

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Diseño e instalación de una unidad de caídas de presión en tuberías y accesorios, de hierro galvanizado, en el laboratorio de operaciones unitarias del departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala

Jorge Alexander López Morán

Guatemala
2005

Diseño e instalación de una unidad de caídas de presión en tuberías y accesorios, de hierro galvanizado, en el laboratorio de operaciones unitarias del departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Diseño e instalación de una unidad de caídas de presión en tuberías y accesorios, de hierro galvanizado, en el laboratorio de operaciones unitarias del departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala

Jorge Alexander López Morán

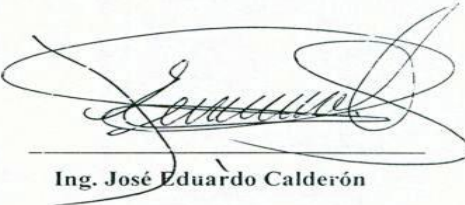
Trabajo de Graduación presentado para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química

Guatemala
2005

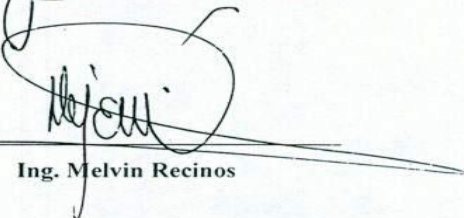
Vo. Bo.:

(f) 
Ing. Jorge Emilio Godinez Lemus

Tribunal:

(f) 
Ing. José Eduardo Calderón

(f) 
Ing. Jorge Emilio Godinez Lemus

(f) 
Ing. Melvin Recinos

Fecha de Aprobación: 2 de diciembre de 2005.

Le dedico este trabajo:
Con todo corazón, a mi madre
a la memoria de mi padre
mis hermanos
amigos
y sobre todo a DIOS TODOPODEROSO

PREFACIO

Le agradezco a mis catedráticos que estuvieron en la trayectoria de mis estudios y me aportaron sus conocimientos, Lic. Víctor Cortez, Msc. Eduardo Alvarez, Ing. Luis Pineda, Ing. Melvin Recinos, Ing. Federico Salazar, Ing. Jorge Godinez. A los consejos que me dio la Dra. Alba Tabarini, y sobre todo al Ing. Eduardo Calderón que autorizó este trabajo de graduación.

RESUMEN

Este trabajo consta del diseño e instalación de una unidad de caídas de presión en tuberías y accesorios, de hierro galvanizado como principal material, en el laboratorio de operaciones unitarias del departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala.

La unidad didáctica consta de una tanque de agua, una bomba centrífuga, un rotámetro y ocho líneas de tuberías, donde cada línea tiene un diferente objetivo de flujo de fluidos. Cada línea del ramal de tuberías esta constituido por un manómetro de entrada y salida, esto con el propósito de medir una diferencia de presión, así como también una válvula de bola a la entrada y a la salida, con el propósito de poder tener cerradas todas las líneas, excepto en la que se este midiendo las caídas de presión.

El largo del tramo en las tomas de presión de las líneas No.4, 5, 6, 7, 8 es de 2.300 m, la línea No.1 es de 2.700 m de largo con doce codos de 90° , 2.070 m de largo para la línea No.2 con doce codos de 45° y para la línea No.3 con cuatro diferentes válvulas es de 2.050 m el largo.

Se diseñaron cuatro prácticas con el objetivo de poderlas realizar en dicha unidad, en este informe se muestra cómo se realizaron los cálculos de los resultados de las pruebas de las prácticas mencionadas.

ABSTRACT

The following work was carried out by designing and installing a unit for pressure drops using pipes and accessories, made of galvanized iron primary, in the laboratory of unitary operations from the department of Chemical Engineering in University del Valle de Guatemala.

The dedicated unit consists of a water tank, a centrifuge pump, a rotameter and 8 pipe lines, each for a different study case for the fluids. All pipes are constituted by an entrance and exit manometer, which measures the pressure difference, and an entrance and exit ball valve which maintains closed all the pipes except the one being analyzed to measure the pressure drops.

The length of the section where pressure is taken varies depending on the pipe; for pipes No. 4, 5, 6, 7, 8 it is 2.300m, pipe No.1 is 2.718m, pipe No.2 is 2.070m and for pipe No.3 it is 2.050m. Pipe No.1 has 12 elbows of 90°, and pipe No.2 has 12 elbows of 45°. Finally pipe No.3 has 4 different valves.

4 experiments were made to be completed by the unit, and in this work it is shown how the calculations of the results were made

ÍNDICE

	Página
PREFACIO	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
CONTENIDO	vii
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE GRÁFICOS.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES.....	2
A. Flujo de fluidos.....	2
B. Unidades para medir cantidades de fluido.....	2
C. Medidores de presión en un fluido.....	4
D. Tipos de flujo.....	4
1. Numero de Reynolds.....	4
2. Flujo laminar.....	5
3. El flujo turbulento.....	6
E. Equipo de bombeo para los líquidos.....	6
1. la bomba centrífuga.....	6
F. Pérdidas de energía en tubería.....	7
1. Pérdidas de carga por fricción o rozamiento.....	8
2. Pérdidas menores o locales.....	8
G. Accesorios de tuberías.....	10
1. Tipo de accesorios.....	10
a. Codos.....	10
b. Tees.....	10
c. Reducción.....	10
d. Válvulas.....	10
1) Válvulas tipo compuerta.....	10
2) Válvulas de globo.....	11
3) Válvulas de bola.....	11
4) Válvulas de retención.....	11
H. El golpe de ariete en instalaciones de bombeo.....	13
III. JUSTIFICACIÓN	14
IV. OBJETIVOS.....	15
A. Generales.....	15
B. Específicos.....	15
V. PROBLEMA A RESOLVER.....	16
VI. METODOLOGÍA	17
A. Relevamiento de información.....	17
B. Evaluación de variables.....	17
C. Diseño del equipo.....	17
D. Cotización de materiales.....	17
E. Compra de materiales.....	17
F. Construcción del equipo.....	17
G. Prueba del equipo.....	17

H.	Diseño de cuatro prácticas.....	17
I.	Entrega de la unidad didáctica e informe final.....	18
VII.	RESULTADOS.....	19
A.	Planos de la unidad didáctica.....	19
B.	Partes de la unidad didáctica.....	24
C.	Datos técnicos de la unidad didáctica.....	24
D.	Resultados de pruebas en el diseño.....	26
E.	Operación de la unidad diseñada.....	27
F.	Experimentos establecidos.....	28
1.	Práctica No.1 Pérdidas por fricción en función del diámetro de tubería de hierro galvanizado.....	28
2.	Práctica No.2 Pérdidas por fricción en función de cambios de dirección de flujo entre dos tuberías de hierro galvanizado.....	29
3.	Práctica No.3 Pérdidas por fricción en función de una tubería de hierro galvanizado con cuatro diferentes válvulas.....	30
4.	Práctica No.4 Pérdidas por fricción en función de tuberías de un mismo diámetro y de diferente material.....	31
G.	Costo total de la unidad de caídas de presión.....	32
VIII.	DISCUSIÓN.....	33
IX.	CONCLUSIONES.....	38
X.	RECOMENDACIONES.....	39
XI.	BIBLIOGRAFÍA.....	40
XII.	APÉNDICE.....	41
A.	Cálculo de muestra.....	42
1.	Cálculo de caudal experimental.....	42
2.	Conversión de L/min a m ³ /s para la línea No.6.....	42
3.	Conversión de presión de bar a kpa en la línea No.6.....	42
4.	Cálculo de ΔP en la línea No.6.....	43
5.	Cálculo de velocidad.....	43
6.	Número de Reynolds.....	43
7.	h_f experimental.....	44
B.	Datos originales.....	45
C.	Datos calculados.....	48
D.	Cotización de materiales.....	50
E.	Gráficas utilizadas.....	53

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Pérdidas de cargas en accesorios.....	9
2. Características generales de válvulas.....	12
3. Accesorios en cada línea del ramal de tuberías.....	24
4. Largo de tubería entre los tramos de las tomas de presión.....	24
5. Codificación y desempeño de válvulas en el diseño.....	25
6. Identificación de material y dimensiones de cada línea del ramal de tuberías.....	25
7. Pérdidas por fricción experimental y caudal experimental del ramal de tuberías de las líneas No.1, 2, 3, 4.....	26
8. Pérdidas por fricción experimental y caudal experimental del ramal de tuberías línea No. 5, 6, 7, 8.....	26
9. Re en las tuberías del ramal de tuberías a diferentes caudales.....	27
10. Re en las tuberías del ramal de tuberías a diferentes caudales.....	27
11. Manejo de las válvulas en la práctica No. 3.....	30
12. Costo total de la unidad de caídas de presión.....	32
13. Datos de flujo volumétrico para calibrar el rotámetro.....	45
14. Largos de los tramos entre los dos manómetros de las líneas No. 1-8.....	45
15. Datos de tomas de presión a diferentes caudales en el ramal de tuberías.....	46
16. Datos de tomas de presión a diferentes caudales en el ramal de tuberías (continuación).....	47
17. Cambios de presión en las tuberías del ramal.....	48
18. Cambios de presión en las tuberías del ramal.....	48
19. Cambios de presión en las tuberías del ramal (continuación).....	49
20. Velocidades medias en las tuberías normalizadas del ramal.....	49
21. Velocidades medias en las tuberías normalizadas del ramal.....	49
22. Velocidades medias en las tuberías normalizadas del ramal (continuación).....	50
23. Constantes utilizadas en el cálculo de h_f experimental.....	50
24. Costos de accesorios de hierro galvanizado.....	50
25. Costos de accesorios de hierro galvanizado (continuación).....	51
26. Costos de accesorios de hierro galvanizado (continuación).....	51
27. Costos de accesorios de cobre.....	52
28. Costos de accesorios de PVC.....	52
29. Costos de tubos.....	52
30. Resumen de costos.....	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfica	Página
1. Esquema de un rotámetro.....	3
2. Medidor de presión.....	4
3. Perfil de velocidad de flujo laminar.....	5
4. Perfil de velocidad de flujo turbulento.....	6
5. Válvula de compuerta.....	10
6. Válvula de bola.....	11
7. Válvula de retención.....	12
8. Unidad didáctica de caídas de presión en tuberías y accesorios (vista frontal).....	20
9. Unidad didáctica de caídas de presión en tuberías y accesorios (vista a 45°).....	21
10. Medidas de la unidad de caídas de presión en tuberías y accesorios.....	22
11. Identificación de accesorios en la unidad didáctica.....	23
12. Curva de calibración del rotámetro.....	53
13. Re vrs h_f para la línea No.1.....	54
14. Re vrs h_f para la línea No.2.....	55
15. Re vrs h_f para la línea No.3.....	56
16. Re vrs h_f para la línea No.4.....	57
17. Re vrs h_f para la línea No.5.....	58
18. Re vrs h_f para la línea No.6.....	59
19. Re vrs h_f para la línea No.7.....	60
20. Fotografía trasera de la unidad didáctica.....	61
21. Fotografía lateral de la unidad didáctica.....	62
22. Fotografía frontal de la unidad didáctica.....	63

I. INTRODUCCIÓN

El propósito de la realización de este informe es explicar de una forma detallada el efecto que tiene la fricción existente en las tuberías y en sus accesorios en la caída de presión de un fluido. Particularmente, este informe consta de una parte teórica que involucra generalidades del tema y las ecuaciones necesarias para obtener resultados y cumplir los objetivos establecidos. Así mismo se considera como una parte importante del informe, la descripción del procedimiento, con el fin que el lector comprenda de una mejor manera cómo se llevó a cabo la realización del presente trabajo de graduación y cómo se obtuvieron los resultados. Finalmente se establecen las conclusiones del diseño y con el fin de tener una mejora continua también se proponen ciertas recomendaciones futuras.

II. ANTECEDENTES

A. Flujo de fluidos

En ingeniería química resulta de una gran importancia en la mayoría de las operaciones unitarias, el manejo de flujo de fluidos. En general, se considera un fluido como una sustancia que no resiste de manera constante la aplicación de un esfuerzo cortante, o la aplicación de una fuerza, por lo tanto se deforma. En general, el concepto intuitivo de flujo es aceptable, no obstante, es un poco limitado, puesto que la concepción general se limita a considerar fluidos a los líquidos, sin embargo, hay flujos gaseosos e incluso en sólidos fluidizados (Ronald, 1994: 75).

B. Unidades para medir cantidad de fluido

1. Medidores de flujo. La cantidad de cierto líquido, gas o vapor se puede medir en unidades de masa, y el régimen de flujo en unidades de masa por unidad de tiempo, por ejemplo, en metros cúbicos por segundo, con mucha frecuencia se mide la cantidad de un fluido en unidades de volumen y el régimen de flujo en unidades de volumen por unidad de tiempo (Ronald, 1994:75).

