAD CENTRAL DE ECUADOR, QUITO - ECUADOR 	<p>El diseño e implantación de un banco de pruebas para análisis hidráulico de perdida de cargas, Se realiza un estudio por pedidas de fricción y perdidas en accesorios se implementa en una sola línea más de dos accesorios logrando un costo más bajo de la inicial.</p>

Fuente: Estado del arte diseño Tics.

Elaborada por: Carrasco

2 METODOLOGÍA

En este capítulo se explica con claridad el proceso mediante el cual se desarrolló el accesorio adaptable al banco hidráulico Cussons P6100 para el estudio de pérdidas de energía en tuberías, para lograr los objetivos que fueron inicialmente planificados dentro del trabajo de integración curricular.

2.1 Análisis de información

Las diversas fuentes que se optaron para conseguir los objetivos propuestos en el trabajo de integración curricular fueron libros, artículos científicos, tesis de grado, manuales operativos y un integró recurso bibliográfico de índole virtual como física acerca de la pérdida de energía en tuberías y accesorios, para comprender de una mejor manera sus principios y establecer un óptimo funcionamiento el conjunto de accesorios que se adaptan al banco hidráulico Cussons P6100, como se menciona en el estado del arte al comparar varios accesorios construidos en diversos centros de educación superior se determina que las tuberías tienen un diámetro de entre $\frac{1}{2}$ " hasta 1" cumpliendo con los parámetros de velocidad interna del fluido en tuberías que deberá estar comprendido entre 0.5 m/s hasta los 4.5 m/s, además para el diseño se opta por un accesorio adaptable que contenga 6 trayectorias y puedan analizarse por separado, para así facilitar la comprensión de los fenómenos ocurridos en la pérdida de energía en tuberías y accesorios.

2.2 Diseño del accesorio adaptable al banco hidráulico Cussons P6100

La fase de diseño del accesorio adaptable al banco hidráulico se llevó a cabo una vez analizada la mejor opción de diseño, misma que fue la de 6 trayectorias cada una con un funcionamiento independiente una de la otra y teniendo en su haber la mayor cantidad de accesorios comunes que son utilizados en instalaciones hidráulicas, para un análisis completo de pérdida de energía en tuberías y accesorios.

Con la revisión de información se determina que las tuberías serán de Hierro y PVC con diámetros de $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ " respectivamente, en cuanto a las longitudes de las trayectorias se definieron principalmente longitudes que estén dentro de los valores de 1 metro hasta los 3 metros ya que en la tesis "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA LA DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS Y EN ACCESORIOS**" señala en una de sus conclusiones que mientras mayor es la longitud de

la trayectoria habrá una mayor pérdida de energía por fricción como se tiene contemplado el uso de un tablero de madera tríplex de 2.4 m la longitud de las trayectorias será de 1.8 m libres , a su vez también se concluye que la cantidad de accesorios en una trayectoria afecta directamente a las pérdidas localizadas en accesorios pero que estas trayectorias con más accesorios se asemejan mucho más a las instalaciones hidráulicas que se analizan en la vida real. Se contempla un presupuesto abarque las 6 trayectorias que fueron planteadas para su estudio experimental dentro del laboratorio. [8]

Para un mayor conocimiento del presupuesto gastado en la construcción del accesorio adaptable al banco hidráulico Cussons P6100 se puede revisar el **inciso 2.6**

2.2.1 Proceso para el diseño del accesorio adaptable al banco hidráulico Cussons P6100

La creación del accesorio adaptable se dio mediante un proceso iterativo que consistía en tomar un caudal inicial que iba aumentando progresivamente hasta alcanzar el máximo permitido por la bomba que pertenece al banco hidráulico hasta poder conseguir las curvas de "altura de bombeo vs caudal", estas curvas cambian conforme se modifica la geometría de las trayectorias y el tipo de accesorios que contengan, el accesorio adaptable consta de seis trayectorias que fueron analizadas de manera independiente para cuantificar la pérdida de energía que se producía en cada una de estas

Este proceso de medición de las pérdidas de energía se lo realizó mediante un manómetro digital que cuantifica la caída de presión entre dos puntos de la trayectoria analizada este manómetro está mencionado en el **apartado 1.4.9.3.**

Se empleó una bomba tipo centrífuga y un tanque de almacenamiento para la succión, que forman parte del equipo Cussons P6100 mismos que son mencionados en el **apartado 1.4.9.1.**

2.2.2 Selección del diseño para el accesorio adaptable.

Para la selección del diseño óptimo se abarcaron varias propuestas hasta tener un diseño final que funcione adecuadamente con los parámetros hidráulicos adecuados en base a la teoría de pérdidas de energía en tuberías, para optar el mejor diseño se tomaron en cuenta parámetros como velocidad, tipo de flujo, caudal, número de Reynolds, coeficiente de fricción, coeficiente de rugosidad, diámetro interno, cantidad y tipo de accesorios y longitud en tramos de tubería.

las tablas de los diámetros comerciales y se opta por una tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgada con un diámetro interno de 18.85mm.

- Tubería de PVC de $\frac{3}{4}$ ".
- Tubería de PVC de $\frac{1}{2}$ ".
- Tubería de hierro galvanizado de $\frac{3}{4}$ ".

2.2.4 Elección de accesorios.

Para poder seleccionar los accesorios que se implementarían se tomó en cuenta los accesorios más comunes y utilizados en instalaciones hidráulicas y que son implementados en la vida real.

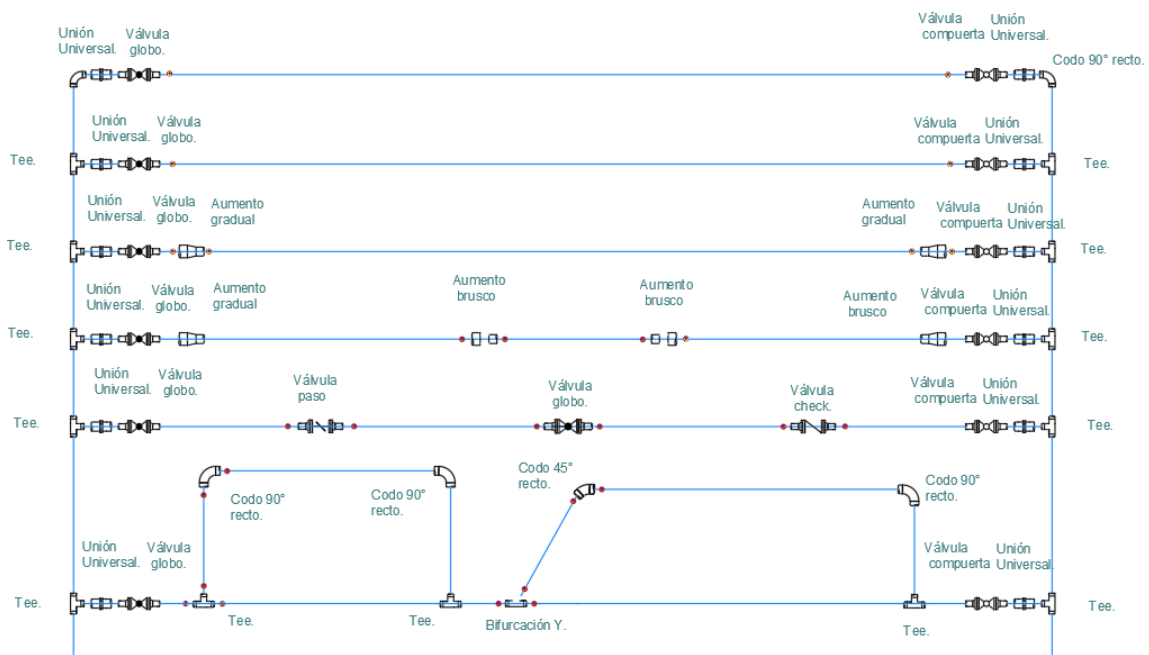


Figura 15. Accesorios que conforman la red.

Fuente: Elaborado por Carrasco.

En el plano del **Anexo 3** se pueden apreciar de mejor manera los accesorios en cada trayectoria, así mismo se presenta una ampliación de los tramos en el **inciso 2.4**

2.2.5 Selección de parámetros de diseño para la red de accesorios.

Para la selección de parámetros se tomó en cuenta una temperatura de agua de 20 grados con su respectiva viscosidad cinemática de $0,00000102 \text{ m}^2/\text{s}$, otro de los parámetros a tener en cuenta es el coeficiente de rugosidad absoluta para la fórmula de Darcy-Weisbach se adoptó el valor de 0.060 mm suministrado por la EMAPS Quito. **Tabla 2 del Anexo2**

Para determinar la pérdida de energía tanto en accesorios como por longitud de tubería se optó por la ecuación de Darcy-Weisbach y para la determinación del coeficiente de fricción la fórmula de Swamme. **Ecuación 9, Ecuación 11**

Todos estos valores provienen de la teoría previamente analizada dichos valores se ven reflejados en tablas proporcionadas por las referencias bibliográficas. **Tabla 4 Anexo 2**

2.2.6 Selección de caudal de diseño para la red de accesorios.

En la utilización del banco hidráulico Cussons P6100 se identificó los caudales que se podría utilizar para el diseño como son el caudal mínimo suministrado por la bomba centrífuga Stuart Turner de $0.36\text{m}^3/\text{h}$ y que su vez cumplían a la par con la velocidad de diseño mínima de 0.5 m/s . estos valores fueron tomados como base para formar una curva de operación del sistema ya que los caudales varían hasta los $2.52\text{ m}^3/\text{h}$ dicha curva se ve reflejada una vez se analizaron las pérdidas por fricción y pérdidas por accesorios. En el apartado 3.1.3.

2.3 Procedimiento de cálculo en la red de accesorios adaptables.

Ejemplo de los Elementos analizados en trayectoria 1:

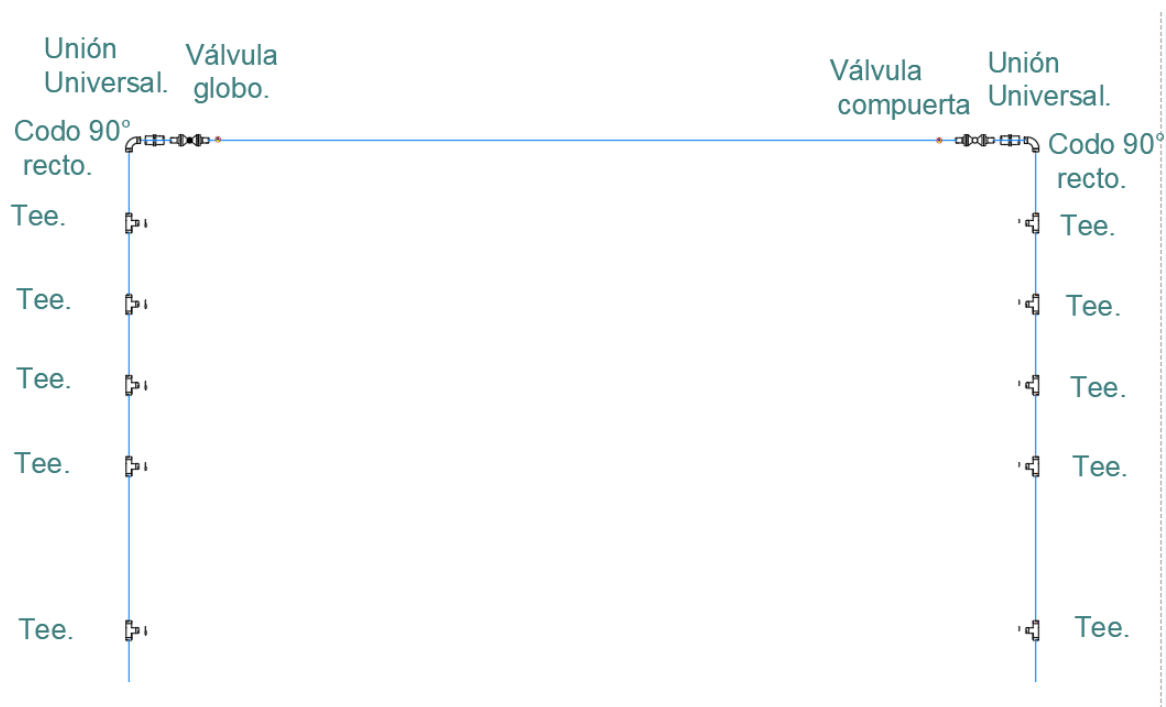


Figura 16.Elementos y trayectorias que conforman la Trayectoria 1.

Fuente: Elaborado por Carrasco.

Para la curva del sistema se emplearon caudales que van desde los 0.36 m³/h (0.0001 m³/s) hasta los 2.52 m³/h (0.0007 m³/s) con incrementos de 0.001 m³/s.

Para esta trayectoria se analizó las pérdidas por fricción en tuberías de hierro galvanizado de ¾" y PVC de ¾", además de los accesorios que forman parte de la trayectoria uno **Figura 28**.

Trayectorias que forman parte el accesorio adaptable al banco hidráulico.

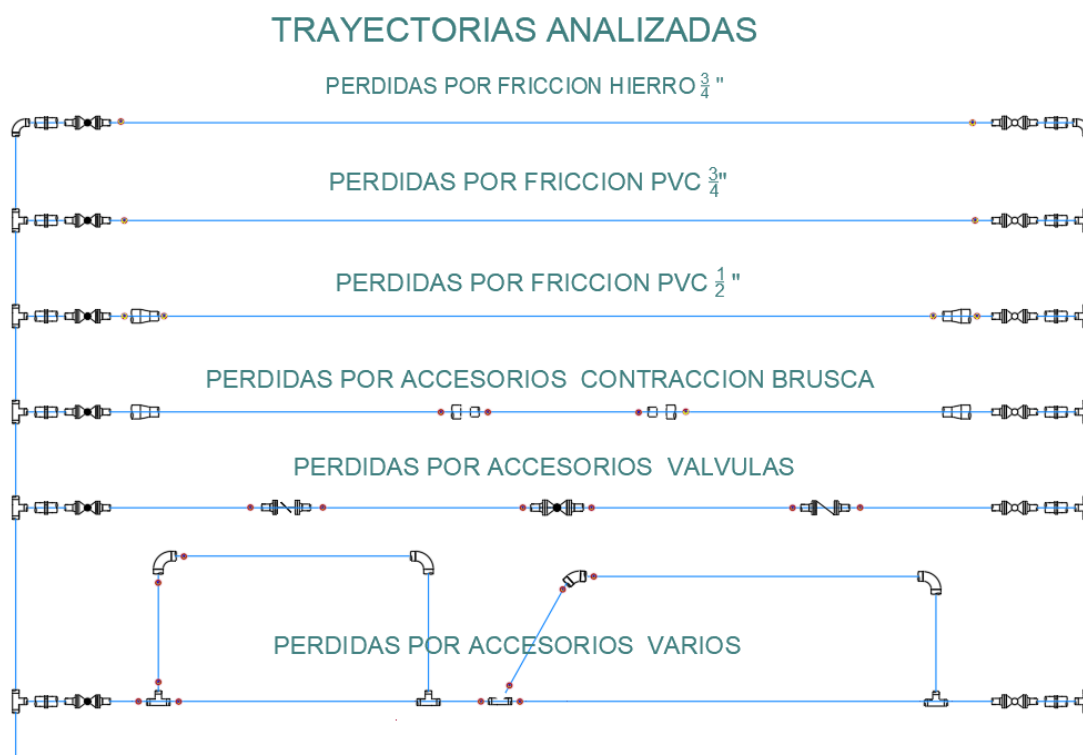


Figura 17.Elementos y trayectorias que conforman el accesorio adaptable al banco hidráulico Cussons P610

Fuente: Elaborado por Carrasco.