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación No. 1}$$

V = volumen m³

t = tiempo en segundos

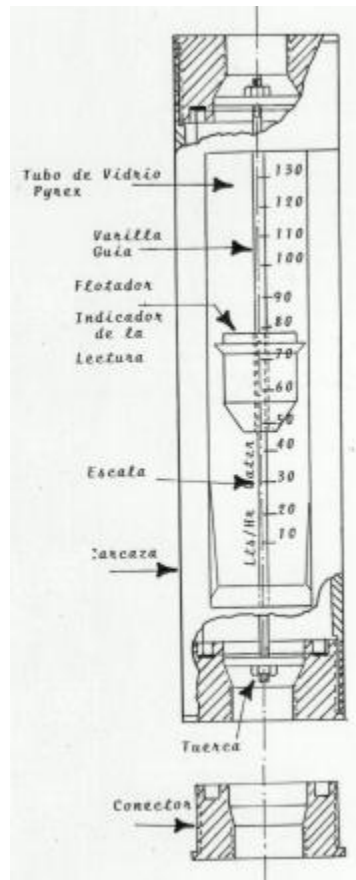
$$v = \frac{Q}{S} \quad \text{Ecuación No. 2}$$

v = La velocidad media

Q = caudal en m³/s

S = área de la sección transversal del tubo (área de flujo)

a. Rotámetros



Grafica No. 1 Esquema de un rotámetro

Un rotámetro tiene la ventaja de ser un instrumento de medición directa, es decir, que se puede leer inmediatamente el flujo, una vez calibrado el aparato. En la actualidad los rotámetros se han vuelto los instrumentos de mayor uso en la ingeniería química, debido a su versatilidad y fácil instalación. La base de este aparato de medición es la sustentación hidrodinámica, puesto que el fluido entra en la parte inferior y eleva un flotador a una altura en la cual encuentra su equilibrio entre su peso y la sustentación que ofrece el fluido. Debido a esto, la altura a la cual llega dicho flote es proporcional a la velocidad de flujo del fluido. Como se observa en la figura, el rotámetro posee una escala, sobre la cual se pueden leer valores que se pueden correlacionar de manera rápida para obtener el flujo instantáneo a través de la tubería. Los rotámetros han mostrado su versatilidad al trabajar de manera aceptable con líquidos y gases a altas y bajas presiones con resultados satisfactorios. En la actualidad se han ajustado a los rotámetros válvulas y sensores hidroneumáticos o bien fotoeléctricos, de modo que se pueda medir y registrar las medidas de un rotámetro por medio de una computadora. Otra gran ventaja de los rotámetros es que no requieren de espacios de tubería para que se reajuste el perfil de velocidad (Mc Cabe, 1991:246).

La calibración de rotámetro se realiza midiendo el volumen en determinado tiempo, luego se realiza una curva de calibración según la siguiente ecuación matemática (Mc Cabe, 1991:247):

$$y = ax + b$$

Ecuación No. 3

Donde

x = es el flujo teórico

C. Medidores de presión en un fluido

1. Manómetros de presión. Manómetros de presión para determinar la presión absoluta, el vacío o la presión diferencial (Corcho, 1998:145).



Grafica No. 2 Medidor de presión (manómetro)

D. Tipos de flujo

Existen, en general, diversos tipos de flujo, hay varias clasificaciones, de acuerdo a su comportamiento con respecto a la viscosidad y de acuerdo con el régimen o forma con la que fluyen. Los fluidos que responden a la viscosidad de acuerdo con la ley de Newton se llaman fluidos Newtonianos, no obstante existen otros, que requieren un esfuerzo adicional antes de comenzar a fluir, en general, se analizan los fluidos Newtonianos que son más sencillos de analizar. Otra posible clasificación, es de acuerdo con el tipo de régimen bajo el cual fluyen. Aquí cabría hacer la clasificación entre fluido laminar y fluido turbulento (Mc Cabe, 1991:47).

1. Número de Reynolds. Debido a una amplia experimentación en torno al régimen de los fluidos, se llegó a determinar que el régimen de un fluido no es función únicamente de la velocidad de trasiego, sino también de las propiedades del fluido, siendo éstas las más importantes: la densidad, la

viscosidad y el diámetro de la tubería que envuelve al fluido mientras desarrolla una velocidad determinada. Se notó que a medida que la velocidad de trasiego aumenta, hay mayor tendencia a tener un flujo turbulento, así mismo si el diámetro aumenta, con la densidad del fluido se tiene que si la densidad aumenta, hay mayor cantidad de moléculas por unidad de volumen, por lo tanto mayores colisiones y una mayor propensión a un flujo turbulento, finalmente la viscosidad influye de una manera inversa, si esta aumenta el fluido tenderá a un régimen laminar. Entonces, el número de Reynolds es un número adimensional, por lo que no importa el sistema de unidades que se utilice, siempre será igual para el mismo proceso, que ofrece un buen método para analizar el régimen del fluido, y el paquete de ecuaciones a los cuales este se ajusta de mejor manera. La ecuación de este número es de la siguiente forma (Mc Cabe, 1991:59):

$$\text{Re} = \frac{D\bar{V}\rho}{\mu} \quad \text{Ecuación No. 4}$$

Donde:

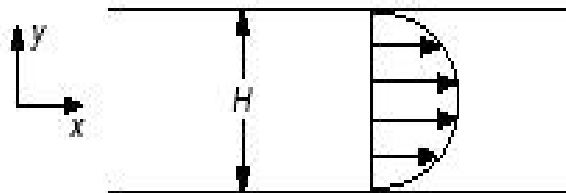
Re es el número de Reynolds

D es el diámetro interno de la tubería,

\bar{v} velocidad media

ρ es la densidad del fluido.

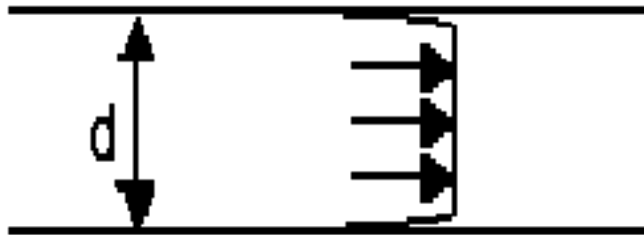
El criterio de decisión sobre el tipo de régimen determina que un fluido fluye en régimen laminar si su número de Reynolds es menor que 2,100, es turbulento si es mayor de 4,000, si queda dentro de este intervalo el fluido se encontrará en etapa de transición, lo que lo hace difícil de manejar matemáticamente, aunque en la realidad operativa, la transición es difícil de percibir (Mc cabe, 1991:59).



Grafica No. 3 Perfil de velocidad del flujo laminar.

2. El flujo laminar. Mucho se ha hablado de los regímenes de flujo, mas no se ha explicado mayor cosa de ellos. En general, los regímenes de importancia son laminar y turbulento, el flujo laminar es

el flujo en el cual no existe entremezclado. Se ha explicado con el experimento de Reynolds que consistía en hacer fluir agua en un tubo transparente, a diferentes velocidades, en determinado momento, cuando el régimen de flujo se encuentra bien establecido, se inyecta un líquido de color y se observa la tendencia del colorante. En el régimen laminar, no existe mezclado y el colorante se mueve en línea recta, lo que permite que el fluido en régimen laminar se considere como un fluido de placas infinitesimales que son desplazadas por la acción del esfuerzo cortante que se les aplica. Estas placas forman un perfil de velocidad, debido a que a medida que se acerca al extremo del tubo que trasiega el fluido la velocidad de trasiego es menor, lo que produce un perfil de velocidades con forma de ojiva que es mejor definida mientras más pequeña sea la velocidad de flujo (Mc Cabe, 1991:48).



Grafica No. 4 Perfil de velocidad para el flujo turbulento.

3. El flujo turbulento. Es aquel en que el fluido se mezcla totalmente, esto permite considerar la velocidad del fluido como una constante, es decir, el perfil de velocidad tiene una tendencia a ser recto, no una ojiva como en el laminar. Para este tipo de flujo, los cálculos se simplifican de gran manera, puesto que no hay un gradiente de velocidad dentro del tubo por la posición dentro del mismo, sino solo por cambios en la energía cinética del fluido (Mc Cabe, 1991:55).

E. Equipo de bombeo para los líquidos

Los líquidos usados en las industrias químicas diferencian considerablemente en características físicas y químicas. Y ha sido necesario desarrollar una variedad amplia de equipo de bombeo (Geankopolis, 1998:415)

Las dos formas principales son *el tipo positivo de la dislocación y las bombas centrífugas* (Geankopolis, 1998:415):

1. La bomba centrífuga. La bomba centrífuga es en gran medida usado lo más extensamente posible mecanografía adentro el producto químico y las industrias petroleras. Bombeará líquidos con las características muy vastas y suspensiones con el contenido de sólidos de un colmo incluyendo, por ejemplo,

las mezclas del cemento, y puede ser construida de una amplia gama de los materiales resistentes de la corrosión. La cubierta entera de la bomba se puede construir de los plásticos tales como polipropileno o puede ser cabida con una guarnición resistente de la corrosión. Porque funciona en la velocidad, puede ser juntada directamente a un motor eléctrico y dará un alto caudal para su tamaño. En este tipo de bomba, el líquido se alimenta al centro del impeedor que rota (ojo del impeedor) y es lanzado hacia fuera por la acción centrífuga. Como resultado de la velocidad de la rotación, el líquido adquiere una alta energía cinética y la diferencia de la presión entre la succión y los lados de la entrega se presenta de la conversión de la energía cinética en energía de la presión. El impeedor consiste en una serie de paletas curvadas así que formada que el flujo dentro de la bomba es tan liso como sea posible. Cuanto mayor es el número de paletas en el impeedor, mayor es el control sobre la dirección del movimiento del líquido y por lo tanto más pequeñas es las pérdidas debido a la turbulencia y a la circulación entre las paletas (Geankopolis, 1998:418).

F. Pérdidas de energía en tuberías

Según la ecuación de Bernoulli:

De Bernoulli tenemos que la perdida por fricción se denota por (Barderas, 1990:115):

$$h_f = \frac{P_a - P_b}{\rho} + g(z_a - z_b) + \eta W_p + \frac{Q^2}{2} \left[\frac{1}{S_1^2} - \frac{1}{S_2^2} \right]$$

$$h_f = \frac{\Delta P}{\rho} + g(\Delta z) + \eta W_p + \frac{Q^2}{2} \left[\frac{1}{S_1^2} - \frac{1}{S_2^2} \right]$$

Ecuación No. 5

h_f = perdida por fricción

ΔP = diferencial de presión

Δz = diferencial de alturas

ηW_p = trabajo de la bomba

S = área de sección transversal de la tubería (área de flujo)

De acuerdo con la ecuación de perdida de fricción total (Ronald, 1994:312):

$$h_f = \left[4f \frac{1}{D} + K_f \right] \frac{\bar{V}^2}{2}$$

Ecuación No. 6

Donde

f = es el coeficiente de fricción de Fanning

\bar{V} = la velocidad media en el tubo

D = el diámetro interno del tubo

l = su longitud

K_f = es el coeficiente de fricción por accesorios

Al hablar de la ecuación de Bernoulli, se define que (Mc Cabe, 1991:92):

Cuando un fluido circula por una tubería, sufre pérdidas en su energía por diferentes causas; siendo las más comunes las pérdidas por:

- Rozamiento
- Entrada
- Salida
- Obstrucciones (válvulas, medidores, etc.)
- Cambio de dirección en la circulación.

Normalmente las pérdidas más importantes son las debidas al rozamiento y se denominan "pérdidas mayores". En algunos casos, las pérdidas puntuales debidas a cambios de diámetro o secciones, cambios de dirección de flujo, válvulas, etc., que se denominan "pérdidas menores", pueden ser de importancia (Corcho, 1998:115).

1. **Pérdidas de carga por fricción o rozamiento.** Las paredes de la tubería ejercen una resistencia continua al flujo de los fluidos. En flujo permanente en una tubería uniforme, el esfuerzo constante en la zona de contacto del fluido con la tubería es uniforme a lo largo de la misma y esta resistencia produce una rata uniforme de pérdida de energía a lo largo de la tubería. Las pérdidas de energía a lo largo de una tubería se denominan comúnmente "pérdidas por fricción" y se denotan por h_f . Cuando la tubería es de gran longitud, las pérdidas por fricción llegan a ser tan grandes que a veces pueden desprejarse las demás pérdidas por ser muy pequeñas comparadas con ella. Las pérdidas por fricción dependen de (Corcho, 1998:116):

- El material de que está construido el tubo (PVC, cobre, hierro galvanizado, acero inoxidable..)
- El estado de la tubería (Nueva, vieja, con incrustaciones,.. etc.)
- La longitud de la tubería
- El diámetro interno de la tubería
- Velocidad de circulación del fluido en la tubería.

2. **Pérdidas menores o locales.** Esta pérdida de carga que es proporcional al cuadrado de la velocidad, será tanto menor cuanto menos dificultad tengan los filetes al entrar al tubo, lo cual dependerá del grado de abocinamiento de la entrada. Casos similares suceden al pasar el agua de la tubería a un almacenamiento, en los cambios de dirección, en los ensanchamientos y contracciones tanto bruscos como graduales. Estas pérdidas menores están dadas en general, por fórmulas que dependen de las cargas de velocidad y cuyas expresiones generales son del tipo $K V^2/2g$ o, $K (V_1^2 - V_2^2)/2g$, cuyos coeficientes K son

típicos para cada caso particular y para lo cual se han construido tablas de acuerdo con experiencias de laboratorio (Corcho, 1998:116).

Cuadro No. 1 Pérdidas de carga en accesorios
(Subíndice 1 = aguas arriba y subíndice 2 = aguas abajo)

ACCESORIOS	PÉRDIDAS DE CARGA MEDIA
1- De depósito a tubería. Pérdida de entrada. - Conexión a ras de la pared - Tubería entrante	$0,5 \frac{v^2}{2g}$ $1,00 \frac{v^2}{2g}$
2 – De tubería a depósito. Pérdida a la salida.	$1,00 \frac{v_1^2}{2g}$
3 – Ensanchamiento brusco	$\frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$
6 – Contracción brusca	$K_c \frac{v_2^2}{2g}$
7 – Codos, accesorios, válvulas Algunos valores corrientes de K son: - 45°, codo0,35 a 0,45 - 90°, codo0,50 a 0,75 - Tees1,50 a 2,00	$k \frac{v^2}{2g}$

(Greene, 1994:169)

G. Accesorios de tuberías

Es el conjunto de piezas moldeadas o mecanizadas que unidas a los tubos mediante un procedimiento determinado forman las líneas estructurales de tuberías de una planta de proceso (Corcho, 1998:312).

1. Tipos de accesorios. Entre los tipos de accesorios más comunes se describen a continuación (Corcho, 1998:312):

a. Codos. Son accesorios de forma curva que se utilizan para cambiar la dirección del flujo de las líneas tantos grados como lo especifiquen los planos o dibujos de tuberías. Entre los tipos de codos están codos estándar de 45°, codos estándar de 90°, Codos estándar de 180° (Corcho, 1998:312).

b. Tees. Son accesorios que se fabrican de diferentes tipos de materiales, aleaciones, diámetros y se utiliza para efectuar fabricación en líneas de tubería. Entre los tipos de tees están los de igual diámetro, o te de recta, reductora con dos orificios de igual diámetro y uno desigual (Corcho, 1998:312).

c. Reducción. Son accesorios de forma cónica, fabricadas de diversos materiales y aleaciones. Se utilizan para disminuir el volumen del fluido a través de las líneas de tuberías. Entre los tipos de reducciones están los de estándar concéntrica, estándar excéntrica (Corcho, 1998:312).

d. Válvulas: dispositivo mecánico para controlar, retener, regular, o dar paso a cualquier fluido entubado. Existen numerosos tipos de válvulas diseñadas para cierto tipo de uso, la mala elección de estas puede llevar al mal funcionamiento y así acortar la vida útil. Entre los tipos de válvulas tenemos (Corcho, 1998:312):

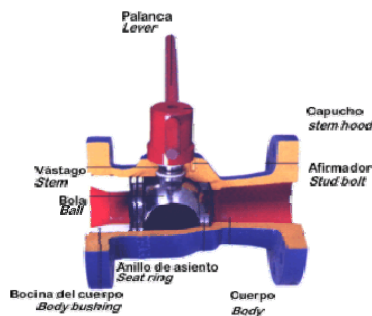
1) Válvulas tipo compuerta. Es utilizada para el flujo de fluidos limpios y sin interrupción, este tipo de válvula no es recomendable para estrangulamiento ya que posee un disco que se alterna en el cuerpo lo que causaría una erosión arruinando su funcionamiento. En las válvulas de compuerta el área máxima del flujo es el área del círculo formado por el diámetro nominal de la válvula, debido a esto es que se recomienda el uso en posiciones extremas, o sea, completamente abierta o completamente cerrada, ya que de ser así ofrecen la mínima resistencia al paso del fluido y así su caída de presión es muy pequeña (Corcho, 1998:314).



Grafica No. 5 válvula de compuerta

2) Válvulas de globo. La principal función de las válvulas de globo es regular el flujo de un fluido. Estas válvulas regulan el fluido desde el goteo hasta el sellado hermético. Además siguen siendo eficientes para cualquier posición del vástago. Debido a que la caída de presión es bastante fuerte (en todo caso siempre controlada) se utilizan en servicios donde la válvula de compuerta no puede. Estas válvulas necesitan igual espacio y pesan casi lo mismo que las válvulas de compuerta. Una de las características que posee esta válvula es la construcción interna, donde posee un disco o macho cuyo movimiento se alterna dentro del cuerpo. Se componen principalmente de volante, vástago, bonete, asientos, disco y cuerpo (Corcho, 1998:314).

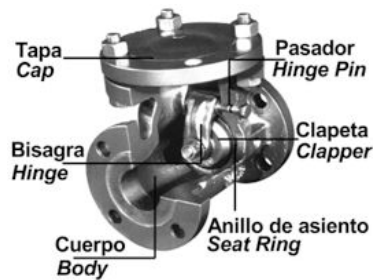
3) Válvulas de bola. Como su nombre lo dice este tipo de válvulas posee un macho esférico que controla la circulación del líquido. Estas válvulas son de macho modificadas, y su uso estaba limitado debido al asentamiento de metal con metal, el que no permitía el debido cierre. Los principales componentes de estas válvulas son el cuerpo, el asiento y la bola (Corcho, 1998:315).



Grafica No. 6 válvula de bola

Las válvulas de bola no requieren lubricación y funcionan con un mínimo de torsión. Casi siempre la bola es flotante y el sellamiento se logra con la presión de corriente hacia arriba que empuja la bola contra el anillo de asiento. El flujo en los asientos restringidos en las válvulas de globo y alrededor del macho ocasiona grandes caídas de presión (Corcho, 1998:315).

4) Válvulas de retención. Las válvulas de retención se usan como medida de seguridad para evitar que el flujo retroceda en la tubería, también se usan para mantener la tubería llena cuando la bomba no esta funcionando automáticamente. Este tipo de válvula de usa en serie con las de compuerta y funcionan en posición horizontal o vertical. La presión del fluido circulante abre la válvula; el peso del mecanismo de retención y cualquier inversión en el flujo la cierra. Existen distintos tipos de válvulas de retención y su selección depende de la temperatura, caída de presión que producen y la limpieza de fluido. Ciertas válvulas de retención se pueden equipar con pesos externos. Esto producirá el cierre rápido del disco. Este tipo de válvula se compone principalmente de asiento, cuerpo, disco, pasador oscilante (Corcho, 1998:318).



Grafica No. 7 Válvula de retención

Este tipo de válvulas se puede poner en posición vertical como horizontal, notando que en la posición vertical debe estar con flujo ascendente. Las válvulas de retención de bisagra se fabrican con una amplia gama de materiales: bronce, hierro, hierro fundido, acero forjado, acero fundido y acero inoxidable. Los extremos pueden ser de rosca, con brida o soldados (Corcho, 1998:318).

Cuadro No. 2 En que fijarse al pedir una válvula, características generales:

Tipo	Gama de tamaño (m)	Máxima presión (Kpa)	Máxima temperatura (°K)	Material de construcción
Retención	0.003175 – 0.6092	Hasta 68950	Hasta 922.04	Aleaciones especiales, acero inoxidable, acero, bronce, hierro
Bola	0.003175 – 0.762	Hasta 68950	Hasta 922.04 criogénica	Hierro, acero, latón, bronce, acero inoxidable; plásticos y aleaciones
Globo	0.0127 – 0.6096	Hasta 17237.5	Hasta 922.04	Aleaciones especiales, acero inoxidable, acero, bronce, hierro
Compuerta	0.0127 – 1.2192	Hasta 17237.5	Hasta 1255.37	Aleaciones especiales, acero inoxidable, acero, bronce, hierro

(Greene, 1994,:78)

H. El golpe de ariete en instalaciones de bombeo

El Golpe de ariete es un aumento brusco de presión en tuberías producido por el funcionamiento de válvulas o bombas. En bombeos es frecuente que se produzca golpe de ariete tras la parada de bombas. En muchos casos las presiones máximas medidas son muy superiores a lo que nos indican los cálculos. Estas sobrepresiones pueden causar serios daños en las válvulas, la tubería y la bomba (Corcho, 1998: 415).

III. JUSTIFICACIÓN

En la mayoría de industrias existe la necesidad de transportar fluidos de un punto a otro, por lo que se hace necesario el estudio de flujo de fluidos a través de tuberías y accesorios, este es uno de los pilares fundamentales del diseño de procesos por lo que su estudio es parte de la formación integral del ingeniero químico. Actualmente el laboratorio de operaciones unitarias del departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala cuenta con un equipo para el estudio del comportamiento del flujo de fluidos, el cual está construido de un solo material siendo éste PVC, sin embargo esta unidad ha sobrepasado su tiempo de vida útil, además de contar con muy pocos accesorios, por lo que se hace necesario el diseño y construcción de una nueva unidad mejor integrada para el estudio de flujo de fluidos y que proporcione al estudiante una formación completa.

IV. OBJETIVOS

A. Generales

Diseñar e instalar una unidad didáctica de tuberías y accesorios en el laboratorio de operaciones unitarias, utilizando como principal material de construcción hierro galvanizado, con su instrumentación completa, con el propósito de diseñar cuatro prácticas de caídas de presión y pérdidas por fricción.

B. Específicos

1. Diseñar y construir una unidad en donde se pueda estudiar las pérdidas por fricción a través de la determinación de caídas de presión de un fluido al circular por diferentes tuberías y accesorios

2. Diseñar cuatro prácticas de pérdidas por fricción con el fin de realizarlas en la unidad didáctica establecida.

3. Evaluar costos de materiales de construcción de la unidad a diseñar

V. PROBLEMA A RESOLVER

La unidad de caídas de presión en tuberías y accesorios que se encuentra actualmente instalada en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, presenta el inconveniente de que no se puede estudiar los fenómenos de flujo de fluidos en más de un material, ya que dicha unidad está construida en su totalidad de PVC.

VI. METODOLOGÍA

A. Relevamiento de información

Recabar información en literatura e Internet, ya sea proveedores nacionales e internacionales.

B. Evaluación de variables

Determinar la forma adecuada para evaluar las variables.

C. Diseño del equipo

Elaborar y elegir el mejor diseño que se adecue a los procedimientos de operación de flujo de fluidos y a las condiciones del lugar a ser instalada la unidad.

D. Cotización de materiales

Evaluar costos de distintos proveedores nacionales e internacionales con el fin de comprar las partes de la unidad didáctica al mejor costo posible.

E. Compra de materiales

Elegir la cotización que se adecue a los fondos de inversión del diseño del equipo.

F. Construcción del equipo

Montaje y construcción del diseño preestablecido.

G. Prueba del equipo

Probar el equipo a diversas capacidades para determinar cuales son los rangos de trabajo del equipo.

H. Diseño de cuatro prácticas

Elaborar distintas prácticas con el objetivo de estudiar el flujo de fluidos.