- Trayectoria 1: Pérdidas en una trayectoria con tubería de Hierro galvanizado ¾" costa de: Tee ¾", Codo 90° recto ¾", Válvula globo ¾", Válvula compuerta ¾", Unión Universal ¾".

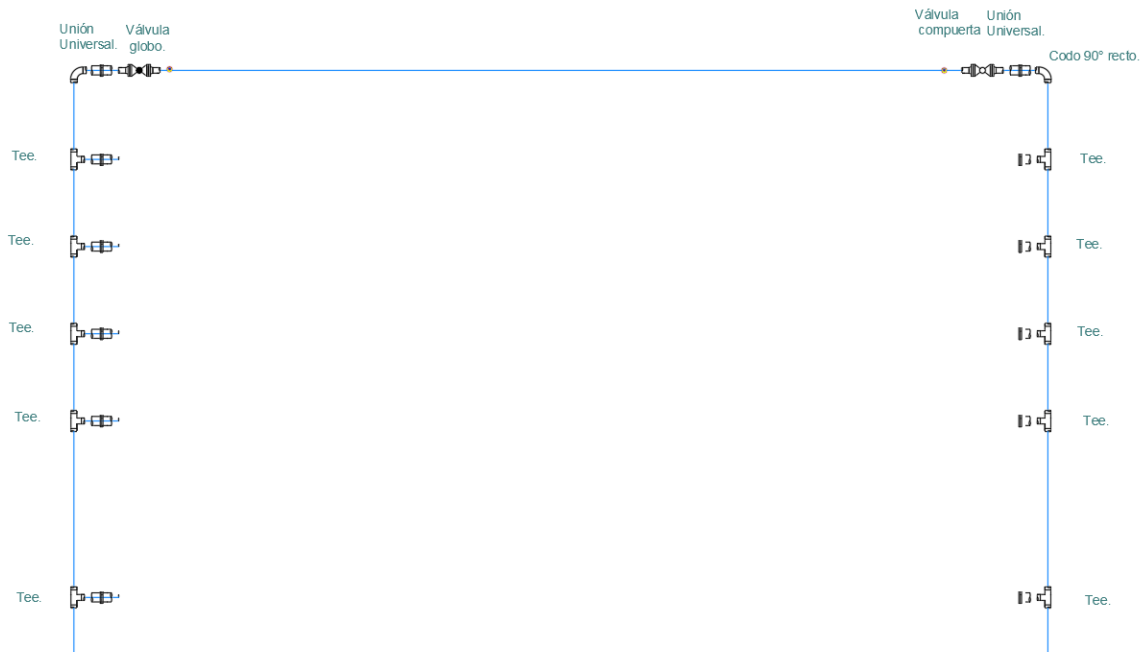


Figura 18.Elementos, accesorios y recorrido que conforman la Trayectoria 1.

Fuente: Elaborado por Carrasco.

- Trayectoria 2: Perdidas en una trayectoria con tubería de PVC $\frac{3}{4}$ " consta de Tee $\frac{3}{4}$ ", Válvula globo $\frac{3}{4}$ ", Válvula compuerta $\frac{3}{4}$ ", Unión Universal $\frac{3}{4}$ ".

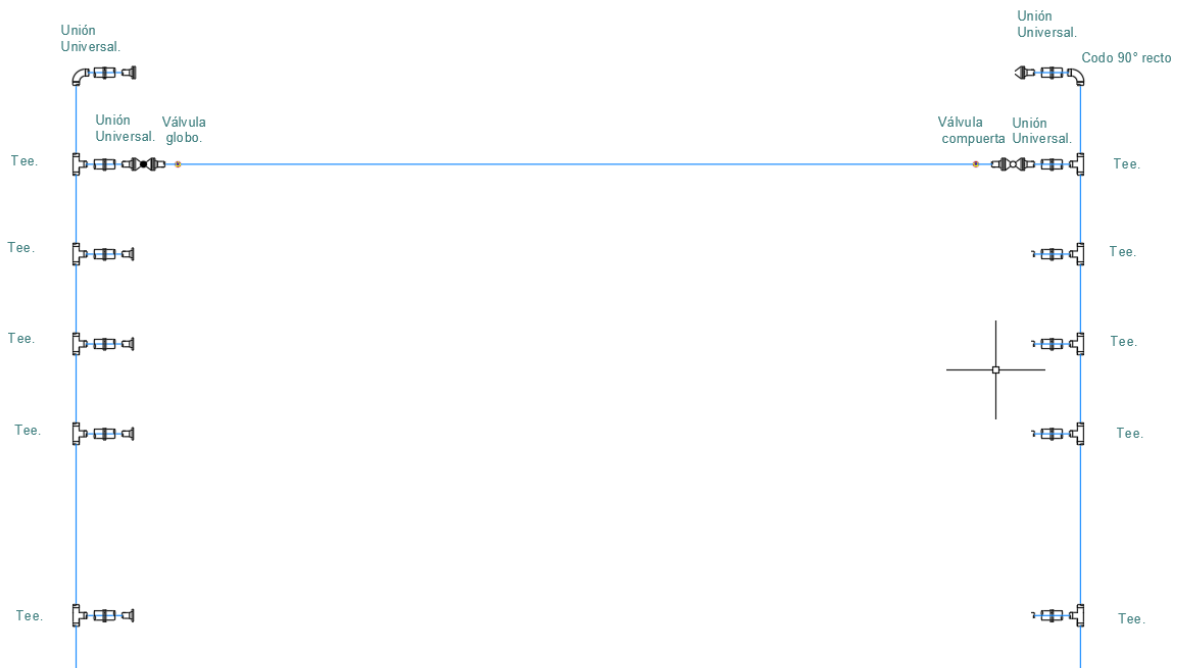


Figura 19.Elementos, accesorios y recorrido que conforman la Trayectoria 2.

Fuente: Elaborado por Carrasco.

- Trayectoria 3: Perdidas en una trayectoria con tubería de PVC 1/2" consta de Tee 3/4", Válvula globo 3/4", Válvula compuerta 3/4", Unión Universal 3/4", Aumento gradual 3/4" a 1/2".

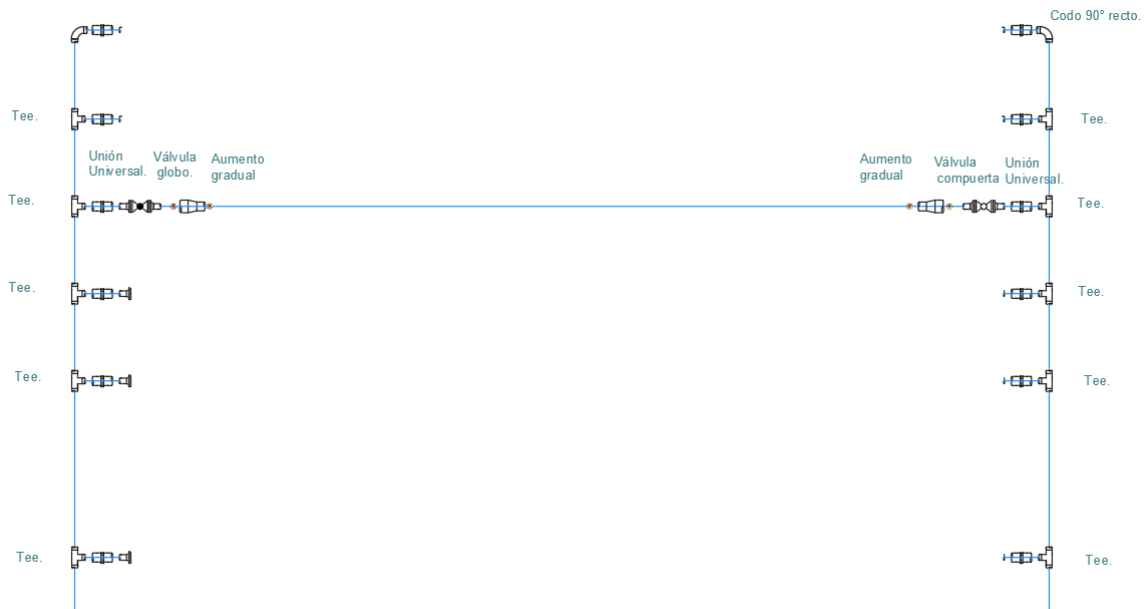


Figura 20.Elementos, accesorios y recorrido que conforman la Trayectoria 3.

Fuente: Elaborado por Carrasco.

- Trayectoria 4: Perdidas en una trayectoria con cambios en el diámetro de tubería "contracción y expansión" consta de Tee 3/4", Válvula globo 3/4", Válvula compuerta 3/4", Unión Universal 3/4", Aumento gradual 3/4" a 1/2", Aumento brusco 3/4" a 1/2".

Fuente: Elaborado por Carrasco.

- Trayectoria 6: Pérdidas en una trayectoria con accesorios comunes tees, codos, bifurcaciones consta de Tee $\frac{3}{4}$ ", Válvula globo $\frac{3}{4}$ ", Válvula compuerta $\frac{3}{4}$ ", Unión Universal $\frac{3}{4}$ ", Bifurcación Y $\frac{3}{4}$ ", Codo 45° curvo $\frac{3}{4}$ ", Codo 90° recto $\frac{3}{4}$ ".

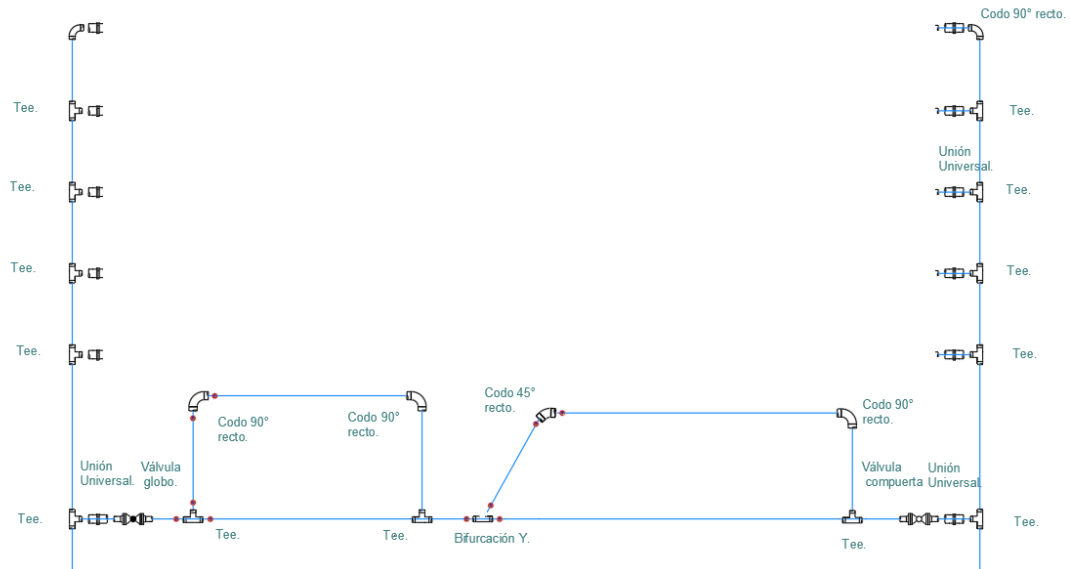
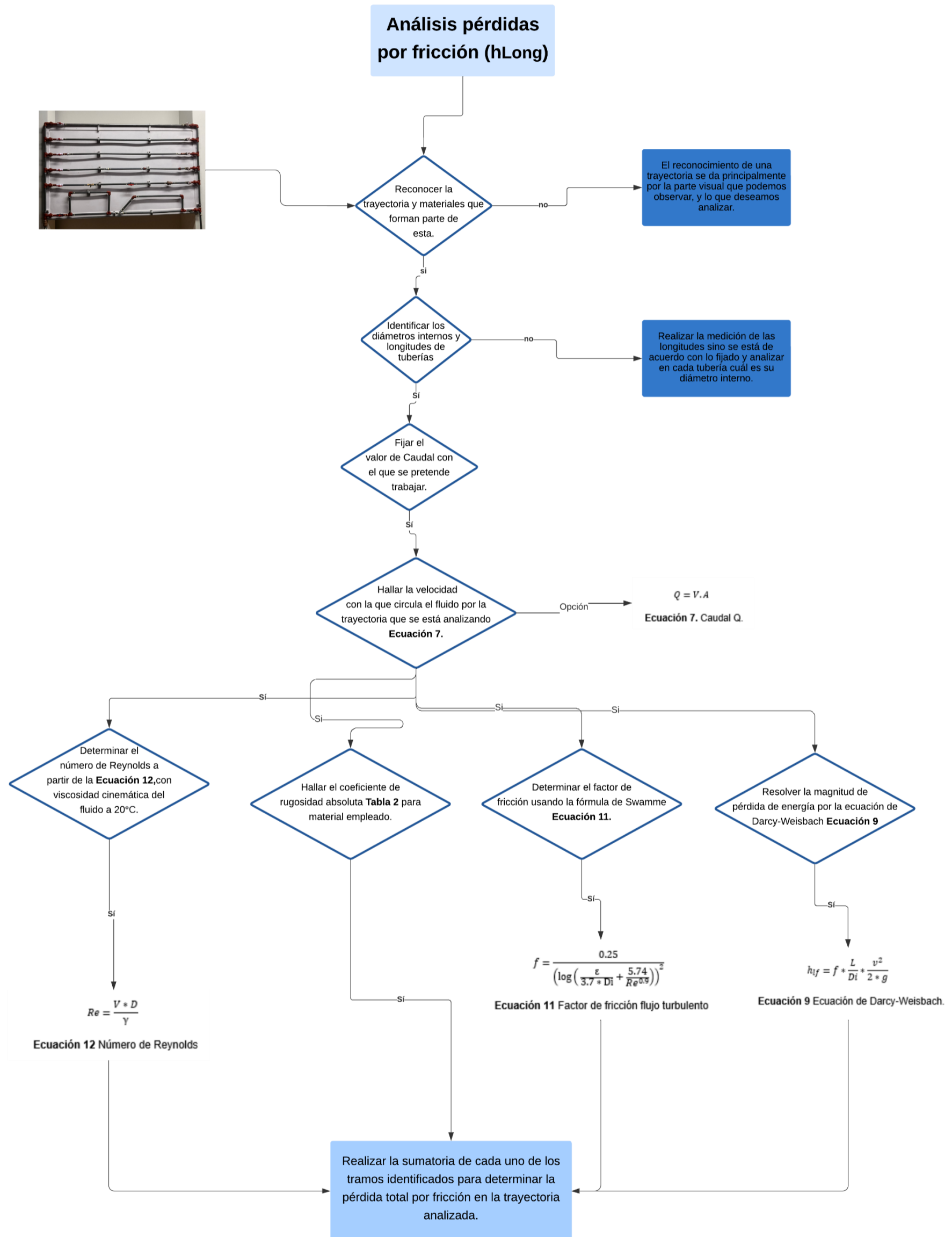


Figura 23. Elementos, accesorios y recorrido que conforman la Trayectoria 6.