A. Entrega de la unidad didáctica e informe final

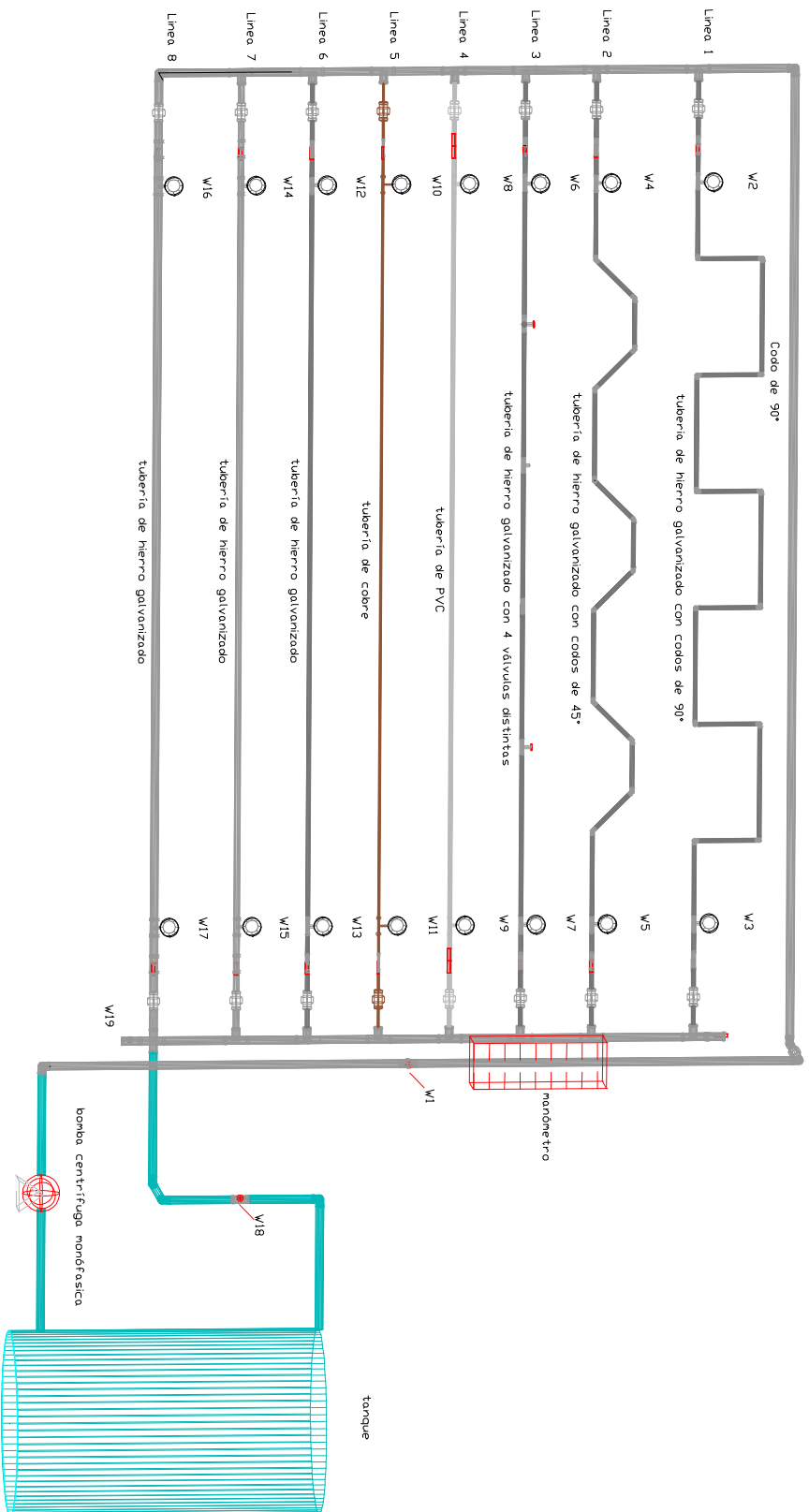
Hacer entrega oficial del equipo con todas sus especificaciones e informe final al Director de Ingeniería Química.

VII. RESULTADOS

A. Planos de la unidad didáctica

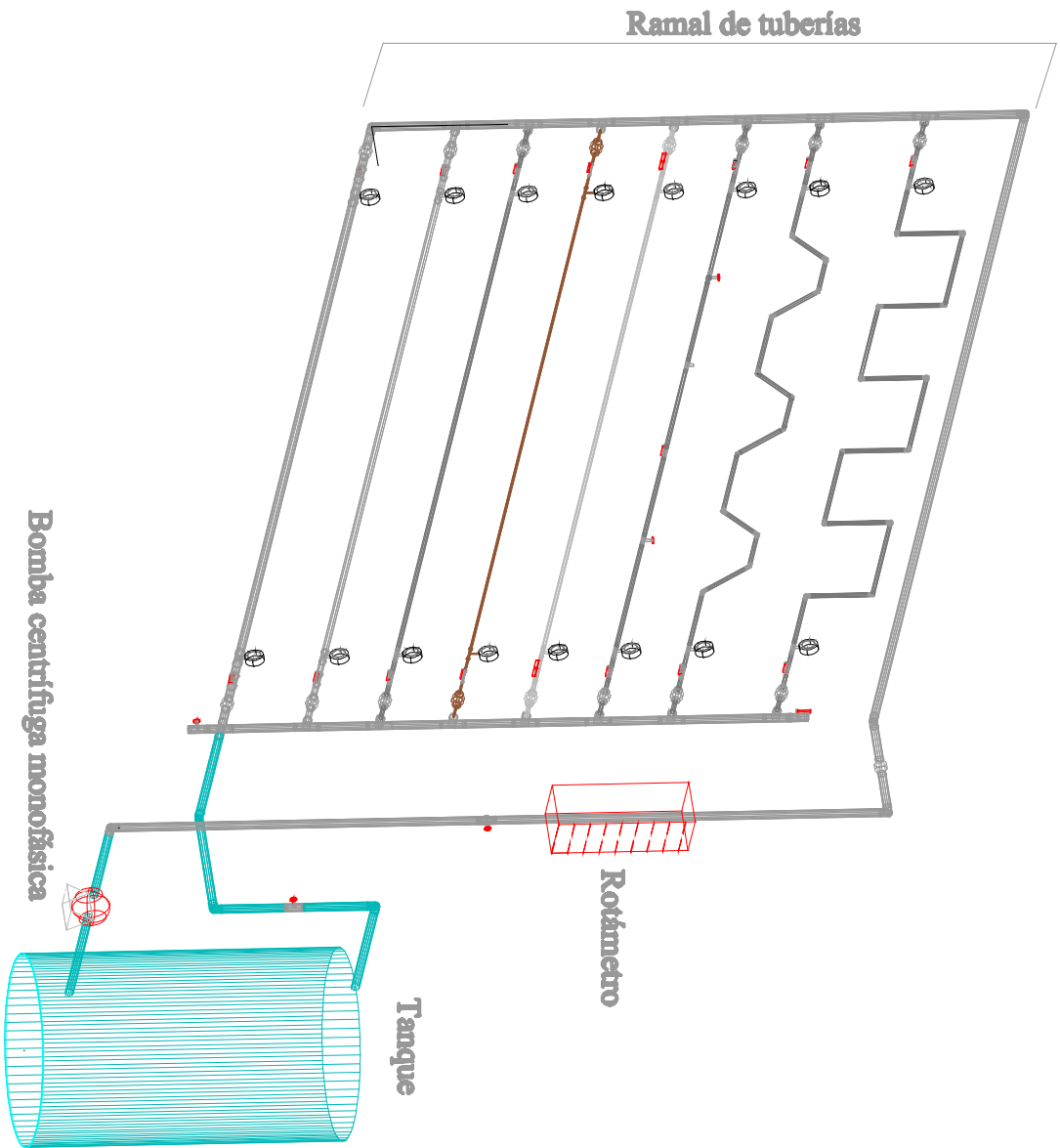
Gráfica No. 08

Identificación de líneas del ramal de tuberías



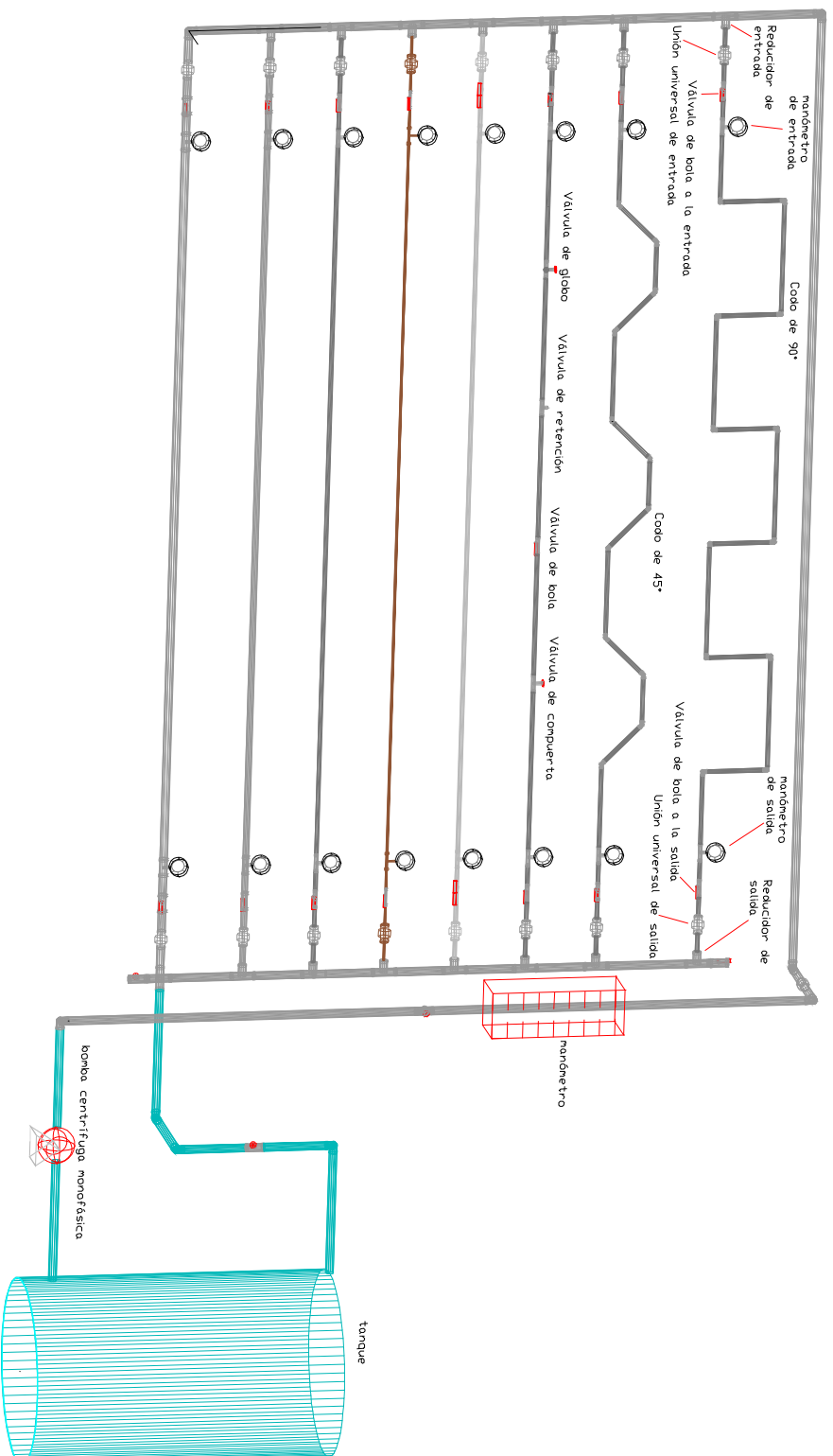
Sin escala

Gráfica No. 9
Vista isométrica de la unidad didáctica



Sin escala

Gráfica No. 10
Identificación de accesorios en la unidad didáctica



Sin escala

B. Partes de la unidad didáctica

1. Tanque de 0.2 m³
2. Bomba centrífuga de 1.11855kW
3. Rotámetro con lectura de 0.00016667m³/s a 0.0016667m³/s
4. Ocho líneas de tuberías normalizadas de diferente enfoque de la dinámica de fluidos
5. Cada línea posee un manómetro de entrada y un manómetro de salida con lectura de (0 – 4) bar.

C. Datos técnicos de la unidad didáctica

Cuadro No. 3 Accesorios en cada línea del ramal de tuberías

Línea No.	No. de accesorios	Tipo de accesorios
1	12	Codos de 90 ⁰
2	12	Codos de 45 ⁰
3	1	Válvula de globo
	1	Válvula de retención
	1	Válvula de bola
	1	Válvula de compuerta
4	0	--
5	0	--
6	0	--
7	0	--
8	0	--

Cuadro No. 4 Largo de tubería normalizada entre los tramos de las tomas de presión

Línea No.	Largo de tubería (m)
1	2.718
2	2.070
3	2.050
4	2.300
5	2.300
6	2.300
7	2.300
8	2.300

Cuadro No. 5 Codificación y objetivo de válvulas en el diseño

Línea No.	Codificación	válvula	Uso
--	W1	Globo	Reguladora de flujo
1	W2	Bola	Entrada de flujo
	W3	Bola	Salida de flujo
2	W4	Bola	Entrada de flujo
	W5	Bola	Salida de flujo
3	W6	Bola	Entrada de flujo
	W7	Bola	Salida de flujo
4	W8	Bola	Entrada de flujo
	W9	Bola	Salida de flujo
5	W10	Bola	Entrada de flujo
	W11	Bola	Salida de flujo
6	W12	Bola	Entrada de flujo
	W13	Bola	Salida de flujo
7	W14	Bola	Entrada de flujo
	W15	Bola	Salida de flujo
8	W16	Bola	Entrada de flujo
	W17	Bola	Salida de flujo
--	W18	Compuerta	Entrada de agua hacia el tanque (agua de regreso)
--	W19	Compuerta	Drenaje de la unidad
--	W20	Bola	Golpe de ariete

Cuadro No. 6 Identificación de material y dimensiones de cada línea del ramal de tuberías