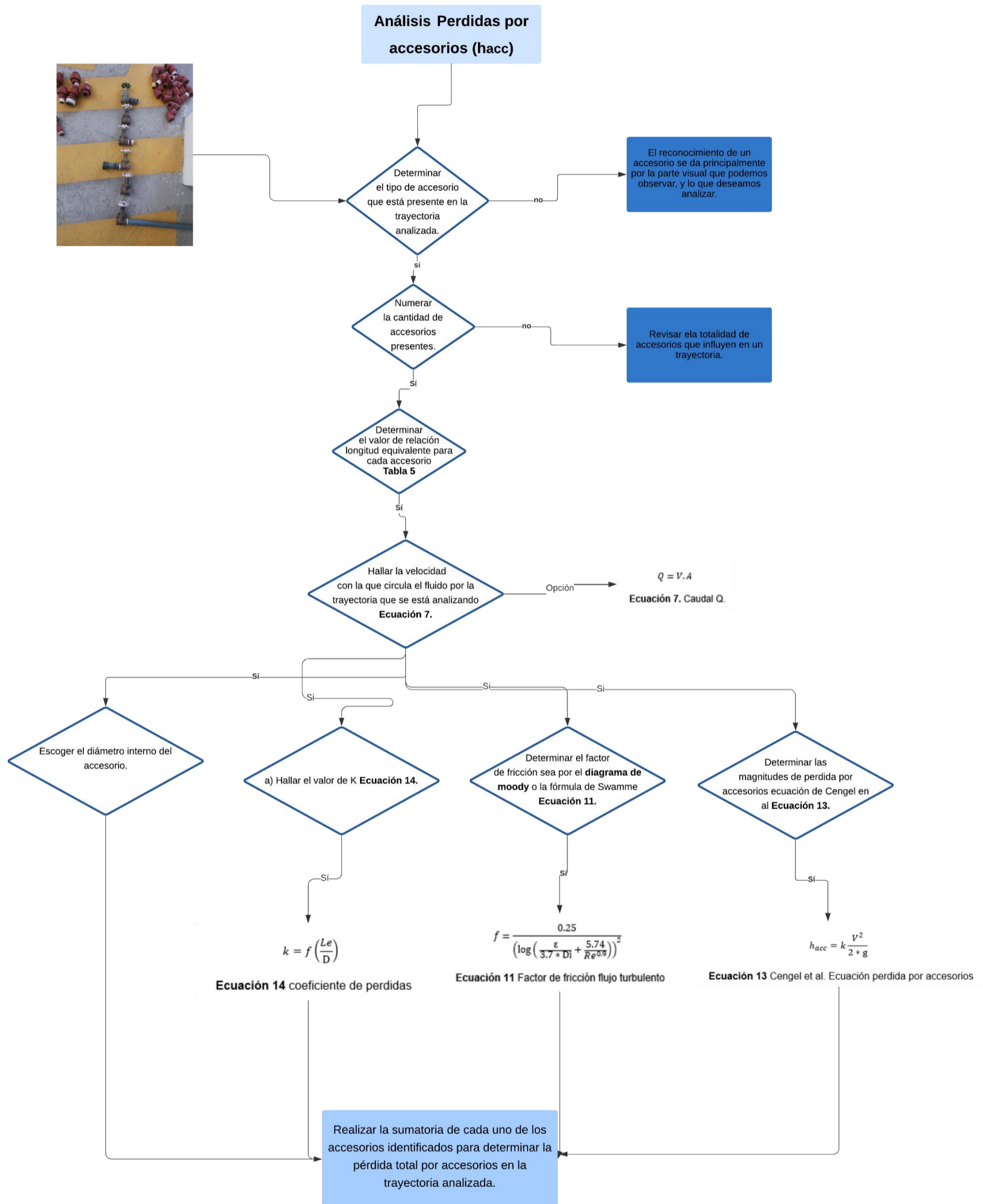
Fuente: Elaborado por Carrasco.

Para una mejor comprensión de como calcular las pérdidas de energía por fricción y localizadas en accesorios se procede a realizar diagramas de flujo sobre cada uno de los procedimientos que fueron realizados.

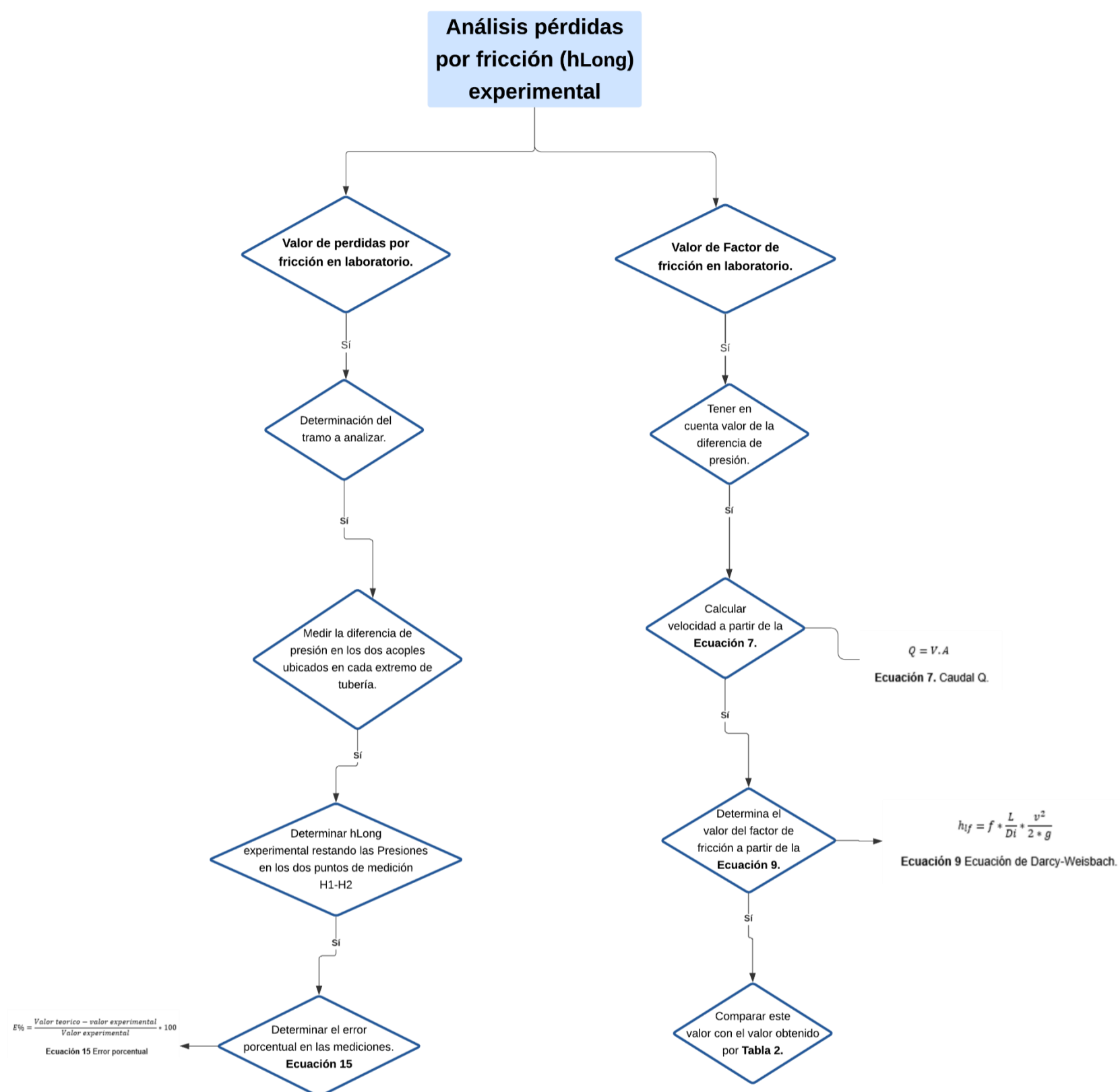
2.3.1 Procedimiento para el cálculo pérdidas por fricción (h_{Long}).



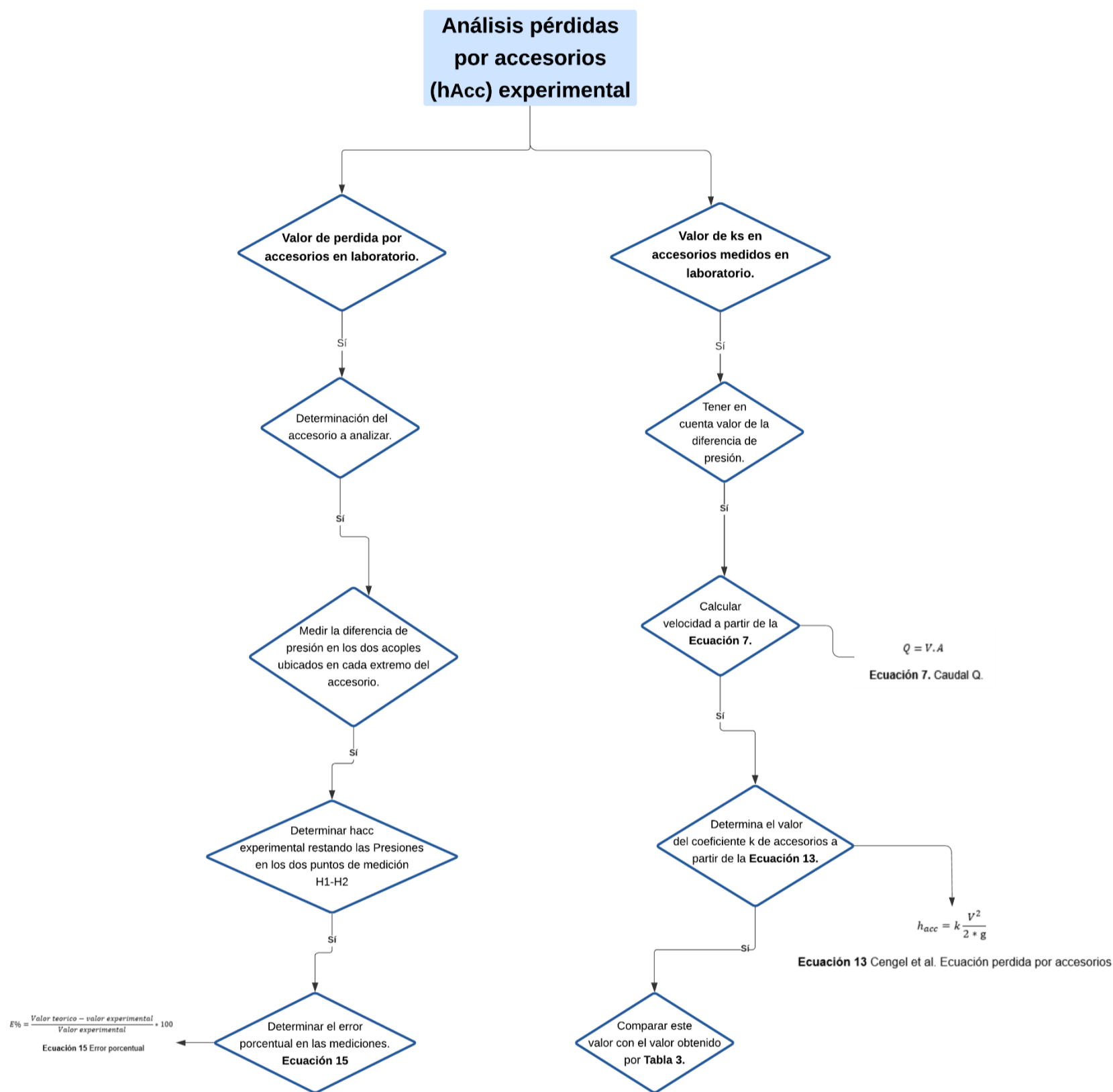
2.3.2 Procedimiento para el cálculo perdidas por accesorios (h_{acc})