Línea No.	Material de tubería	Diámetro interno de la tubería (diámetro de flujo) D_i (m)	Área de sección transversal (área de flujo) S (m ²)
1	Hierro galvanizado	0.0127	1.267×10^{-4}
2	Hierro galvanizado	0.0127	1.267×10^{-4}
3	Hierro galvanizado	0.0127	1.267×10^{-4}
4	PVC	0.0126	1.247×10^{-4}
5	Cobre	0.0124	1.208×10^{-4}
6	Hierro galvanizado	0.0127	1.267×10^{-4}
7	Hierro galvanizado	0.01905	2.850×10^{-4}
8	Hierro galvanizado	0.0254	5.067×10^{-4}

Nota: todas las tuberías son normalizadas

D. Resultados de pruebas en el diseño

Cuadro No.7 Pérdidas por fricción experimental y caudal experimental del ramal de tuberías de las líneas No.1, 2, 3, 4

No.	Q (m ³ /s)	Línea No. 1	Línea No.2	Línea No.3	Línea No.4
		h _f (J/kg)	h _f (J/kg)	h _f (J/kg)	h _f (J/kg)
1	0.00016457	0	0	0	0
2	0.00033277	0	0	50.11	0
3	0.00050097	12.53	0	170.38	0
4	0.00066917	70.16	60.13	NVSM	0
5	0.00083737	140.31	130.29	NVSM	6.36
6	0.00100557	NVSM	NVSM	NVSM	12.53
7	0.00117377	NVSM	NVSM	NVSM	40.089
8	0.00134197	NVSM	NVSM	NVSM	35.08
9	0.00151017	NVSM	NVSM	NVSM	50.11
10	0.00167837	NVSM	NVSM	NVSM	NVSM

NVSM: no hay variación sensible en el manómetro por ser muy pequeño el caudal

Cuadro No. 8 Pérdidas por fricción experimental y caudal experimental del ramal de tuberías línea No. 5, 6, 7, 8

No.	Q (m ³ /s)	Línea No.5	Línea No.6	Línea No.7	Línea No.8
		h _f (J/kg)	h _f (J/kg)	h _f (J/kg)	h _f (J/kg)
1	0.00016457	0	0	0	0
2	0.00033277	0	0	0	0
3	0.00050097	0	0	0	0
4	0.00066917	12.53	0	0	0
5	0.00083737	40.09	25.06	0	0
6	0.00100557	75.17	37.58	0	0
7	0.00117377	103.98	55.123	0	0
8	0.00134197	NVSM	70.16	17.54	0
9	0.00151017	NVSM	75.17	15.03	0
10	0.00167837	NVSM	NVSM	16.29	0

NVSM: no hay variación sensible en el manómetro por ser muy pequeño el caudal

Cuadro No. 9 Re en las tuberías del ramal de tuberías a diferentes caudales

Línea No.	Re	Re	Re	Re	Re
	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅
1	17,300	35,000	52,700	70,400	88,200
2	17,300	35,000	52,700	70,400	88,200
3	17,300	35,000	52,700	NLR	NLR
4	17,500	35,300	53,200	71,000	88,900
5	17,700	35,900	54,000	72,100	90,300
6	17,300	35,000	52,700	70,400	88,200
7	11,500	23,400	35,200	47,000	58,800
8	8,670	17,500	26,400	35,200	44,100

NLR: No hay lectura en el rotámetro

Cuadro No. 10 Re en las tuberías del ramal de tuberías a diferentes caudales

Línea No.	Re	Re	Re	Re	Re
	Q ₆	Q ₇	Q ₈	Q ₉	Q ₁₀
1	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR
2	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR
3	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR
4	107,000	125,000	142,000	160,000	NLR
5	108,000	127,000	NLR	NLR	NLR
6	106,000	124,000	141,000	159,000	NLR
7	70,600	82,400	94,200	106,000	118,000
8	53,000	61,800	70,600	79,500	88,300

NLR: No hay lectura en el rotámetro

E. Operación de la unidad diseñada

Para el siguiente procedimiento ver gráfica No.8, pág. No.20

1. Revisar que el tanque contenga agua.
2. Abrir válvula W 20, para asegurarse de que no halla presión dentro de la unidad.
3. volver a cerrar a válvula W 20
4. revisar que la válvula W 1 esté completamente cerrada.
5. revisar que la válvula W 18 esté completamente abierta.
6. tener cerradas todas las válvulas de bola de entrada y salida de cada línea del ramal de tuberías, excepto de donde se va dejar pasar el flujo.
7. arrancar la bomba
8. regular el flujo con la válvula W 1

9. tomar los datos de presión que están en los manómetros de entrada y salida de la línea a medir
10. abrir otra línea de tubería a medir.
11. luego cerrar la línea de tubería medida
12. repetir el proceso para todas las líneas
13. luego de hacer un estudio completo en la unidad de caídas de presión
14. cerrar completamente la válvula W 1
15. luego apagar la bomba
16. abrir válvula w 19 para drenar el agua que quedo dentro de la unidad
17. abrir la válvula W 20 para liberar presión dentro de la unidad de caídas de presión

G. Experimentos establecidos

Prácticas propuestas para que se lleven a cabo en la unidad de caídas de presión

1. Práctica No.1 Pérdidas por fricción en función del diámetro de tubería de hierro galvanizado.

Este experimento es para obtener el número de Reynolds, perdidas por fricción y el factor de fricción en una serie de diferentes diámetros de tubería obteniendo caídas de presión en diferentes flujos de agua.

- a. **Método.** Tomar referencia de operación de la unidad didáctica de caídas de presión (ver operación de la unidad diseñada, pág. No. 27). Se debe medir la presión en las líneas No. 6, 7, 8 del ramal de tuberías (ver grafica No. 9, pág. No. 21) en las cuales son tres tuberías de distintos diámetros de hierro galvanizado (el mismo material). Medir la presión en los diferentes flujos del rotámetro.
- b. **Interpretación de resultados.** Para calcular el número de Reynolds se muestra a continuación:

$$\text{Re} = \frac{D\bar{V}\rho}{\mu} \quad \text{Ecuación No. 4}$$

Donde:

D = diámetro interno de la tubería (diámetro de flujo)

ρ = densidad del agua

\bar{V} = velocidad media del agua

μ = viscosidad absoluta del agua

Para calcular el factor de fricción de Fanning:

$$f = \frac{g D h_f}{2l \bar{v}^2} \quad \text{Ecuación No. 6}$$

Donde:

h_f = pérdida por fricción

D = diámetro interno de la tubería (diámetro de flujo)

g = aceleración de gravedad

l = largo de la tubería

\bar{v} = velocidad media del agua

2. Práctica No.2 Pérdidas por fricción en función de cambios de dirección de flujo entre dos tuberías de hierro galvanizado.

Este experimento es para obtener el número de Reynolds, pérdidas por fricción y el factor de fricción entre dos tuberías, las cuales una es una tubería sin accesorios y otra es una tubería con codos de 90° , ambas de hierro galvanizado, se tomaran presiones en diferentes flujos de agua.

- a. Método. Tomar referencia de operación de la unidad didáctica de caídas de presión (ver operación de la unidad diseñada, pág. No. 27). Se debe medir la presión en las líneas No. 1 y No. 6 del ramal de tuberías (ver gráfica No. 9, pág. No. 21) en las cuales son dos tuberías del mismo diámetro de hierro galvanizado (el mismo material). Medir la presión en los diferentes flujos del rotámetro.
- b. Interpretación de resultados. Para calcular el número de Reynolds se muestra a continuación:

$$Re = \frac{D\bar{V}\rho}{\mu} \quad \text{Ecuación No. 4}$$

Donde:

D = diámetro interno de la tubería (diámetro de flujo)

ρ = densidad del agua

\bar{v} = velocidad media del agua

μ = viscosidad absoluta del agua

Para calcular el factor de fricción de Fanning:

$$f = \frac{g D h_f}{2l \bar{v}^2} \quad \text{Ecuación No. 6}$$

Donde:

h_f = pérdida por fricción

D = diámetro interno de la tubería (diámetro de flujo)

g = aceleración de gravedad

l = largo de la tubería

\bar{v} = velocidad media del agua

3. Práctica No. 3 Pérdidas por fricción en función de una tubería de hierro galvanizado con cuatro diferentes válvulas

Este experimento es para obtener el número de Reynolds, pérdidas por fricción y el factor de fricción de la forma y superficie de las cuatro diferentes válvulas en la línea No. 3, la cual es una tubería de hierro galvanizado, y se debe de operar como se muestra a continuación:

Cuadro No. 11 Manejo de las válvulas en la practica No. 3

Válvula	1a corrida	2da corrida	3ra corrida	4ta corrida
Globo	Abierta	½ abierta	Abierta	Abierta
Cheque	Abierta	Abierta	Abierta	Abierta
Bola	Abierta	Abierta	½ abierta	Abierta
Compuerta	Abierta	Abierta	Abierta	½ abierta

a. Método. Tomar referencia de operación de la unidad didáctica de caídas de presión (ver operación de la unidad diseñada, pág. No. 27). Se debe medir la presión en la línea No. 3 del ramal de tuberías (ver grafica No. 11, pág. No. 23) a diferentes flujos del rotámetro.

b. Interpretación de resultados. Para calcular el número de Reynolds se muestra a continuación:

$$Re = \frac{D\bar{v}\rho}{\mu} \quad \text{Ecuación No. 4}$$

Donde:

D = diámetro interno de la tubería (diámetro de flujo)

ρ = densidad del agua

\bar{v} = velocidad media del agua

μ = viscosidad absoluta del agua

Para calcular el factor de fricción de Fanning:

$$f = \frac{g D h_f}{2l \bar{v}^2} \quad \text{Ecuación No. 6}$$

Donde:

h_f = pérdida por fricción

D = diámetro interno de la tubería (diámetro de flujo)

g = aceleración de gravedad

l = largo de la tubería

\bar{v} = velocidad media del agua

4. Práctica No. 4 Pérdidas por fricción en función de tuberías de un mismo diámetro y de diferente material

Este experimento es para obtener el número de Reynolds, pérdidas por fricción y el factor de fricción entre tres tuberías, las cuales son de distintos materiales y con el mismo diámetro (ver grafica No. 10, pág. No. 22) se midieron presiones en diferentes flujos de agua.

- a. Método. Medir referencia de velocidad de la unidad didáctica de caídas de presión (ver velocidad de la unidad diseñada, pág. No. 27). Se debe medir la presión en las líneas No. 4, 5, 6 del ramal de tuberías (ver grafica No.10, pág. No. 22) las cuales son tres tuberías de material PVC, cobre y hierro galvanizado respectivamente, dichas tuberías son del mismo diámetro. Medir la presión en los diferentes flujos del velocidad.
- b. Interpretación de resultados. Para calcular el número de Reynolds se muestra a continuación:

$$Re = \frac{D\bar{v}\rho}{\mu} \quad \text{Ecuación No. 4}$$

Donde:

D = diámetro interno de la tubería (diámetro de flujo)

ρ = densidad del agua

\bar{v} = velocidad media del agua

μ = viscosidad absoluta del agua

Para calcular el factor de fricción de Fanning:

$$f = \frac{g D h_f}{2l \bar{v}^2} \quad \text{Ecuación No. 6}$$

Donde:

h_f = pérdida por fricción

D = diámetro interno de la tubería (diámetro de flujo)

g = aceleración de la gravedad

l = largo de la tubería

v = Velocidad media del agua

H. Costo total de la unidad de caídas de presión

Cuadro No. 12 Costo total de la unidad didáctica de caídas de presión

Costo del diseño construido	Q16,796.75
-----------------------------	------------

No incluye bomba ni rotámetro

VIII. DISCUSIÓN

Este es un estudio de flujo de fluidos con el fin de establecer un diseño didáctico en donde pudiera realizarse prácticas de la enseñanza de la ingeniería química. Como resultado principal está el diseño establecido y construido en el laboratorio de la Universidad del Valle de Guatemala (ver grafica No. 8, pág. No. 20). El diseño está construido con tubería de hierro galvanizado como material principal, y consta de un tanque de 0.2 m^3 , una bomba monofasica de 1.5 Hp, un rotámetro de flujo variable y un ramal de 8 líneas de tuberías. Casi todas las partes del diseño de caídas de presión están enroscadas, esto es para preparar al estudiante para cuando llegue a la industria, ya que ésta es la forma en que se construye a nivel industrial casi todas las partes de las instalaciones.