2.3.3 Procedimiento para el cálculo pérdidas por fricción (h_{Long}) experimental.

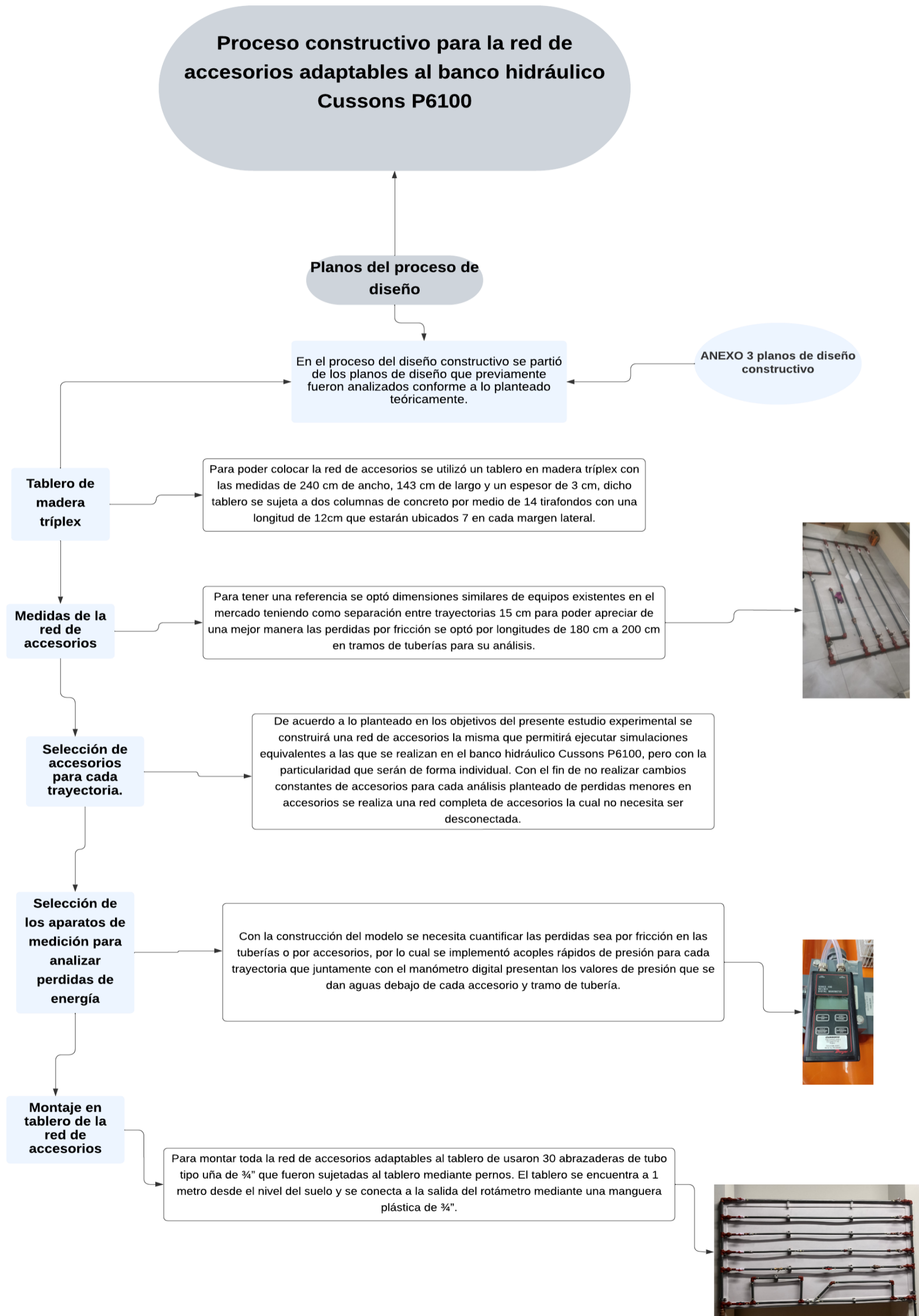


2.3.4 Procedimiento para el cálculo pérdidas por accesorios (h_{acc}) experimental











2.4 Proceso constructivo para la red de accesorios.










En el Anexo 6 se presentan una serie de fotografías que muestran el proceso de construcción.



2.5 Presupuesto para accesorio adaptable al banco hidráulico.

Tabla 8. Accesorios comunes.

PRESUPUESTO					
ACCESORIO	MEDIDA PLGS	CANTIDAD	IMAGEN	COSTO	COSTO TOTAL
Tee	3/4	12		1,55	18,6
CODO 90	3/4	0		1,25	0
CODO 45	3/4	1		1,55	1,55
YEE ROSCABLE	3/4	1		6,25	6,25
VALCULA CHECK	3/4	2		13,85	27,7
VALCULA BOLA	3/4	7		4,75	33,25
VALCULA COMPUERTA	3/4	6		0	0
REDUCCION BRUSCA 3/4 - 1/2	N	1		0,75	0,75

REDUCCION GRADUAL 1-3/4	N	2		1,25	2,5
REDUCCION GRADUAL 3/4-1/2	N	4		1,25	5
UNION UNIVERSAL	3/4	6		2,75	16,5
TUBO PVC	3/4	5		12,5	62,5
TUBO PVC	1/2	1		8,9	8,9
TUBO COBRE O ACERO	3/4	1		28,5	28,5
ACOPLE NPT HEMBRA	1/4	2		4,8	9,6
ACOPLE NPT MACHO	1/4	1		1,75	1,75
VALCULA BOLA	1/4	42		4,8	201,6
				TOTAL	\$ 424,95

Fuente: Kywi, ferrisariato, mangueras industriales Ecuador.

Elaborada por: Carrasco

El presupuesto inicial fue **591.55\$ pero el** Laboratorio Docente de Hidráulica de la Escuela Politécnica Nacional contaba con varios accesorios y un tablero tríplex que se utilizaron en la construcción, el presupuesto se redujo en un 20% con valor final de **492.95\$**.



Figura 24.Válvulas de compuerta donados por el Laboratorio Docente de hidráulica de la Escuela Politécnica Nacional.

Fuente: Elaborado por Carrasco.



Figura 25.Accesorios donados por el Laboratorio Docente de hidráulica de la Escuela Politécnica Nacional.

Fuente: Elaborado por Carrasco.



Figura 26. TABLERO DE MADERA TRIPLEX EN COLOR BLANCO MEDIDAS 236 X 135X 3.5 (cm) donados por el Laboratorio Docente de hidráulica de la Escuela Politécnica Nacional.

Fuente: Elaborado por Carrasco.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este subcapítulo se presentan los resultados que se obtuvieron tanto en la parte teórica como la parte experimental y se podrá notar que tanto difiere la teoría de la práctica, además de generar un instructivo para realizar prácticas dentro del laboratorio de Docente de Hidráulica utilizando el accesorio adaptable al banco hidráulico.

3.1 Resultados.

Debido a la gran extensión de tablas resultantes del análisis de trayectorias se optó por analizar la trayectoria 1 para un mejor entendimiento del procedimiento que se realiza a continuación si se desea se puede apreciar la trayectoria 1 en el **apartado 2.4**

3.1.1 Análisis de la trayectoria 1. Tramo material PVC 3/4"

Datos de la trayectoria 1.

- Temperatura del agua: 20 °C
- Viscosidad cinemática (ν): $=1.02 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.
- Diámetro Interno de tubería: 0.01885 m
- Caudal para trabajar: $2.16 \text{ m}^3/\text{h}$

3.1.2 Pérdidas de energía por fricción.

1. Transformación del caudal a m^3/s .

$$\frac{Q}{3600}$$
$$\frac{2.16 \text{ m}^3/\text{h}}{3600} = \frac{0.000600 \text{ m}^3}{\text{s}}$$

2. Cálculo de la velocidad del fluido. **Ecuación 7**

$$Q = V \cdot A$$

$$0.000600 = V \cdot A; \quad A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$0.000600 = V \cdot \frac{\pi D^2}{4}$$

$$0.000600 = V \cdot \frac{\pi(0.01885)^2}{4}$$

$$V = 2.15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3. Cálculo del número de Reynolds. **Ecuación 12**

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

$$Re = \frac{2.15 \cdot 0.01885}{1.02 \cdot 10^{-6}}$$

$$Re = 39732.861$$

4. Cálculo factor de fricción formula Swamme. **Ecuación 11** flujo turbulento.

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{\varepsilon}{3.7 * Di} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2}$$

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{0.00060}{3.7 * 0.01885} + \frac{5.74}{39732.861^{0.9}}\right)\right)^2}$$

$$f = 0.060$$

5. Cálculo de la pérdida por Fricción **Ecuación 9**

$$h_{lf} = f * \frac{L}{Di} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{lf} = 0.031 * \frac{1.15}{0.01885} * \frac{2.15^2}{2 * 9.81}$$

$$1.348 \text{ mca}$$

Tabla 3.1. Resultados de las pruebas realizadas para fricción.

En la siguiente tabla se presentan los datos que se obtuvieron luego de realizar un análisis teórico de lo que sucede en las 3 primeras trayectorias hierro galvanizado, PVC ¾", PVC ½".

Caudal	2,16	m3/h
--------	------	------

					(2)	(3)		(4)	(5)
Tramo identificado	Tubería	L(m)	Diámetro Interno (mm)	Caudal (m3/s)	Velocidad (m/s)	Re	ks(m)	f formula	hLong
Salida rotámetro-medidor presión.	PVC 3/4	1,15	18,85	0,000600	2,1500	39732,861	0,000060	0,030	1,348
Medidor presión-medidor presión.	HIERRO 3/4	1,8	18,85	0,000600	2,1500	39732,861	0,000120	0,035	2,478

Medidor presión-reservorio	PVC 3/4	1,1 5	18,85	0,00060 0	2,1500	39732,8 61	0,00006 0	0,030	1,348
-----------------------------------	---------	----------	-------	--------------	--------	---------------	--------------	-------	-------

	3,826307
hLong	69

En el inciso **(2) de la tabla 3.1** se procede a calcular la velocidad del fluido dentro de la tubería se puede apreciar en el **apartado 3.1.2 literal 2**.

En el inciso **(3) de la tabla 3.1** se procede a calcular el número de Reynolds para el fluido se puede apreciar en el **apartado 3.1.2 literal 3**.

En el inciso **(4) de la tabla 3.1** se procede a calcular el factor de fricción para el fluido se puede apreciar en el **apartado 3.1.2 literal 4**.

En el inciso **(5) de la tabla 3.1** se procede a calcular las pérdidas por fricción para el fluido se puede apreciar en el **apartado 3.2.1 literal 5**.

Para una mejor comprensión de lo que se realiza en la **tabla 3.1** se puede revisar el inciso **2.1.2**.

3.1.3 Perdidas de energía por accesorios

6. Se calculará la cantidad de accesorios con los que interactúa el fluido.
7. En base a la **Tabla 4 Anexo 2** se estima el dato de longitud equivalente
8. Cálculo factor de fricción formula Swamme. **Ecuación 11** flujo turbulento.

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{\varepsilon}{3.7 * Di} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2}$$

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{0.00060}{3.7 * 0.01885} + \frac{5.74}{39732.861^{0.9}}\right)\right)^2}$$

$$f = 0.031$$

9. Hallamos el factor k **Ecuación 14**

$$k = f \left(\frac{Le}{D}\right)$$

$$k = 0.031 * (30)$$

$$k = 0.93 * \text{numero de accesorios}$$

$$k = 0.93 * 4$$

$$k = 3.72$$

10. Calculamos las perdidas por accesorios **Ecuación 13**

$$h_{acc} = k \frac{V^2}{2 * g}$$

$$h_{acc} = 3.72 \frac{2.15^2}{2 * 9.81}$$

$$h_{acc} = 1.376 \text{ mca}$$

Tabla 3.2. Resultados de las pruebas realizadas para accesorios.

En la siguiente tabla se presentan los datos que se obtuvieron luego de realizar un análisis teórico de lo que sucede en los accesorios que conforman la trayectoria analizada (1)

	(6)	(7)			(9)	(8)	(10)
Tipo accesorio	cantidad	Le/Di	Diámetro Interno (mm)	Caudal (m3/s)	k(m)	f formula	hacc
Codo 90° recto.	4	30,00	18,850	0,000600	3,72	0,031	1,37670577
Codo 90° curvo.	0	20,00	18,850	0,000600	0	0,031	0
Codo 45° curvo.	0	16,00	18,850	0,000600	0	0,031	0
Tee directa.	10	20,00	18,850	0,000600	6,2	0,031	2,29450962
Tee flujo ramal	0	60,00	18,850	0,000600	0	0,031	0
Unión Universal.	2	1,00	18,850	0,000600	0,062	0,031	0,0229451
Bifurcación Y.	0		18,850	0,000600	0	0,031	0
Aumento gradual	0		18,850	0,000600	0	0,031	0
Aumento brusco	0		18,850	0,000600	0	0,031	0
Válvula globo.	1	340,00	18,850	0,000600	10,54	0,031	3,90066636

Válvula check.	0	100,00	18,850	0,000600	0	0,031	0
Válvula Compuerta	1	45,00	18,850	0,000600	1,395	0,031	0,51626467

hacc	8,11109152
------	------------

En el inciso **(6) de la tabla 3.2** se procede a contabilizar la cantidad de accesorios que intervienen en la trayectoria analizada.

En el inciso **(7) de la tabla 3.2** en base al **Anexo 2 Tabla 4** se procede a coloca el valor de longitud equivalente para cada accesorio.

En el inciso **(8) de la tabla 3.2** se procede a calcular el factor de fricción para el fluido se puede apreciar en el **apartado 3.1.3 literal 8.**

En el inciso **(9) de la tabla 3.2** se procede a calcular el valor de K para el fluido se puede apreciar en el **apartado 3.1.3 literal 9.**

En el inciso **(10) de la tabla 3.2** se procede a calcular el valor de las pérdidas por accesorios se puede apreciar en el **apartado 3.1.3 literal 10.**

Para una mejor comprensión de lo que se realiza en la **tabla 3.2** se puede revisar el inciso **2.1.3**

Tabla 3.3. Resultados de la pérdida total de energía en la trayectoria 1.

En la siguiente tabla se presentan los datos que se obtuvieron luego de realizar un análisis teórico de la cada una de las trayectorias para caudales que varían desde 0.001 m³/s hasta 0.007 m³/s. se puede revisar en las tablas que forman parte del **Anexo 4** así como también en los incisos **2.1.2_2.1.3**

T1		(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
Caudal (m3/s)	Ho (m)	Velocidad (m/s)	v ² /2g (m)	H Long	H acc	TDH (m)
0	0,1	0	0	0	0	0,1
0,001		2,15624235	0,23697151	0,13285492	0,25274558	0,72257201
0,002		4,3124847	0,94788605	0,47436112	0,90456313	2,4268103
0,003		6,46872705	2,13274361	1,01590834	2,15859694	5,40724889
0,004		8,6249694	3,79154419	1,75558317	3,72121761	9,36834498

0,005		10,7812117	5,9242878	2,69253965	5,81440252	14,53123
0,006		12,9374541	8,53097444	3,82630769	8,11109152	20,5683736
0,007		15,0936964	11,6116041	5,1565905	11,0400968	27,9082914

En el inciso **(11) de la tabla 3.3** se procede a calcular el valor de las de la velocidad con el caudal respectivo se puede apreciar en el **apartado 3.1.2 literal 2.**

En el inciso **(12) de la tabla 3.3** se procede a calcular el valor de las de la velocidad/ 2 gravedad.