La construcción duró un promedio de cuatro semanas y se tuvo la colaboración de auxiliares del laboratorio de operaciones unitarias, se realizó por partes, el punto principal fue establecer el diseño en un plano, y luego se compraron los accesorios, tubos y demás materiales para la realización de éste. Para las partes cortas de las tuberías se compraron niples con medidas en donde la tarraja del laboratorio no tenia capacidad de elaborarlas. El enrosque de las tuberías se hizo en una prensa y con la ayuda de dos llaves de tubos. La parte de tubería de PVC del diseño de caídas de presión (ver grafica No.10, pág. No. 22) no se enroscó, solamente se pegó con pegamento, del mismo modo se realizó la tubería de cobre ya que ésta tampoco se enrosca ya que el material de cobre es maleable y no es posible enroscarlo, y para esta línea de tubería se soldaron sus partes. La forma en que el fluido recorre el diseño es la siguiente: el agua está en el tanque, al arrancar la bomba ésta la succiona y entra a la tubería principal de diámetro 0.0254 m y la lleva a la entrada del rotámetro donde está la válvula W1 (ver grafica No. 10, pág. No. 22) que regula el flujo, sube por la presión que ejerce la bomba sobre el fluido, y pasa por codos de 90° y una unión universal, luego pasa por una tubería larga de 3.16 m (ver grafica No.10, pág. No. 22) la cual sirve para que el flujo se estabilice, después el fluido entra en el ramal de tuberías, la cual consta de ocho líneas. Para todas las líneas del ramal de tuberías (ver grafica No. 9, pág. No. 21) se tiene una reducción (excepto de la línea No. 8 de calibre igual al de la tubería principal, ver cuadro No.3, pág. No. 24), un niple, unión universal, un niple, válvula de bola de entrada de flujo, un niple, una tee con un manómetro en su parte central para la lectura de entrada, tramo de 2.30 m de la tubería a evaluar perdida por fricción (diferente objetivo para cada línea del ramal de tuberías), una tee con un manómetro en su parte central para la lectura de salida del fluido, niple, válvula de bola de salida del flujo, niple, unión universal, niple, reducción (excepto de la línea No. 8 de calibre igual al de la tubería principal). Las líneas No. 1, 2 constan de segmentos de tuberías de calibre 0.0127 m , con 12 codos de 90° , 12 codos de 45° respectivamente, con el objetivo de evaluar las caídas de presión que se produce cuando cambia la dirección del fluido. La línea No. 3 es una tubería con cuatro válvulas diferentes: válvula de globo, válvula cheque, válvula de bola, válvula de compuerta, esta línea se diseñó para una evaluación experimental de la influencia de una válvula en caídas de presión de tuberías, y el objetivo de colocar una válvula de cheque en esta línea es para demostrar el golpe de ariete.

Las líneas No. 4, 5, 6 las cuales son tuberías con el mismo calibre (0.0127 m) solo que diferente material: PVC, cobre, hierro galvanizado, esta parte del ramal de tuberías tiene como objetivo el estudio de la influencia de la clase de material en tuberías para el transporte de fluidos y que tanto afecta el factor de fricción según el material. Las líneas No. 6, 7, 8 las cuales son tuberías de hierro galvanizado de diferente calibre, tiene como objetivo de hacer un análisis comparativo de la influencia del calibre de una tubería sobre las pérdidas por fricción, ya que cuando una tubería es más ancha entonces su velocidad es más lenta, pero con más caída de presión. Luego que el fluido pasa por alguna de las líneas del ramal de tuberías este sale de vuelta a la tubería principal (calibre 0.0254 m) pasa por la válvula W18 la cual es una válvula de globo que está antes de la descarga de agua hacia el tanque. La válvula W19 (ver grafica No.10, pág. No. 22) sirve para drenar el agua que quedo dentro de la unidad didáctica y su objetivo es de evitar la corrosión del material tan rápido teniendo agua dentro de sus partes. La válvula W20 es una válvula de bola y ésta se colocó en esa parte del diseño para liberar presión luego de haber usado la unidad didáctica, ya que cuando se usa una bomba en un sistema de tuberías ésta deja mucha presión dentro de las tuberías que a largo plazo las daña. De modo que la válvula W20 sirve para liberarse del golpe de ariete el cual es causante de daños en tuberías. El objetivo de colocar válvulas de bola de entrada y salida en cada línea del ramal de tuberías (ver grafica No.10, pág. No. 22) es para que cuando se este tomando lecturas de presión en una línea de tubería, las demás estén cerradas y se este seguro de que solo en ese punto se esta midiendo la presión y se esta dejando pasar el flujo. Como se nota en las gráficas de la sección de resultados en ciertas partes del diseño establecido de caídas de presión hay uniones universales, éstas se instalaron en esos puntos ya que es una unidad en la cual la tubería está enroscada y al momento en que la unidad necesite mantenimiento, no habrá necesidad de desenroscarla toda, solamente en la parte de mantenimiento se desenroscaran las uniones universales.

Según las gráficas No.8, 9 se muestra el diseño establecido y construido en laboratorio de operaciones unitarias de la universidad del valle de Guatemala, con diferentes vistas, de modo que se hizo un dibujo en 3D para que se pudiera girar y enseñar en diferentes ángulos. Así como también se muestran gráficas donde se identificaron las partes y los accesorios que lleva el diseño, también se identificaron las líneas y se codificaron todas las válvulas del diseño de caídas de presión con el objetivo de tener un mejor control de las válvulas al estar operando la unidad didáctica.

Se establecieron cuatro prácticas para que se pudieran llevar a cabo en la unidad didáctica (ver resultados, pág. No. 19), con el objetivo de abarcar todos los temas posibles de flujo de fluidos que se pudieran estudiar en el diseño instalado. La práctica No. 1 (ver pág. No. 28) propone hacer una comparación de tuberías de hierro galvanizado de calibres distintos para evaluar como esto influye en las pérdidas por fricción, ya que a menor diámetro la velocidad aumenta y recíprocamente a mayor diámetro la velocidad disminuye y es más la caída de presión. La práctica No.2 (ver pág. No. 29) tiene como objetivo el estudio de caídas de presión en tuberías donde el fluido cambia de dirección por medio de un accesorio. En esta práctica se puede hacer una comparación con una línea del ramal de tuberías que no tenga accesorios

vrs una línea de tubería que posea accesorios en donde las dos tuberías deben de ser del mismo material y el mismo calibre. La práctica No.3 (ver pág. No. 30) tiene como objetivo el estudio de la influencia de válvulas sobre las pérdidas por fricción, se propuso la línea No.3 en donde hay cuatro distintas válvulas (las más conocidas comercialmente), en las cuales pudiera variar la abertura. La práctica No.4 (ver pág. No.31) tiene como objetivo estudiar la influencia del material de la tubería sobre las pérdidas por fricción para estudiar el comportamiento de la pérdida por fricción según el material de la pared de la tubería donde el fluido esté transportándose.

Luego de construir la unidad didáctica de caídas de presión, se realizaron pruebas. En las pruebas se evaluaron todas las líneas del ramal de tuberías con los distintos flujos del rotámetro, esto con el fin de tener resultados en todos los puntos de vista del diseño. Antes de hacer las pruebas se calibró el rotámetro, se determinó una curva de calibración para encontrar el caudal experimental (ver apéndice, pág. No. 41). Luego de calibrar el rotámetro se tomó las presiones a distintos flujos para cada línea del ramal de tuberías, y con esos datos se determinó el número de Reynolds y las pérdidas por fricción (ver tablas No. 7, 8, 9, 10, pág. No. 26, 27). Para la línea No.1 en donde es una tubería de hierro galvanizado de calibre 0.0127 m sólo se pudieron tomar tres lecturas en los manómetros, ya que no hubo caídas de presión en los caudales Q_1 , Q_2 en los caudales Q_3 , Q_4 , Q_5 , los números de Reynolds fueron de 17,300 para Q_1 , 35,000 para Q_2 , 52,700 para Q_3 , 70,400 para Q_4 , 88,200 para Q_5 , las pérdidas por fricción fueron de 12.53 J/kg, 70.16 J/kg, 140.31 J/kg respectivamente para los demás caudales el rotámetro ya no dio más flujo de modo que esta línea tenía demasiada caída de presión la cual impedía que el flujo subiera hacia el rotámetro. Se graficó h_f vrs N_{RE} en donde se ve un comportamiento lineal ya que tanto las pérdidas por fricción como el número de Reynolds se incrementan cuando aumentado el caudal. Para la línea No. 2 donde es una tubería de hierro galvanizado de calibre 0.0127 m solamente se tomaron dos lecturas de caídas de presión (ver tabla No.23, pág. No.62) las cuales fueron en los caudales Q_4 , Q_5 en los anteriores caudales no hubo lectura de caídas de presión, los números de Reynolds fueron de 17,300 para Q_1 , 35,000 para Q_2 , 52,700 para Q_3 , 70,400 para Q_4 , 88,200 para Q_5 , la pérdida por fricción fueron de 60.13 J/kg, 130.29 J/kg respectivamente, comparadas las pérdidas por fricción con la línea anterior se observa que para los caudales Q_4 , Q_5 las pérdidas por fricción de la línea No.2 es menor que los de la línea No.1, ya que en esta segunda línea de tuberías posee codos de 45° y la línea anterior posee codos de 90° los cuales proporcionan más caída de presión. Se graficó h_f vrs N_{RE} y se denota por ser lineal ya que las pérdidas por fricción fueron aumentando conforme el caudal aumentaba. Para la línea No. 3 la cual es una tubería de hierro galvanizado de calibre 0.0127m sólo se tomaron tres lecturas, dando los números de Reynolds fueron de 17,300 para Q_1 , 35,000 para Q_2 , 52,700 para Q_3 , pérdidas por fricción los cuales son para los caudales siguientes Q_1 dio 0 J/kg, Q_2 dio 50.11 J/kg, Q_3 dio 170.38 J/kg, en esta línea sólo se pudo tomar dos lecturas de presión y después del caudal Q_3 el rotámetro ya no dio más flujo concluyendo que eran demasiadas las caídas de presión a causa de las cuatro válvulas que ésta tiene, principalmente la válvula de cheque que es la mayor causante de golpe de ariete. Se graficó h_f vrs N_{RE} y se obtuvo una gráfica con comportamiento lineal ya que la pérdida por fricción se incrementa cuando el flujo aumentaba. En la línea No. 4 la cual es una tubería de PVC de calibre 0.0126 m

se calcularon los números de Reynolds para los caudales que dio el rotámetro, 17,500 para Q_1 , 35,300 para Q_2 , 53,200 para Q_3 , 71,000 para Q_4 , 88,900 para Q_5 , 10,700 para Q_6 , 125,000 para Q_7 , 142,000 para Q_8 , 160,000 para Q_9 , las pérdidas por fricción fueron de 6.36 J/kg para Q_5 , 12.53 J/kg para Q_6 , 40.089 J/kg para Q_7 , 35.08 J/kg para Q_8 , 50.11 J/kg para Q_9 para el caudal Q_{10} el rotámetro ya no dio este flujo de modo que la caída de presión en este punto se elevó, se hizo una gráfica en relación h_f vs N_{RE} en el cual no del todo fue lineal ya que para el caudal Q_7 la presión era muy sensible y aumento más el cambio de presión y la pérdida por fricción fue mayor en este caudal que en el caudal Q_8 . Para la línea No. 5 en donde ésta es una tubería de cobre de calibre 0.0124 m se calculó el número de Reynolds siendo estos 17,700 para Q_1 , 35,900 para Q_2 , 54,000 para Q_3 , 72,100 para Q_4 , 90,300 para Q_5 , 108,000 para Q_6 , 127,000 para Q_7 , las perdidas por fricción en los siguientes caudales 12.53 J/kg para Q_4 , 40.09 J/kg para Q_5 , 75.17 J/kg para Q_6 , 103.98 J/kg para Q_7 también se grafica h_f vs N_{RE} en donde se denota de una ecuación lineal ya que para esta línea mientras se iba aumentando el flujo también la caídas de presión eran mayores. En la línea No. 6 se calcularon los números de Reynolds y las pérdidas por fricción, siendo ésta una tubería de hierro galvanizado de calibre 0.0127 m se determinaron los siguientes resultados también se determinó el número de Reynolds siendo estos 17,300 para Q_1 , 35,000 para Q_2 , 52,700 para Q_3 , 70,400 para Q_4 , 88,200 para Q_5 , 106,000 para Q_6 , 124,000 para Q_7 , 141,000 para Q_8 , 159,000 para Q_9 , las perdidas por fricción fueron de 25.06 J/kg para Q_5 , 37.58 J/kg para Q_6 , 55.123 J/kg para Q_7 , 70.16 J/kg para Q_8 , 75.17 J/kg para Q_9 también se grafica h_f vs N_{RE} en donde es una ecuación lineal ya que cuando se iba aumentando el flujo también iba aumentando las pérdidas por fricción de modo que no hubo ningún flujo sensible. Para la línea No.7 en donde ésta es una tubería de hierro galvanizado de calibre 0.01905 m se calcularon los números de Reynolds en los siguientes caudales 11,500 para Q_1 , 23,400 para Q_2 , 35,200 para Q_3 , 47,000 para Q_4 , 58,800 para Q_5 , 70,600 para Q_6 , 82,400 para Q_7 , 94,200 para Q_8 , 106,000 para Q_9 , 118,000 para Q_{10} , las perdidas por fricción fueron 17.54 J/kg para Q_8 , 15.03 J/kg para Q_9 , 60.13 J/kg para Q_{10} también se realizó una gráfica h_f vs N_{RE} en donde esta relación no fue del todo lineal ya que en el caudal Q_8 el flujo fue muy sensible por lo que el cambio de presión fue mayor y, por lo tanto, la pérdida por fricción fue mayor que en el caudal Q_9 . Para la línea No.8 en donde esta es una tubería de hierro galvanizado de calibre 0.0254 m se determinó los números de Reynolds para los siguientes flujos 86,700 para Q_1 , 17,500 para Q_2 , 26,400 para Q_3 , 35,200 para Q_4 , 44100 para Q_5 , 53,000 para Q_6 , 61,800 para Q_7 , 70,600 para Q_8 , 79,500 para Q_9 , 88,300 para Q_{10} , no se calcularon las pérdidas por fricción debido a que no hubo lecturas de caídas de presión.