En el inciso **(13) de la tabla 3.3** es el resultado de las pérdidas por fricción para la trayectoria 1 con un caudal de 0.001 m³/s. **del apartado 3.1.2**

En el inciso **(14) de la tabla 3.3** es el resultado de las pérdidas por accesorios para la trayectoria 1 con un caudal de 0.001 m³/s. **del apartado 3.1.3**

En el inciso **(15) de la tabla 3.3** es el resultado de la sumatoria del inciso **(12) + (13) +(14) +Ho.**

Se adiciona la carga dinámica de 0.1m desde el rotámetro al inicio del sistema de tuberías

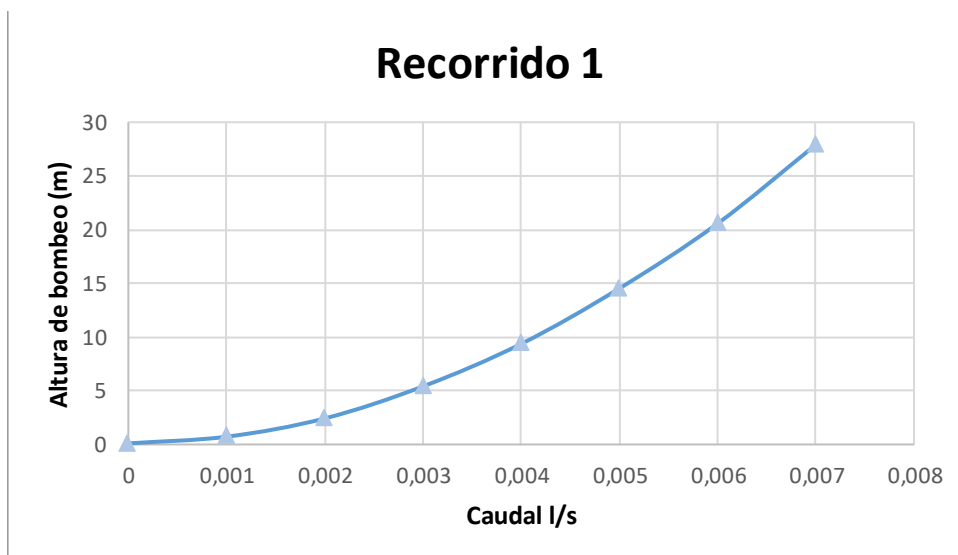


Figura 3.1. Resultados de las pruebas realizadas para la trayectoria 1 en el cual se visualiza como a mayor caudal se necesita una mayor altura de bombeo.

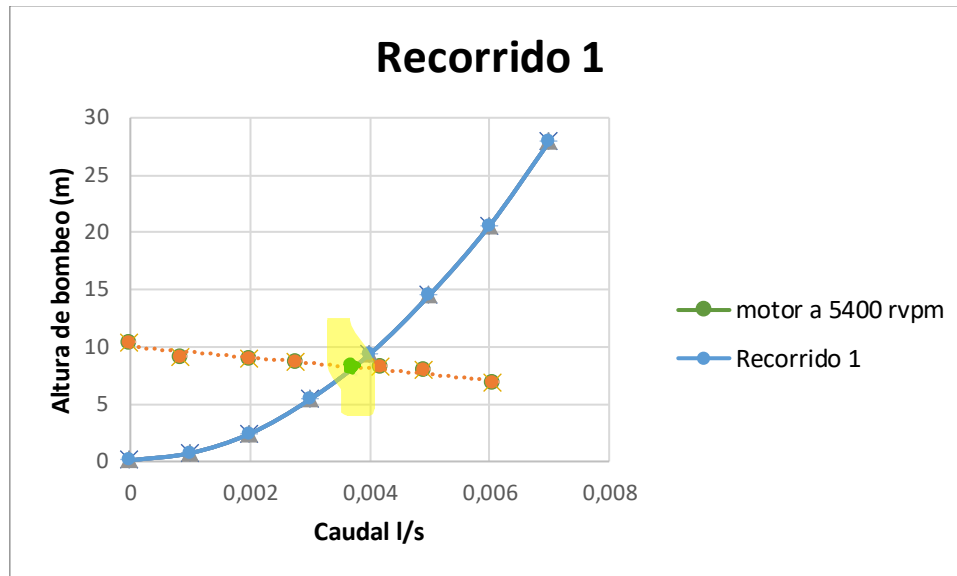


Figura 3.2. Resultados de las pruebas realizadas de la trayectoria 1 y el punto de operación de la bomba en esta grafica se puede visualizar como se interseca la curva de operación de la bomba con la de funcionamiento de la trayectoria 1

Luego de haber realizado una serie de cálculos y análisis de datos obtenidos de obtiene la gráfica de la figura 3.1 y 3.2 los cuales representan el punto de operación para la trayectoria 1 es $Q=0.038 \text{ m}^3/\text{s}$ y una altura de bombeo de 8mca.

Tabla 3.4. Resultados de la pérdida total de energía en todas las trayectorias.

En la siguiente tabla se presentan los datos que se obtuvieron luego de realizar un análisis teórico y sumatoria del total de pérdidas que se presentan en cada trayectoria para una variación de caudales que van desde $0.001 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta $0.007 \text{ m}^3/\text{s}$, en la parte encerrada por el rectángulo se puede apreciar los valores que se calcularon en el apartado **Tabla 3.3**

	T1 (m)	T2 (m)	T3 (m)	T4 (m)	T5 (m)	T6 (m)
Q (lts/s)	Hierro 1/2 "	PVC 1/2"	PVC 3/4 "	Contracción brusca-Contracción gradual	Válvula Check, compuerta, globo	Accesorios 1
0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
0.001	0.722572013	0.74022766	0.98070665	0.86868329	0.84660843	0.75850666
0.002	2.426810296	2.48219226	3.36955096	2.96787803	2.8656332	2.54840729
0.003	5.407248885	5.33784139	7.26695535	6.40265639	6.18345795	5.4807872
0.004	9.368344979	9.23736689	12.6049443	11.1099917	10.6972773	9.48502855

0.005	14.5312299 8	14.321624 5	19.515777 9	17.2148753	16.6195862	14.703044 7
0.006	20.5683736 5	20.253666 7	27.680582 8	24.4172389	23.4447799	20.795049
0.007	27.9082913 8	27.474037 1	37.515368 2	33.109021	31.8349043	28.205184 3

Tabla 3.5. Resultados teóricos de la pérdida por fricción en las 3 trayectorias respectivas.

				(2)	(3)		(4)	(5)
Tramo identificado	L(m)	Diámetro Interno (mm)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Re	ks(m)	f formula	hLong
TUBERIA DE HIERRO 3/4"	1.800	18.85	0.000583	2.0903	38629.171	0.000120	0.035	0.747
TUBERIA PVC 3/4"	1.800	18.85	0.000583	2.0903	38629.171	0.000060	0.030	0.636
TUBERIA PVC 1/2"	1.600	13.88	0.000583	3.8552	52461.086	0.000060	0.031	2.733

En el inciso **(2) de la tabla 3.5** se procede a calcular la velocidad del fluido dentro de la tubería se puede apreciar en el **apartado 3.1.2 literal 2**.

En el inciso **(3) de la tabla 3.5** se procede a calcular el número de Reynolds para el fluido se puede apreciar en el **apartado 3.1.2 literal 3**.

En el inciso **(4) de la tabla 3.5** se procede a calcular el factor de fricción para el fluido se puede apreciar en el **apartado 3.1.2 literal 4**.

En el inciso **(5) de la tabla 3.5** se procede a calcular las pérdidas por fricción para el fluido se puede apreciar en el **apartado 3.2.1 literal 5**.

Para una mejor comprensión de lo que se realiza en la **tabla 3.5** se puede revisar el inciso **2.1.2**.

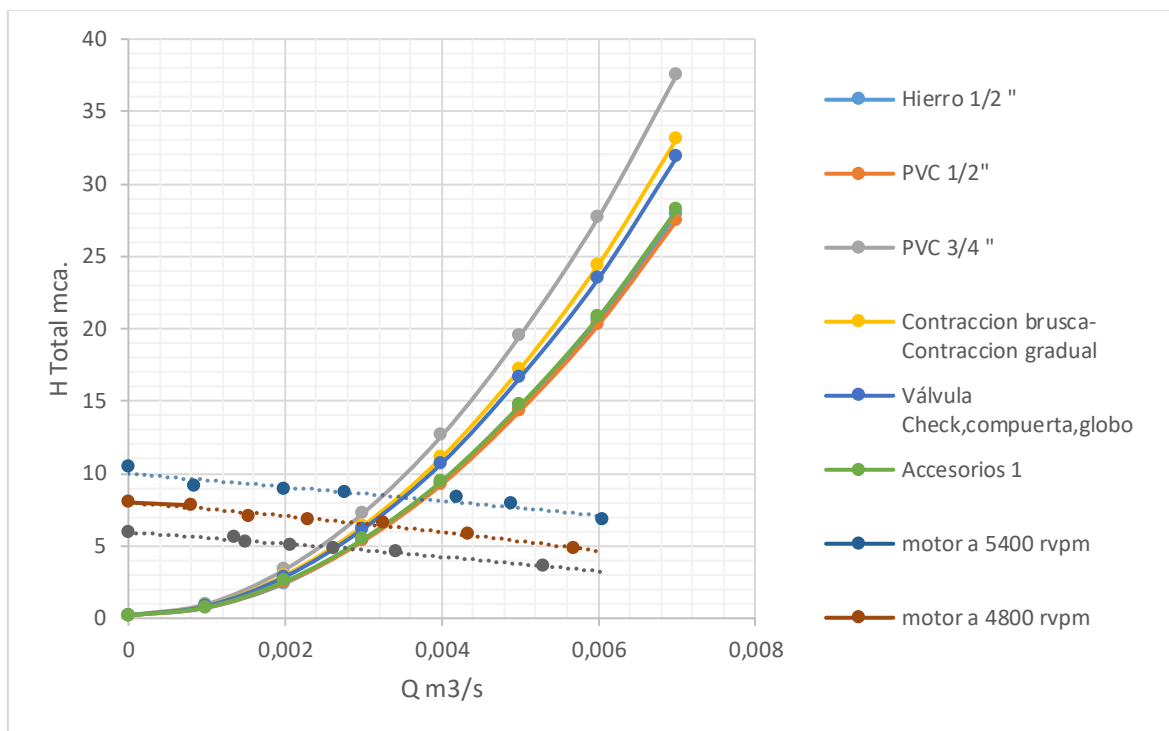


Figura 3.3. Resultados de las pruebas realizadas de la a todas las trayectorias y sus respectivos puntos de operación.

En la **figura 3.3** se puede observar el comportamiento de las 6 trayectorias que fueron implementadas, así como también del comportamiento de la bomba Stuart Turner a 5400 rpm y 4800 rpm, se puede evidenciar que existe un punto de intersección entre la curva características de la bomba y cada una de las trayectorias analizadas.

Al ser un proceso con un enfoque repetitivo se anexarán las tablas como anexos para poder formar la curva de operación del sistema en la trayectoria 1 a la 6 así como sus curvas de operación respectivas.

3.2 Datos obtenidos experimentalmente.

3.2.1 Perdidas por fricción.

Tabla 3.6 Resultados experimentales de la pérdida por fricción en las 3 trayectorias respectivas.

En la siguiente tabla se presentan los datos que se obtuvieron luego de realizar la experimentación en laboratorio sobre las perdidas por fricción en las 3 primeras trayectorias y obtener los datos necesarios para realizar una comprobación teórica experimental

	(a)	(b)	(c)	(d)
Tramo identificado	H1 practico mca	H2 practico mca	ΔH_{acc} practico	% de error
TUBERIA DE HIERRO 3/4"	3,16	2,35	0,81	8,45
TUBERIA PVC 3/4"	3,34	2,66	0,68	6,85
TUBERIA PVC 1/2"	5,32	2,28	3,04	11,21

En el inciso **(a) de la tabla 3.6** es el resultado de la medición con el manómetro digital en el primer acople Npt del tramo de tubería de hierro.

En el inciso **(b) de la tabla 3.6** es el resultado de la medición con el manómetro digital en el segundo acople Npt del tramo de tubería de hierro.

En el inciso **(c) de la tabla 3.6** se procede a calcular el valor de ΔH_{acc} practico es el resultado de la diferencia entre el **inciso (a) y el Inciso (b)**.

En el inciso **(d)** Para un mejor entendimiento del % de error de remitirá al inciso **1.5.1 Ecuación 15**.

Tabla 3.7. Resultados experimentales del factor de fricción en las 3 trayectorias respectivas.

En la siguiente tabla se presentan los datos que se obtuvieron luego de realizar la experimentación en laboratorio sobre el factor de fricción presente en las 3 primeras trayectorias y obtener los datos necesarios para realizar una comprobación teórica experimental.

	(e)	(f)	(g)
Tramo identificado	f experimental	f practico	% de error
TUBERIA DE HIERRO 3/4"	0,035	0,03809031	7,80
TUBERIA PVC 3/4"	0,030	0,03197705	6,41
TUBERIA PVC 1/2"	0,031	0,03481337	10,08

En el inciso (e) de la tabla 3.7 es el resultado de la medición con el manómetro digital en el primer acople Npt del tramo de tubería de hierro y usando la **Ecuación 9 apartado 3.1.3 literal 8** se obtiene el factor de fricción experimental.




En el inciso (f) de la tabla 3.7 el factor de fricción teórico se lo obtiene a partir de la **Ecuación 9 apartado 3.1.3 literal 8**.

En el inciso (g) de la tabla 3.7 Para un mejor entendimiento del % de error de remitirá al inciso 1.5.1 Ecuación 15.

3.2.2 Perdidas por accesorios.

Tabla 3.8. Resultados experimentales de la pérdida por accesorios en los diversos accesorios respectivos.

Para un mejor entendimiento **del ΔH_{acc} experimental**, se obtiene de a diferencia de alturas **H1 y H2**, así como también del % de error de remitirá al inciso 1.5.1 Ecuación 15.

Imagen Accesorio	Tipo accesorio	H1 experimental (mca)	H2 experimental (mca)	ΔH_{acc} (H1-H2) experimental (mca)	% de error
	Codo 90° recto.	2.38	2.13	0.25	6.92
	Codo 45° curvo.	1.89	1.76	0.13	4.24
	Tee directa.	2.85	2.7	0.15	3.78







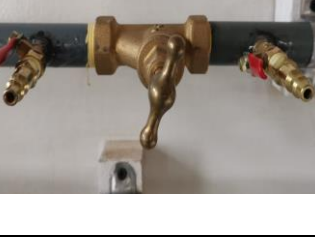
	Tee flujo ramal	2.85	2.34	0.51	9.05
	Bifurcación Y.	1.36	1.27	0.09	3.63
	Aumento gradual	3.45	3.2	0.25	6.45
	Aumento brusco	3.32	3.27	0.05	13.65
	Válvula globo.	8.02	5.47	2.55	3.78
	Válvula check.	4.04	3.32	0.72	7.62
	Válvula compuerta	8.85	8.47	0.38	8.34

Tabla 3.9. Resultados experimentales del coeficiente k en accesorios en los diversos accesorios respectivos.

Para un mejor entendimiento del coeficiente k teórico se lo obtiene a partir de la **Ecuación 13 apartado 3.1.3 literal 9.**, así como también del **% de error** se remitirá al **apartado 1.5.1 Ecuación 15.**

Imagen Accesorio	Tipo accesorio	K teórico	K experimental	% de error
	Codo 90° recto.	1.05	1.12261439	6.47
	Codo 45° curvo.	0.56	0.58375948	4.07
	Tee directa.	0.7	0.67356863	3.92
	Tee flujo ramal	2.1	2.29013335	8.30
	Bifurcación Y.	0.39	0.40414118	3.50
















	Aumento gradual	1.2	1.12261439	6.89
	Aumento brusco	0.26	0.22452288	15.80
	Válvula globo.	11.9	11.4506668	3.92
	Válvula check.	3.5	3.23312944	8.25
	Válvula compuerta	1.575	1.70637387	7.70

Tabla 3.10. Resultados experimentales de la pérdida por accesorios en los diversos accesorios respectivos.

Para un mejor entendimiento de la pérdida por accesorios **hacc experimental** se lo obtiene a partir de la **Ecuación 13 apartado 3.1.3 literal 9.**

		(a)	(b)		(c)	(d)	(e)	(f)
	Tipo accesorio	cantidad	Le/Di	Diámetro Interno (mm)	Caudal (m ³ /s)	k(m)	f formula	hacc experimental (mca)
	Codo 90° recto.	1	30.00	18.850	0.000583	1.05	0.035	0.23382918
	Codo 45° curvo.	1	16.00	18.850	0.000583	0.56	0.035	0.12470889
	Tee directa.	1	20.00	18.850	0.000583	0.7	0.035	0.15588612
	Tee flujo ramal	1	60.00	18.850	0.000583	2.1	0.035	0.46765836
	Bifurcación Y.	1		18.850	0.000583	0.39	0.035	0.08685084
	Aumento gradual	1		18.850	0.000583	1.2	0.035	0.26723335

	Aumento brusco	1		18.850	0.000583	0.26	0.035	0.05790056
	Válvula globo.	1	340.00	18.850	0.000583	11.9	0.035	2.65006402
	Válvula check.	1	100.00	18.850	0.000583	3.5	0.035	0.77943059
	Válvula compuerta	1	45.00	18.850	0.000583	1.575	0.035	0.35074377

En el inciso **(a) de la tabla 3.10** se procede a contabilizar la cantidad de accesorios que intervienen en la trayectoria analizada.

En el inciso **(b) de la tabla 3.10** en base al **Anexo 2 Tabla 4** se procede a colocar el valor de longitud equivalente para cada accesorio.

En el inciso **(d) de la tabla 3.10** se procede a calcular el factor de fricción para el fluido se puede apreciar en el **apartado 3.1.3 literal 8**.

En el inciso **(e) de la tabla 3.10** se procede a calcular el valor de K para el fluido se puede apreciar en el **apartado 3.1.3 literal 9**.

En el inciso **(f) de la tabla 3.10** se procede a calcular el valor de las pérdidas por accesorios se puede apreciar en el **apartado 3.1.3 literal 10**

3.3 Instructivos para prácticas en laboratorio.

Como uno de los resultados finales al presente trabajo de integración curricular se presentan los instructivos para realizar prácticas de pérdidas de energía en tuberías y accesorios, dentro del laboratorio docente de hidráulica mismas que pueden revisarse en el apartado del **Anexo 6** que incluye dos instructivos para dichas prácticas mismas que son:

- **PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS**
- **PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR ACCESORIOS**

3.4 Conclusiones

- Una vez realizada la fase de experimentación se comprobó que el rango de error en el que se encuentran los resultados de los ensayos oscila entre el 1 a 10% de error, esto se debe principalmente a la aplicación de acoples rápidos con válvulas globo de $\frac{1}{4}$ " que no se encuentran en la dirección del flujo, pero pueden provocar pérdidas extras en el momento de la medición.
- Para obtener una medición mucho más eficiente se pueden añadir manómetros análogos ya que el accesorio cuenta con acoples rápidos, pero estos no deberán estar comprendidos entre 1 Psi hasta los 20 Psi para poder apreciar de una mejor manera las pérdidas de energía a través de presión en tuberías y accesorios.
- Las pérdidas presentadas por fricción en tuberías tanto en el tramo de hierro $\frac{3}{4}$ ", así como en la de PVC $\frac{3}{4}$ " cumplen con parámetros bajos de error de entre el 6.85% hasta el 11.21% debido a que no incluyen pérdidas muy grandes de energía evitando que una gran cantidad de estas se pierda a través de los acoples rápidos tipo Npt.
- Se debería analizar cada válvula en una trayectoria diferente para no tener una pérdida de las válvulas que anteceden a la que es medida, esto no se logró debido a que agregar un tramo para cada válvula aumentaría en dimensiones nuestro modelo dando como resultado un equipo difícil de manipular para realizar las prácticas de laboratorio pertinentes.
- Se comprobó que la mayor pérdida de energía por accesorios se da en la válvula globo con un valor de 2.55 mca motivo por el cual se podría pensar en la implementación de otras válvulas si se requiere un diseño más óptimo dentro de un uso industrial.
- Una de las válvulas más eficientes en cuanto a un menor valor en pérdida de energía es la válvula de compuerta ya que en su valor de pérdidas obtiene un valor de 0.38 mca además de poder usarla abierta o semiabierta para poder regular la cantidad de flujo que pasa a través de ella.
- Los valores del coeficiente K en accesorios dependerán tanto del modelo como del fabricante por eso los compara con los predeterminados en **tabla 3 Anexo 2** para cuantificar de una mejor manera el error porcentual que se obtuvo.

- Uno de los mayores valores del coeficiente K en accesorios se da en la contracción brusca principalmente esto depende del uso de los neopresos de 1/4" en tuberías de PVC de 1/2" los cuales producen pérdidas adicionales al momento de cuantificarla con los manómetros.
- Los errores que se evidencian en los valores de pérdidas por fricción como en las pérdidas por trayectorias llevan una relación debido a que estas dependen del coeficiente de fricción.

3.5 Recomendaciones

- Es importante conocer que al realizar el montaje del accesorio adaptable al banco hidráulico no tenga fugas, por los acoples rápidos, así como en uniones y accesorios al momento de realizar trabajos con presión ya que estos determinan fallos al momento de realizar mediciones.
- Es recomendable el uso de una sola marca de accesorios ya que al ser tipo roscable en muchas ocasiones no coinciden las rosas entre accesorios y tramos de tuberías provocando que existan curvaturas o se produzcan roscas adicionales en los accesorios y tramos de tubería.
- Se recomienda tener en cuenta que cada accesorio al ser de marca diferente suele tener una tabla de coeficientes propios de pérdida, los cuales llegan a afectar los resultados obtenidos.
- Todo accesorio adaptable al banco hidráulico debe tener un prediseño y análisis de presupuesto antes de ser armado para así evitar costos innecesarios.
- Al usar acoples de tipo Npt tener en cuenta que existirán pérdidas por el ingreso del Npt a la tubería de forma roscable mismo que no ingresa en su totalidad, pero afecta directamente en la dirección que lleva el fluido.
- Al apagar el banco hidráulico evitar que se produzca el fenómeno de cavitación en la bomba para así evitar daños en el sistema de bombeo.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

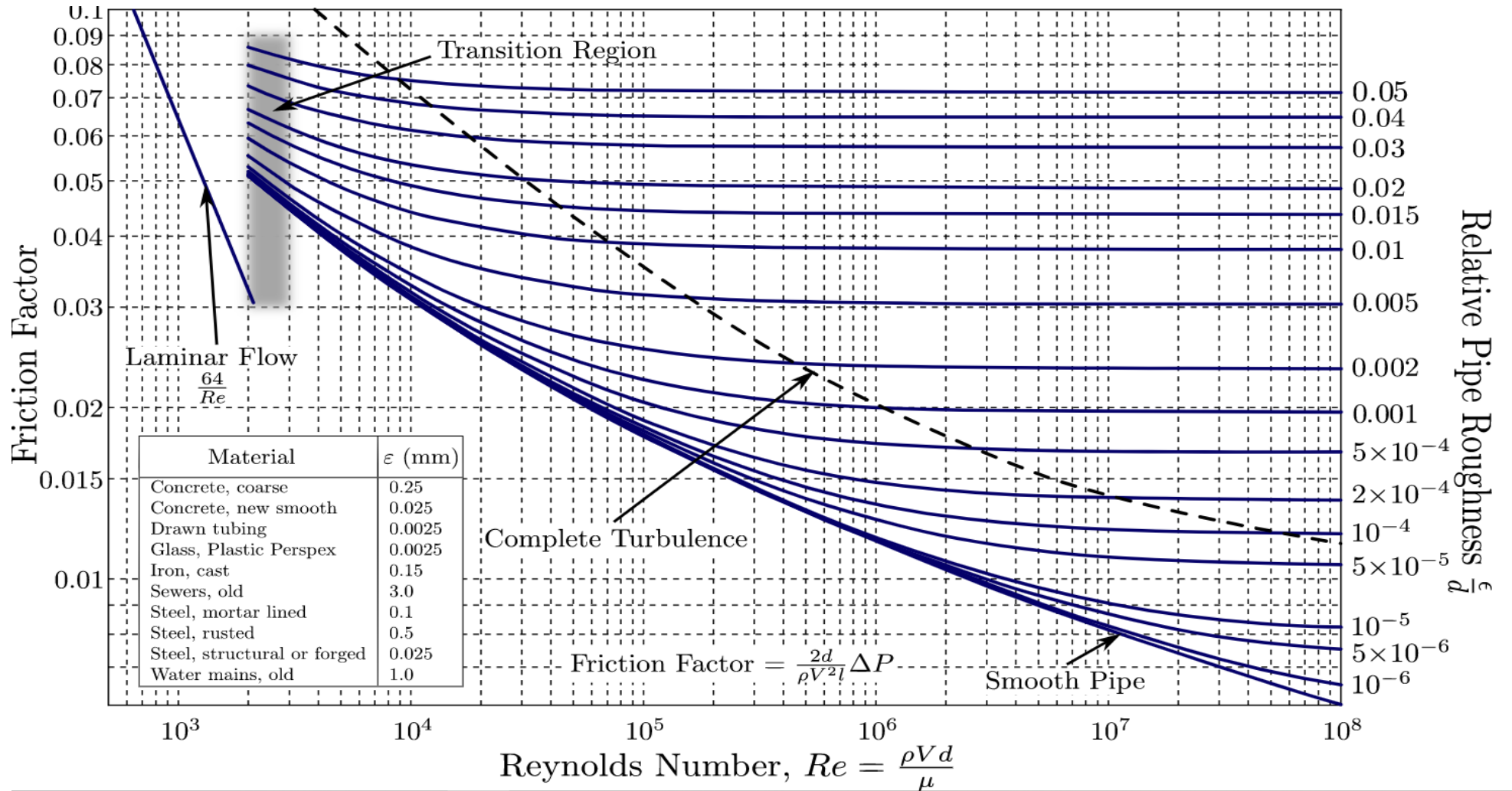
- [1] J. L. BARRETO RIVERA y H. A. BARRAGAN, «DISEÑO Y MONTAJE DEL EQUIPO HIDRÁULICO PARA LA EXPERIMENTACIÓN DE PERDIDAS POR FRICCIÓN, PERDIDAS LOCALIZADAS,» GIRARDOT, 2008.
- [2] CRANE, Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías, México: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A., 1989.
- [3] J. A. Garcia Henao, BANCO HIDRODINÁMICO P6100, Caldas: UNIVERSITARIA EL PORVENIR, 2018.
- [4] N. H. T. Enterprise, «Portable ultrasonic Flow meter .,» Usa.
- [5] J. . A. PARRA DURÁN y L. G. VELASCO MARÍN, «DISEÑO PARA CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN UN SISTEMA DE TUBERÍAS,» SANTIAGO DE CALI, 2014.
- [6] C. Mataix, MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS, Madrid: Ediciones del Castillo S.A., 1986.
- [7] R. L. Mott, Mecánica de fluidos aplicada, México: PEARSON, 1996.
- [8] D. F. MORALES y A. J. HIDALGO CRUZ , «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA LA DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS Y EN ACCESORIOS, PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA PUCE” ,» QUITO, 2019.
- [9] Y. A. ÇENGEL y J. M. CIMBALA, MECÁNICA DE FLUIDOS FUNDAMENTOS Y APLICACIONES, México, D.F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A., 2006.
- [10] R. Fox y A. McDonald, Introducción a la Mecánica de Fluidos, México: McGraw-Hill Interamericana de México., 1990.
- [11] A. M. Domingo, «Creative Commons Reconocimiento-CompartirIgual 3.0 España (CCBY-SA),» mayo 2011. [En línea]. Available: <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/>.
- [12] N. S. Chuquín Vasco, J. P. Chuquín Vasco y D. A. Chuquín Vasco,, Hidráulica en Tuberías y Accesorios (Válvulas Industriales): Pérdidas, Casos reales de Aplicación y Selección de Bombas Centrífugas, Guayaquil.: CIDE EDITORIAL, 2020.
- [13] R. L. Mott y J. A. Untener, MECÁNICA DE FLUIDOS, Mexico : PEARSON, 2015.
- [14] R. L. Mott, Mecánica de fluidos, Mexico: PEARSON , 2006.
- [15] EMPRESA METROPOLITANA DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE, «NORMAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE PARA LA EMAAP-Q,» V&M Gráficas, Ecuador, 2009.

- [16] I.-. ERRORES, «TÉCNICAS AUXILIARES DE LABORATORIO,» 2014.
- [17] L. Carvajal, Metodología de la Investigación Científica. Curso general y aplicado, 28 ed., Santiago de Cali: U.S.C., 2006, p. 139.
- [18] Comisión Nacional del Agua MX, Programa Nacional Hídrico, México: Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209, 2007.
- [19] G. Paresh y M. Octo , Practical centrifugal pumps, Newnes, 2005.
- [20] Tecnologías de construcción de Honeywell, «Honeywell Building Technologies,» Tecnologías de construcción de Honeywell, 2021. [En línea]. Available: <https://buildings.honeywell.com/us/en/products/by-category/building-management/field-devices/valves>. [Último acceso: 01 02 2023].
- [21] Universidad de Caldas, «BANCO HIDRODINÁMICO,» Caldas, Cali, 2012.

5. ANEXO

ANEXO I

Diagrama de moody.



ANEXO 2

Tablas y valores referenciales.

A continuación, se presenta la Tabla 1, con los valores del coeficiente k (mm) para algunos materiales proporcionado por la EMMAPS Quito.

Tabla 1. Valores de la Rugosidad Absoluta EMAAP-Q.

COEFICIENTES DE RUGOSIDAD ABSOLUTA-FORMULA DE DARCY-WEISBACH.		
Clase de tubería y revestimiento interno	COEFICIENTE Ks (mm)	
	Factibilidad líneas expresas (1)	Diseño detallado líneas expresas (2)
PVC	0.120	0.060
Polietileno de alta densidad	0.120	0.060
GRP (Fibra de vidrio)	0.120	0.060
Acero con revestimiento interno de coal-tar, amel o epoxi	0.120	0.060
CCP (concrete cylinder pipe)	0.240	0.120
Hierro dúctil y acero cm revestimiento en mortero de cemento	0.240	0.120

Fuente: NORMAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE PARA LA EMAAP-Q. (2009)

Elaborada por: Carrasco

A continuación, se presenta la Tabla 2, con los valores del número de Reynolds para diferencias los tipos de flujo.

Tabla 2. Numero de Reynolds de acuerdo con el tipo de flujo.

NÚMERO DE REYNOLDS	FLUJO
Re < 2300	LAMINAR
2300<Re<4000	TRANSICIÓN
Re>4000	TURBULENTO

Fuente: Fox & McDonald (1990)

Elaborada por: Carrasco

A continuación, se presenta la Tabla 3, con los valores de k para algunos accesorios utilizados.

Tabla 3. Coeficiente de pérdida adimensional

ACCESORIO	k
Rejilla de entrada	0,80
Válvula de pie	3,00
Entrada cuadrada	0,50
Entrada abocinada	0,10
Ampliación gradual	0,30
Ampliación brusca	0,20
Reducción gradual	0,25
Reducción Brusca	0,35
Codo corto de 90	0,90
Codo corte de 45	0,40
Codo largo de 90	0,40
Codo largo de 45	0,20
Codo largo de 22 – 30	0,10
Tee con flujo en línea recta	0,10
Tee con flujo en ángulo	1,50
Tee con salida bilateral	1,80
Válvula de compuerta abierta	5,00
Válvula de ángulo abierta	5,00
Válvula de globo abierta	10,00
Válvula de retención	2,50
Válvula de mariposa abierta	0,24
Boquillas	2,75
Controlador de gasto	2,50
Medidor Venturi	2,50
Bifurcación	0,10
Pequeña derivación	0,30

Fuente: Comisión nacional del agua (2007)

Elaborada por: Carrasco

A continuación, se presenta la Tabla 4, Resistencia de accesorios expresada en longitud equivalente

Tabla 4. Resistencia de accesorios expresada en longitud equivalente

ACCESORIOS	Le/D
Válvula de globo (abierto por completo)	340
Válvula de ángulo (abierto por completo)	150
Válvula de compuerta (abierto por completo)	8

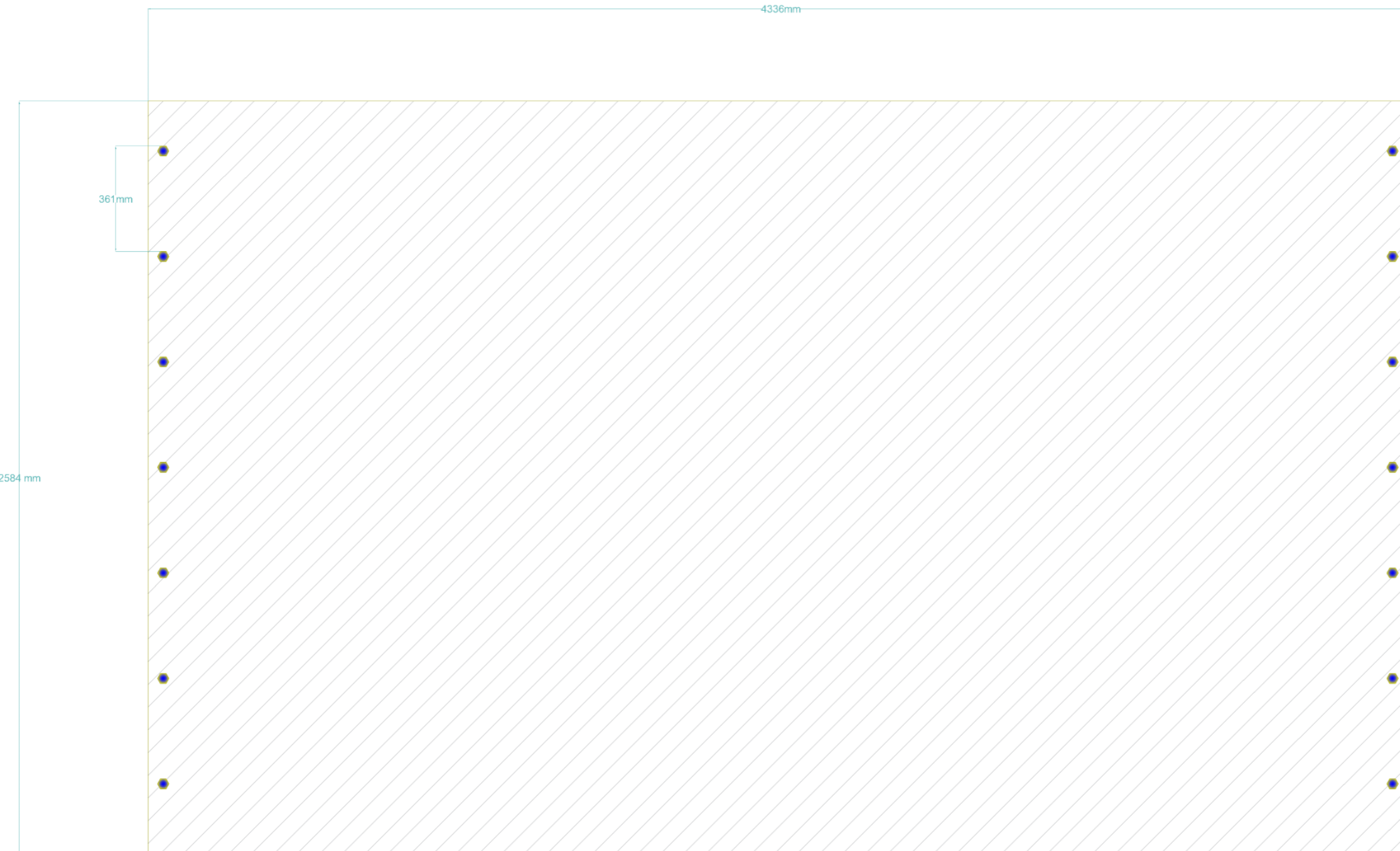
3/4 abierta	35
1/2 abierta	160
1/4 abierta	900
Válvula de verificación tipo giratorio	100
Válvula de pie tipo bola	150
Válvula de mariposa (abierta por completo) 2 - 8"	45
10 - 14 pulgadas	35
16 - 24 pulgadas	25
Válvula de pie (tipo disco vástago)	420
Válvula de pie (tipo disco de bisagra)	75
Codo estándar a 90°	30
Codo 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Té estándar con flujo directo	20
Con flujo en ramal	60
Uniones	1

Fuente: Crane (1992)

Elaborada por: Carrasco

ANEXO 3

Planos de diseño



ESCUELA
POLITÉCNICA
NACIONAL

PROYECTO:

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil
PERDIDAS DE ENERGIA EN TUBERIAS

ING: CRISTINA TORRES

ESTUDIANTE: JAIRO CARRASCO

UBICACION:

QUITO

CONTEN:

PLANO DIMENSIONES

PROYECTO:

TUBERIAS PVC

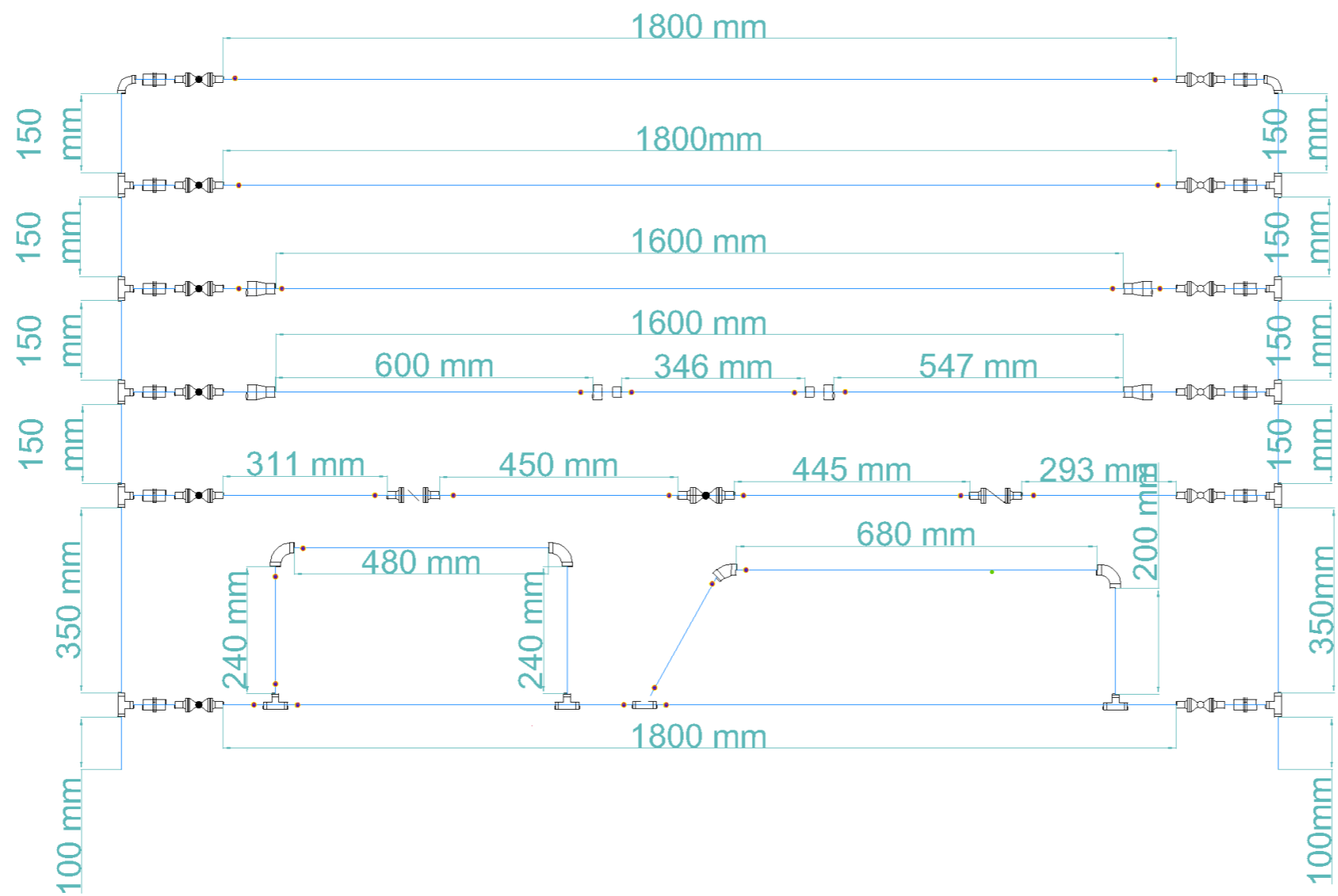
Fecha:
MARZO 2023

cotas

escala:
1 : 1



DIMENSIONES



PROYECTO:
 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 Facultad de Ingeniería Civil
 PERDIDAS DE ENERGÍA EN TUBERIAS

ING: CRISTINA TORRES
 ESTUDIANTE: JAIRO CARRASCO

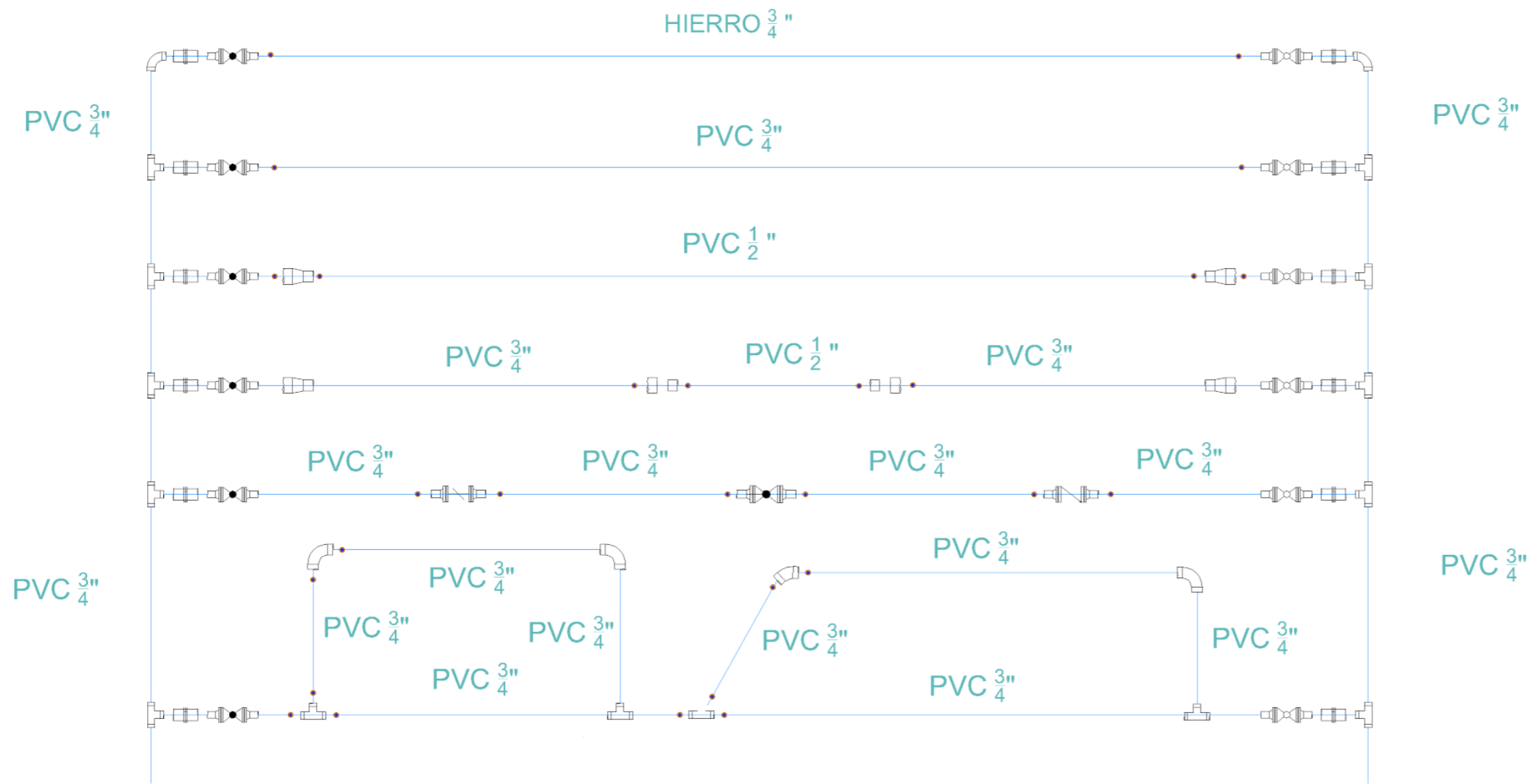
UBICACION:
 QUITO
 CONTIENE:
 PLANO DIMENSIONES

PROYECTO:
 TUBERIAS PVC

Fecha: MARZO 2023
 cotos: escuela: 1 x 1



TIPOS DE TUBERIA



PROYECTO:
 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 Facultad de Ingeniería Civil
 PERDIDAS DE ENERGÍA EN TUBERIAS

ING. CRISTINA TORRES

ESTUDIANTE: JAIRO CARRASCO

UBICACION:
 QUITO

CONTIENE:
 PLANO TIPOS DE TUBERIA

PROYECTO:
 TUBERIAS PVC

Fecha: MARZO 2023

cotas: escala: 1 : 1



ANEXO 4

Tablas de Excel resultados.

https://drive.google.com/drive/folders/1LxY33vFRFD8UgKcQQtNeqv_qTUaCTwCq

ANEXO 5

Enlace fotografías y video del accesorio adaptable banco hidráulico.









<https://drive.google.com/drive/folders/1Qj3-a3MudVGJyJO1yV6QdydaShjMQ0Ut>

ANEXO 6

Instructivos para practicas perdidas de energía.

PRÁCTICA N° 01

PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS

OBJETIVOS

1 Objetivo general

- Determinar la pérdida de energía por fricción en las cuatro trayectorias de tuberías, utilizando un medidor de presión, un rotámetro, un medidor de flujo ultrasónico.

1.1 Objetivo específico

- Calcular el coeficiente de fricción para tubería de hierro galvanizado $\frac{3}{4}$ " utilizando la fórmula de Darcy-Weisbach para compararlo con el teórico.
- Calcular el coeficiente de fricción para tubería de PVC $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ " utilizando la fórmula de Darcy-Weisbach para compararlo con el teórico.
- Calcular el coeficiente de fricción para tubería de PVC con variación de diámetros (contracción y expansión) utilizando la fórmula de Darcy-Weisbach para compararlo con el teórico.

1.2 MARCO TEÓRICO

1.2.1 Perdidas de carga por fricción.

Las perdidas primarias se dan como resultado de la perdida de energía por fricción que se cuantifican en forma de presión, esta perdida es analizada en flujos de tipo laminar y turbulento denominadas como perdidas por fricción dichas perdidas por lo general se ocasionan a lo largo de un sistema de tuberías producto del rozamiento existente entre las paredes de la tubería y el flujo que circula a través de estas.

Para analizar las perdidas por fricción o longitud se usará la ecuación de Darcy Weisbach La ecuación de Darcy-Weisbach toma en cuenta los siguientes parámetros: el régimen del flujo, la viscosidad que posee un fluido, la extensión de la tubería considerando que en una tubería muy extensa las perdidas por fricción no se pueden despreciar por consiguiente ecuación de Darcy-Weisbach expresa las perdidas fricción o longitud, usando los siguientes parámetros Rugosidad, velocidad de flujo, coeficiente de fricción todas estas variables dependen del material con el que están diseñadas las tuberías del sistema.

$$h_{lf} = f * \frac{L}{Di} * \frac{v^2}{2 * g}$$

Ecuación 1 Ecuación de Darcy-Weisbach.

Dónde:

- h_f : Perdidas por longitud o fricción (m).
- f : Factor de fricción del tramo de tubería (adimensional).
- g : Gravedad (m/s²).
- Di : Diámetro interno tubería (m).

1.2.2 Diagrama de Moody.

El método más comúnmente utilizado para encontrar el valor del factor de fricción es mediante el diagrama de Moody, mismo que ilustra al factor de fricción f vs el número de Reynolds Re acompañado de una serie de curvas paramétricas que relacionan la rugosidad relativa ε/D , dichas curvas son el resultado de datos experimentales de L.F. Moody.

1.2.3 Factor de fricción (f).

En la fórmula de Darcy-Weisbach no se puede deducir de manera simple el factor de fricción (f) este factor se lo determina de manera experimental bajo las siguientes condiciones: flujo laminar ($Re < 2000$) se encuentra solamente en función del número de Reynolds, Flujo turbulento ($Re > 4000$) depende también de las paredes de la tubería.

En la región conocida con el nombre de “zona crítica” comprendida entre los valores de 2000 a 4000 el flujo puede presentarse como flujo turbulento al igual que flujo laminar dependiendo de otros factores que pueden ser, variaciones en la sección, cambios en la dirección de flujo, obstrucciones presentes en sistema ocasionados por válvulas. En la zona crítica el factor de fricción es indeterminado pero de encontrarse en la zona de flujo laminar ($Re < 2000$) se lo puede determinar con la siguiente ecuación.

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

Ecuación 2 Factor de fricción flujo laminar

Dónde:

- f : Factor de fricción (adimensional)

- Re: Numero de Reynolds (adimensional)

Cuando el flujo es turbulento ($Re > 4000$) el factor de fricción depende del número de Reynolds, rugosidad de las paredes en la tubería ε y el diámetro interno de la tubería (D_i) para encontrar la magnitud del factor de fricción se utiliza el diagrama de Moody o la fórmula de Swamme, se podría utilizar también la fórmula de Colebrook White, pero se generaría un proceso iterativo.

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{\varepsilon}{3.7 * D_i} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2}$$

Ecuación 3 Factor de fricción flujo turbulento

Dónde:

- f: Factor de fricción (adimensional)
- Re: Numero de Reynolds (adimensional)
- D_i : Diámetro interno (m)
- ε : Rugosidad paredes de tubería (m)

1.3 INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LA PRACTICA

- Verificar que la bomba esté funcionando correctamente.
- Encender a 5400 rpm para lograr un caudal de 2.1m³/h.
- Abrir la llave de paso ubicada en la parte superior del rotámetro
- Abrir la llave de globo y la de compuerta de la trayectoria en la que se requiera analizar las perdidas por fricción.
- Conectar los acoples rápidos del manómetro digital a los acoples Npt presentes en tramos y accesorios.
- En el manómetro escoger la escala adecuada Psi o mmHG.
- Abrir las llaves globo de ¼" existentes en cada acople Npt.
- Medir con el manómetro la perdida de presión existente en el tramo analizado.

1.3.1 Materiales y equipos

- Banco hidráulico Cussons P6100.

- Rotámetro.
- Medidor de presión.
- Medidor ultrasónico de flujo.

1.3.2 Procedimiento

1.4 ACTIVIDADES POR DESARROLLAR

- Determinar la pérdida de energía en la tubería
- Obtener la velocidad del flujo que circula en el sistema
- Calcular el número de Reynolds
- Determinar la rugosidad absoluta
- Determinar el coeficiente de fricción con la fórmula de Darcy-Weisbach
- Comparar el coeficiente de fricción calculado con el coeficiente de fricción obtenido con el diagrama de Moody o formula de Swamme.

1.5 RESULTADOS

Análisis de resultados

1.6 CONCLUSIONES

1.7 RECOMENDACIONES

1.8 BIBLIOGRAFÍA

D. F. MORALES y A. J. HIDALGO CRUZ , «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA LA DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS Y EN ACCESORIOS, PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA PUCE” ,» QUITO, 2019.

Y. A. ÇENGEL y J. M. CIMBALA, MECÁNICA DE FLUIDOS FUNDAMENTOS Y APLICACIONES, México, D.F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A., 2006.

R. Fox y A. McDonald, Introducción a la Mecánica de Fluidos, México: McGraw-Hill Interamericana de México., 1990.

PRÁCTICA N° 02

PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR ACCESORIOS

OBJETIVOS

2 Objetivo general

- Determinar la pérdida de energía por accesorios en las cuatro trayectorias de tuberías, utilizando un medidor de presión, un rotámetro, un medidor de flujo ultrasónico.

2.1 Objetivo específico

- Calcular el coeficiente de resistencia K y la longitud equivalente L/D para los diferentes accesorios que existen en el sistema y compáralo con el valor teórico.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Perdidas de carga por fricción.

Las pérdidas por accesorios se presentan debido a cambios bruscos en la dirección del fluido, para conocer estos cambios es necesario tener conocimientos tanto de la longitud equivalente, así como de su factor k que se encuentra en función del factor de fricción y su longitud equivalente

Uno de los mejores métodos para evaluar las pérdidas por accesorios es determinar un valor k global (coeficientes de resistencia) así como también de las caídas de presión. Se lo determina a través de la ecuación de Cengel et al.

$$h_{acc} = k \frac{V^2}{2 * g}$$

Ecuación 1 Cengel et al. Ecuación pérdida por accesorios

Dónde:

- h_{acc} : Pérdidas por accesorios
- k : Coeficiente de pérdida local (adimensional).
- g : Gravedad (m/s^2)
- v : velocidad del fluido (m/s)

2.2.2 Diagrama de Moody.

El método más comúnmente utilizado para encontrar el valor del factor de fricción es mediante el diagrama de Moody, mismo que ilustra al factor de fricción f vs el número de Reynolds Re acompañado de una serie de curvas paramétricas que relacionan la rugosidad relativa ε/D , dichas curvas son el resultado de datos experimentales de L.F. Moody.

2.2.3 Factor de fricción (f).

En la fórmula de Darcy-Weisbach no se puede deducir de manera simple el factor de fricción (f) este factor se lo determina de manera experimental bajo las siguientes condiciones: flujo laminar ($Re < 2000$) se encuentra solamente en función del número de Reynolds, Flujo turbulento ($Re > 4000$) depende también de las paredes de la tubería.

En la región conocida con el nombre de “zona crítica” comprendida entre los valores de 2000 a 4000 el flujo puede presentarse como flujo turbulento al igual que flujo laminar dependiendo de otros factores que pueden ser, variaciones en la sección, cambios en la dirección de flujo, obstrucciones presentes en sistema ocasionados por válvulas. En la zona crítica el factor de fricción es indeterminado pero de encontrarse en la zona de flujo laminar ($Re < 2000$) se lo puede determinar con la siguiente ecuación.

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

Ecuación 2 Factor de fricción flujo laminar

Dónde:

- f : Factor de fricción (adimensional)
- Re : Numero de Reynolds (adimensional)

Cuando el flujo es turbulento ($Re > 4000$) el factor de fricción depende del número de Reynolds, rugosidad de las paredes en la tubería ε y el diámetro interno de la tubería (D_i) para encontrar la magnitud del factor de fricción se utiliza el diagrama de Moody o la fórmula de Swamme, se podría utilizar también la fórmula de Colebrook White, pero se generaría un proceso iterativo.

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{\varepsilon}{3.7 * D_i} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2}$$

Ecuación 3 Factor de fricción flujo turbulento

Dónde:

- f : Factor de fricción (adimensional)
- Re : Numero de Reynolds (adimensional)
- D_i : Diámetro interno (m)
- ε : Rugosidad paredes de tubería (m)

2.3 INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LA PRACTICA

- Verificar que la bomba esté funcionando correctamente.
- Encender a 5400 rpm para lograr un caudal de 2.1m³/h.
- Abrir la llave de paso ubicada en la parte superior del rotámetro
- Abrir la llave de globo y la de compuerta de la trayectoria en la que se requiera analizar las perdidas por fricción.
- Conectar los acoples rápidos del manómetro digital a los acoples Npt presentes en tramos y accesorios.
- En el manómetro escoger la escala adecuada Psi o mmHG.
- Abrir las llaves globo de ¼" existentes en cada acople Npt.
- Medir con el manómetro la pérdida de presión existente en el tramo analizado.

2.3.1 Materiales y equipos

- Banco hidráulico Cussons P6100
- Rotámetro
- Medidor de presión
- Medidor de flujo ultrasónico.

2.3.2 Procedimiento

2.4 ACTIVIDADES POR DESARROLLAR

- Determinar la pérdida de energía en el accesorio analizado.

- Obtener la velocidad del flujo que circula en el sistema
- Determinar el coeficiente de resistencia K con la ecuación de pérdidas de carga por accesorios
- Calcular el número de Reynolds
- Determinar la rugosidad absoluta
- Obtener el coeficiente de fricción con el diagrama de Moody
- Determinar la longitud equivalente L/D mediante la fórmula de Darcy- Weisbach
- Comparar la longitud equivalente L/D experimental con la longitud equivalente teórica

2.5 Resultados

Análisis de resultados

2.6 CONCLUSIONES

2.7 RECOMENDACIONES

2.8 BIBLIOGRAFÍA

D. F. MORALES y A. J. HIDALGO CRUZ , «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA LA DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS Y EN ACCESORIOS, PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA PUCE”,» QUITO, 2019.

Y. A. ÇENGEL y J. M. CIMBALA, MECÁNICA DE FLUIDOS FUNDAMENTOS Y APLICACIONES, México, D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A., 2006.

R. Fox y A. McDonald, Introducción a la Mecánica de Fluidos, México: McGraw-Hill Interamericana de México., 1990.