Estas sensibilidades observadas en las pruebas de diseño se deben a que se esta evaluando un flujo turbulento, entonces a este tipo de flujo no están fácil de manipularlo ya que la regulación de flujo se hace por medio de una válvula de globo y se hace manual. Como se observó en los resultados se notó que en varias líneas la delta de presión era cero o el flujo ya no daba para ciertos caudales, esto se debe a la falta de potencia de la bomba por lo que se recomendaría usar una bomba monofásica de 2 Hp a modo que ésta, con más potencia, daría más lectura en los manómetros, y como estos manómetros son de rango (0 –4) bar no habría problema si la presión fuera mayor ya que el rango de éstas es bastante grande para medir caídas de presión en un caudal de agua. El objetivo de este diseño era concluirlo con una unidad en donde el

estudiante pueda interrelacionar sus ideas, a modo que también él proponga objetivos según sus conocimientos del flujo de fluidos, como podría ser que los estudiantes planteen prácticas en donde sean distintas a las propuestas en este informe. Esta unidad puede abarcar varios puntos de vista en donde una línea del ramal de tuberías en el tramo de tomas de presión, en la parte de donde se encuentra la unión universal de entrada y la unión universal de salida, se podría desenroscar y que el estudiante con sus conocimientos de flujo de fluidos propongan un nuevo diseño en esa parte de la unidad didáctica, ya que con eso el estudiante practique sus conocimientos, que entienda la diferencia entre tubo y tubería, como enroscar tubería y como diseñar una instalación de tuberías.

Se evaluaron costos durante la instalación de la unidad de caídas de presión y se determinaron costos por partes del diseño. La inversión total en la unidad de caídas de presión fue de Q 16,796.75 dividiéndose en Q 1,980.00 en manómetros, Q 2,330.50 en accesorios, Q 6,338.25 en mano de obra, Q 1,248.00 en tubos, alquiler de herramienta Q 2,200.00, material anexo Q 1,500.00 y otros gastos en Q 1,200.00. Para determinar los costos anteriores, se evaluó el precio individual de cada accesorio y se sumó el total de accesorios usados en el diseño. Para la mano de obra se promedió según la mano de obra de un herrero y se calculó el pago en cuatro semanas. Los demás gastos surgieron al estar construyendo el equipo, ya que hubo contratiempos y, a veces, los accesorios no estaban en buen estado.

IX. CONCLUSIONES

1. La inversión de la construcción total de la unidad didáctica de caídas de presión fue de Q 16,796.75
2. Se diseñaron cuatro prácticas, las cuales son: pérdida por fricción en función del diámetro interno de tubería de hierro galvanizado, pérdida por fricción en función en función del cambio de dirección de flujo entre dos tuberías de hierro galvanizado, pérdida por fricción en función de una tubería de hierro galvanizado con cuatro diferentes válvulas, pérdida por fricción en función de tuberías de un mismo diámetro interno y de diferente material con el fin de que se realicen en la unidad de caídas de presión.
3. En la unidad se determinaron las pérdidas por fricción por medio de la ecuación de Bernoulli y también se calculó el número de Reynolds.
4. Al realizar las pruebas se notó que la bomba monofásica centrífuga que se comparte con la unidad antigua de tuberías PVC, no tiene la potencia requerida ya que en ciertas líneas del ramal de tuberías de la unidad de caídas de presión no hubo lecturas en el rotámetro.
5. En la línea No. 7 se determinó que hubo flujo turbulento, en el caudal Q_8 fue muy sensible y la pérdida por fricción fue 17.54 m fue mayor que el caudal Q_9 la cual tuvo una pérdida por fricción de 15.03m.
6. La válvula retención, es la válvula principal causante del golpe de ariete, el cual es el fenómeno ocasionado por la presión que queda encerrada en las tuberías y las daña.
7. En la Línea No.8, sí hubo lecturas en el rotámetro ya que la carga estática se anulaba, ya que dicha línea está casi a mismo nivel de la salida del flujo de la bomba.
8. Al colocar accesorios en un tramo de tuberías, las cuales son codos de 45^0 , codos de 90^0 y válvulas provocan caídas de presión elevadas como se ejemplifica en la línea No.2 donde las pérdidas por fricción en los caudales Q_4 , Q_5 fueron de 60.13 J/kg, 130.29 J/kg respectivamente, siendo las demás resultados cero o el manómetro ya no tuvo lectura.

X. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer un diseño de un tubo U de mercurio que esté conectado por medio de mangueras en las tomas de presión de cualquier línea del ramal de tuberías, dicho diseño debe de tener una trampa de mercurio para que este no se vaya en las tuberías. Esto sería para comparar dos diferentes formas de medir presiones.
2. Se recomienda que el estudiante prepare un diseño que incluya contracción y compresión para la actualización de cualquier línea del diseño de caídas de presión, en donde practique sus conocimientos del fenómeno de fluidos el cual debe diseñar y construir.
3. Se recomienda adquirir un rotámetro de mayor rango de lectura y que funcione exclusivamente para la unidad.
4. Realizar pruebas para poder determinar la potencia requerida de la bomba con el fin de que se puedan tener lecturas en el rotámetro.

XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Barderas, Antonio. 1990. *Problemas de flujo de fluidos*. México, Limusa. 385 pags.
2. Corcho, Freddy; J. Duque. 1998. *Acueductos, teoría y diseño*. Centro General de Investigaciones. Colección Universidad de Medellín. 715 pags.
3. Geankoplis, Christie. 1998. *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*, 3ra. ed. México, Cecsca. 975 pags.
4. Greene, Richard. 1994. *Válvulas; selección, uso y mantenimiento*". México, Mc Graw-Hill. 683 pags.
5. Mc Cabe, Warren, et al. 1991. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. 4ta. ed. Madrid, Mc Graw-Hill. 1199 pags.
6. Perry, Robert; D. Green. 1996. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 6ta. ed. San Francisco, McGraw-Hill.
7. Ronald V. Giles. 1994. *Mecánica de los fluidos e hidráulica*. México. Mc-Graw-Hill. 889 pags.

XII. APÉNDICE

A. Cálculo de muestra

NOTA: Todos los siguientes cálculos de muestra están basados en la línea No.6. En igual manera se manipularon los datos de las demás líneas del ramal de tuberías

1. Cálculo de caudal experimental. A partir de la aplicación de una regresión lineal se obtuvo la siguiente ecuación para determinar el caudal experimental a partir de los datos de caudal teórico.

De acuerdo con la siguiente ecuación (ver grafica No.12, pág. No. 53):

$$Caudal\ experimental = 1.0092 \times Caudal\ teorico - 0.218$$

(Ecuación No. 3)

donde el caudal teórico tiene un valor de 70 L/min

$$Caudal\ experimental = 1.0092 \times (70\ L/min) - 0.218 = 70.426\ L/min$$

2. Conversión de L/min a m³/s para la línea No. 6

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

(Ecuación No. 1)

Donde

V = volumen

t = tiempo

$$70.426 \frac{L}{min} \times \frac{min}{60s} \times \frac{m^3}{1000L} = 0.00117377 \frac{m^3}{s}$$

3. Conversión de presión de bar a kPa en la línea No. 6. A partir del factor de conversión 1bar =100kpa y el valor de presión para la línea No.6

$$0.8bar \times \frac{100kPa}{1bar} = 80kPa$$

4. Cálculo de ΔP en la línea No. 6. De acuerdo con la siguiente ecuación y los datos en la cuadro No. 15, pág. No. 46:

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

(Ecuación No. 7)

Donde $P_1 = 80 \text{ kPa}$ y $P_2 = 25 \text{ kPa}$

$$\Delta P = (80 \text{ kPa}) - (25 \text{ kPa}) = 55 \text{ kPa}$$

5. Cálculo de velocidad. De acuerdo con la siguiente ecuación:

$$v = \frac{Q}{S}$$

(Ecuación No. 2)

Donde el caudal, Q, tiene un valor de $0.00117377 \text{ m}^3/\text{s}$ (tabla No. 20, pág. No. 49) y el área de la sección transversal, S, $0.1.267 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ (tabla No. 6, pág. No. 25)

$$v = \frac{0.00117377 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1.267 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 9.264 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

6. Número de Reynolds. A partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Re} = \frac{D \bar{V} \rho}{\mu}$$

(Ecuación No. 4)

Donde el D es diámetro del tubo, \bar{v} la velocidad, ρ la densidad del agua y μ la viscosidad del agua. Los valores correspondientes son $D = 0.0127 \text{ m}$ (tabla No. 20, pág. No. 49), $\bar{v} = 9.264 \text{ m/s}$ (tabla No. 20, pág. No. 49), $\rho = 997.77 \text{ kg/m}^3$ (tabla No. 23, pág. No. 50) y $\mu = 9.5 \times 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ (tabla No. 23, pág. No. 50).

$$\text{Re} = \frac{0.0127\text{m} \times 9.264 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 997.77 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{9.5 \times 10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{s}} = 123571.11$$

7. h_f experimental. Despejando de la ecuación de Bernoulli se obtiene la siguiente ecuación para calcular el coeficiente de fricción total para los datos experimentales:

$$h_f = \frac{P_a - P_b}{\rho} + g(z_a - z_b) + \eta W_b$$

(Ecuación No. 5)

$$h_f = \frac{\Delta P}{\rho} + g(\Delta z) + \eta W_b$$

donde la delta de presión es $\Delta P = 55 \times 10^3 \text{Pa}$ (tabla No. 18, pág. No. 48), la densidad $\rho = 997.296 \text{ kg/m}^3$ (tabla No. 23, página No. 50), la aceleración de la gravedad $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, cambio de altura $\Delta z = 0 \text{ m}$ (no hay un diferencial de alturas entre las tomas de presión), $\eta W_b = 0$ (no hay una bomba entre las tomas de presión)

$$h_f = \frac{\Delta P}{\rho}$$

$$h_f = \frac{55000 \text{ pa}}{997.77 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$h_f = 55.123 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

B. Datos originales

Cuadro No. 13 Datos de flujo volumétrico para calibrar el rotámetro

Caudal teórico (L/min)	Caudal experimental (L/min)
10	10.53
20	20.16
30	30.24
40	38.52
50	51.60
60	59.04
70	72.48
80	75.96
90	93.00
100	101.35

Cuadro No.14 Largos de los tramos entre los dos manómetros de las líneas No. 1-8

Línea No.	Largo de tubería entre tomas de presión (m)
1	2.718
2	2.070
3	2.050
4	2.300
5	2.300
6	2.300
7	2.300
8	2.300

Cuadro No. 15 Datos de tomas de presión a diferentes caudales en el ramal de tuberías

Línea No.	Q ₁		Q ₂		Q ₃		Q ₄		Q ₅	
	10 L/min		20 L/min		30 L/min		40 L/min		50 L/min	
	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar
1	NLM	NLM	NLM	NLM	0.125	NLM	0.7	NLM	1.4	NLM
2	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	0.6	NLM	1.3	NLM
3	NLM	NLM	0.5	NLM	1.7	NLM	NLR	NLR	NLR	NLR
4	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	0.0635	NLM
5	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	0.125	NLM	0.4	NLM
6	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	0.25	NLM
7	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM
8	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM

NLR = No lectura en el rotámetro

NLM = No lectura en el manómetro

Cuadro No. 16 Datos de tomas de presión a diferentes caudales en el ramal de tuberías (continuación)

Línea No.	Q ₆		Q ₇		Q ₈		Q ₉		Q ₁₀	
	60 L/min		70 L/min		80 L/min		90 L/min		100 L/min	
	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar
1	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR
2	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR
3	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR
4	0.25	0.125	0.6	0.2	0.8	0.45	1.1	0.6	NLR	NLR
5	0.75	NLM	1.1	0.0625	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR	NLR
6	0.5	0.125	0.8	0.25	1.2	0.5	1.35	0.6	NLR	NLR
7	NLM	NLM	NLM	NLM	0.3	0.125	0.4	0.25	0.6	0.4375
8	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM

NLR = No lectura en el rotámetro

NLM = No lectura en el manómetro

C. Datos calculados

Cuadro No. 17 Cambios de presión en las tuberías del ramal

Flujo volumétrico ($Q = m^3/s$) encontrado con curva de calibración

Línea No.	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅
	0.00016457	0.00033277	0.00050097	0.00066917	0.00083737
	ΔP	ΔP	ΔP	ΔP	ΔP
	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa
1	NLM	NLM	12.5	70	140
2	NLM	NLM	NLM	60	130
3	NLM	50	170	--	--
4	NLM	NLM	NLM	NLM	6.35
5	NLM	NLM	NLM	12.5	40
6	NLM	NLM	NLM	NLM	25
7	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM
8	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM

NLM = No lectura del manómetro

Cuadro No. 18 Cambios de presión en las tuberías del ramal

Flujo volumétrico ($Q = m^3/s$) encontrado con curva de calibración

Línea No.	Q ₆	Q ₇	Q ₈	Q ₉	Q ₁₀
	0.00100557	0.00117377	0.00134197	0.00151017	0.00167837
	ΔP	ΔP	ΔP	ΔP	ΔP
	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa
1	--	--	--	--	--
2	--	--	--	--	--
3	--	--	--	--	--
4	12.5	40	35	50	--
5	75	103.75	--	--	--

NLM = No lectura del manómetro

Cuadro No. 19 Cambios de presión en las tuberías del ramal (continuación)

Flujo volumétrico ($Q = \text{m}^3/\text{s}$) encontrado con curva de calibración					
	Q_6	Q_7	Q_8	Q_9	Q_{10}
Línea No.	0.00100557	0.00117377	0.00134197	0.00151017	0.00167837
	ΔP	ΔP	ΔP	ΔP	ΔP
	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa
6	37.5	NLM	70	75	--
7	NLM	NLM	17.5	15	60
8	NLM	NLM	NLM	NLM	NLM

NLM = No lectura del manómetro

Cuadro No. 20 velocidades medias en las tuberías normalizadas del ramal

Velocidad media ($\bar{v} = \text{m/s}$)					
Línea No.	\bar{v}_1	\bar{v}_2	\bar{v}_3	\bar{v}_4	\bar{v}_5
1	1.299	2.626	3.954	5.282	6.609
2	1.299	2.626	3.954	5.282	6.609
3	1.299	2.626	3.954	--	--
4	1.320	2.669	4.017	5.366	6.715
5	1.362	2.755	4.147	5.539	6.932
6	1.299	2.626	3.954	5.282	6.609
7	0.577	1.168	1.758	2.348	2.938
8	0.325	0.657	0.989	1.321	1.653

Cuadro No. 21 velocidades medias en las tuberías normalizadas del ramal

Velocidad media ($\bar{v} = \text{m/s}$)					
Línea No.	\bar{v}_6	\bar{v}_7	\bar{v}_8	\bar{v}_9	\bar{v}_{10}
1	--	--	--	--	--
2	--	--	--	--	--
3	--	--	--	--	--
4	8.064	9.413	10.762	12.110	--

Cuadro No. 22 velocidades las tuberías del ramal (continuación)

Línea No.	Velocidad media (\bar{v} = m/s)				
	\bar{v}_6	\bar{v}_7	\bar{v}_8	\bar{v}_9	\bar{v}_{10}
5	8.324	9.717	--	--	--
6	7.937	9.264	10.592	11.919	--
7	3.528	4.118	4.709	5.299	5.89
8	1.985	2.316	2.648	2.980	3.31

Cuadro No. 23 Constantes utilizadas en el cálculo de h_f experimental

Densidad agua a 24 °C (kg/m ³)	997.77
Viscosidad Absoluta del agua (Pa s)	9.5E-04
Gravedad (m/s ²)	9.81

D. Cotización de materiales

Cuadro No. 24 Costos de accesorios de hierro galvanizado

Accesorio	Medida (m)	Costo (quetzales)	No. de accesorios utilizados
Codo 90 ⁰	0.0254	13.00	6
	0.0127	6.00	12
Codo 45 ⁰	0.0127	5.00	12
Reducción	0.0254 a 0.0127	7.00	12
	0.0254 a 0.01905	6.00	2
	0.0127 a 0.00635	8.00	12
	0.0254 a 0.00635	8.50	2
	0.01905 a 0.00635	5.25	2

Cuadro No. 25 Costos de accesorios de hierro galvanizado (continuación)

Accesorio	Medida (m)	Costo (quetzales)	No. de accesorios utilizados
Unión universal	0.0254	20.00	4
	0.01905	15.00	2
	0.0127	12.00	8

Cuadro No. 26 Costos de accesorios de hierro galvanizado (continuación)

Accesorio	Medida (m)	Costo (quetzales)	No. de accesorios utilizados
Válvulas compuerta	0.0254	90.00	1
	0.0127	35.00	2
Válvulas globo	0.0127	40.00	1
Válvulas cheque	0.0127	28.00	1
Válvulas bola	0.0254	120.00	2
	0.01905	85.00	2
	0.0127	40.00	8
	0.00635	38.00	1
Tee	0.0254	10.00	19
	0.01905	8.00	2
	0.0127	6.00	8
Cruz	0.0254	20.00	1
Acople	0.0254	15.00	1

Cuadro No. 27 Costos de accesorios de cobre

Accesorio	Medida (m)	Costo (quetzales)	No. de accesorios utilizados
Adaptador macho	0.0127	20.00	6
Unión universal	0.0127	39.00	2
Tee	0.0127	18.00	2

Cuadro No. 28 Costos de accesorios de PVC

Accesorio	Medida (m)	Costo (quetzales)	No. de accesorios utilizados
Adaptador macho	0.0127	12.00	2
Unión universal	0.0127	35.00	2
Tee	0.0127	6.00	4
Válvula bola	0.0127	29.00	2

Cuadro No. 29 Costos de tubos

Tubo	Medida (m)	Costo (quetzales)	No. de tubos utilizados
Hierro galvanizado	0.0127	115.00	4
Hierro galvanizado	0.01905	121.00	1
Hierro galvanizado	0.0254	139.00	3
PVC	0.0127	50.00	1
Cobre	0.0127	200.00	1

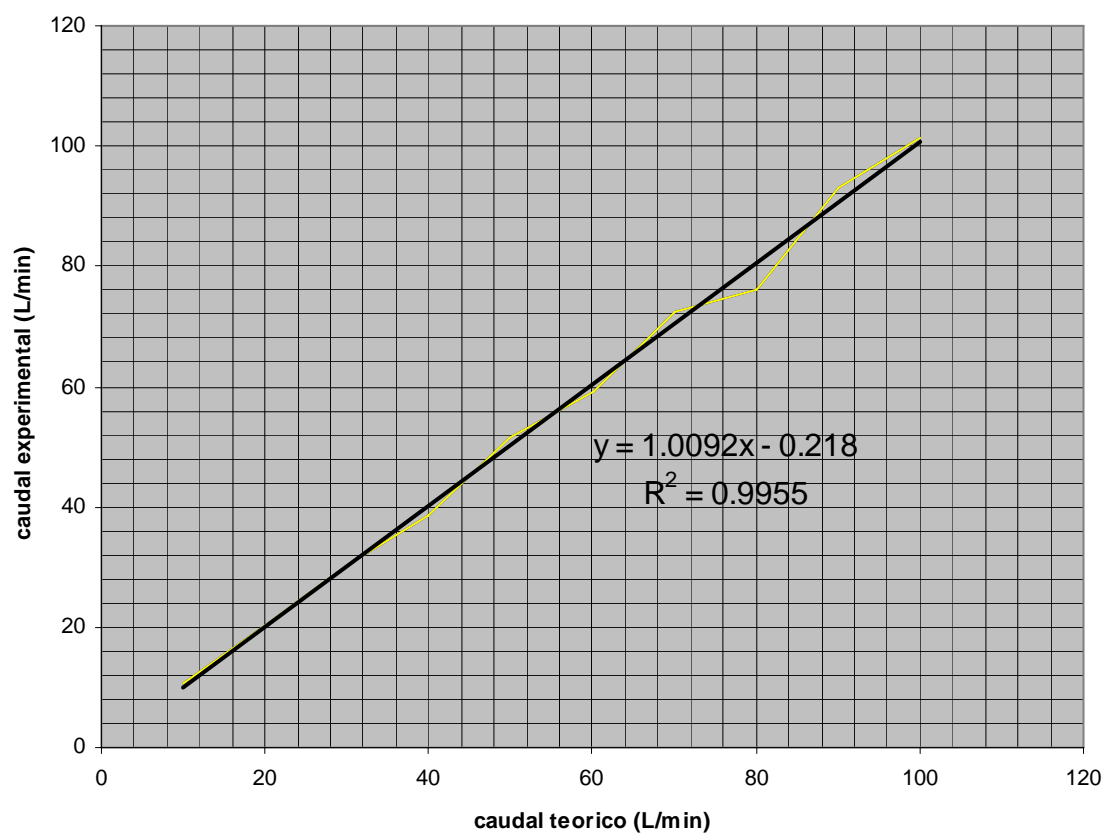
Cuadro No. 30 Resumen de costos

Costo total de accesorios	Q2,330.50
Costo total de tubos	Q1,248.00
Costo total de mano de obra	Q6,338.25
Alquiler de herramientas	Q2,200.00
Costo de manómetros	Q1,980.00
Compra de materiales anexos	Q1500.00
Otros	Q1,200

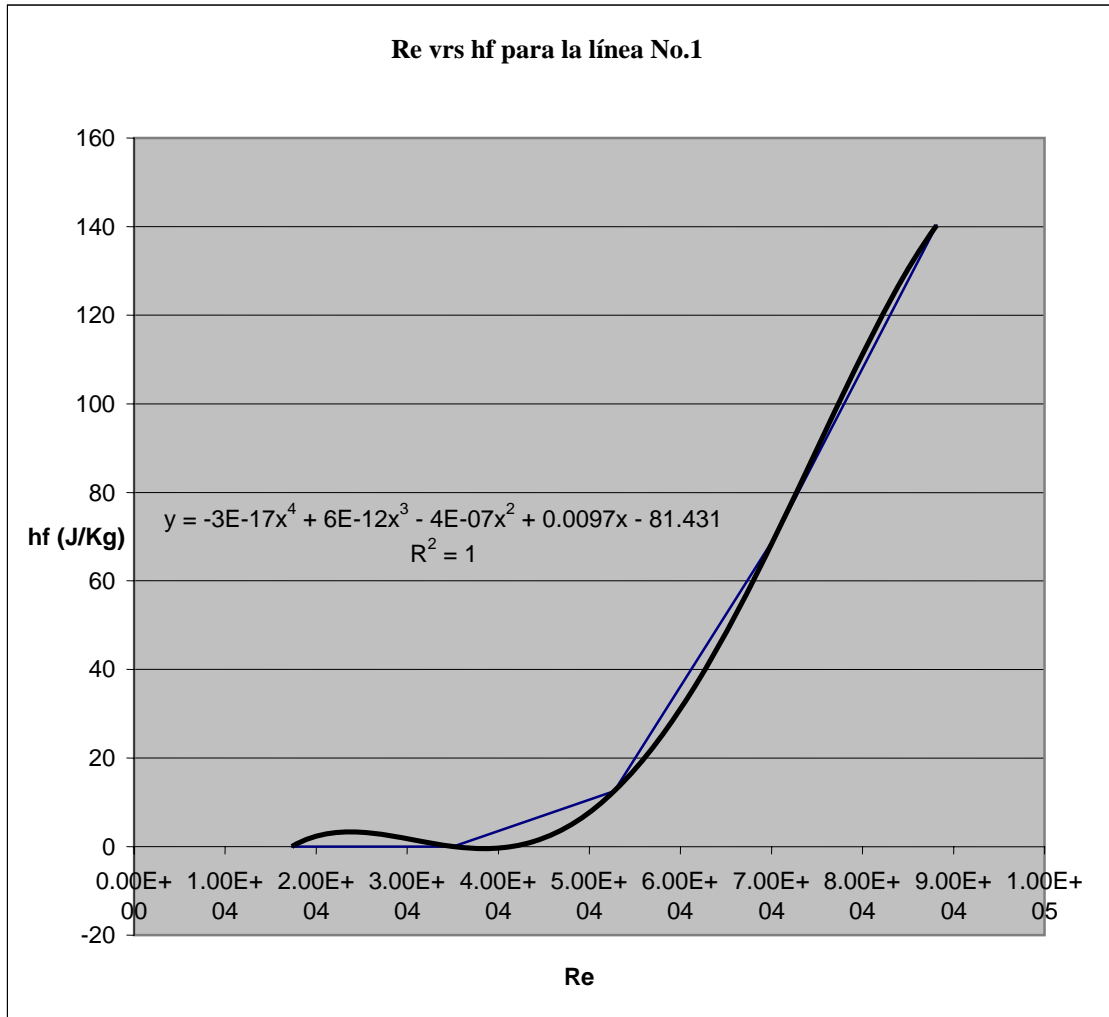
E. Gráficas utilizadas

Gráfica No. 12

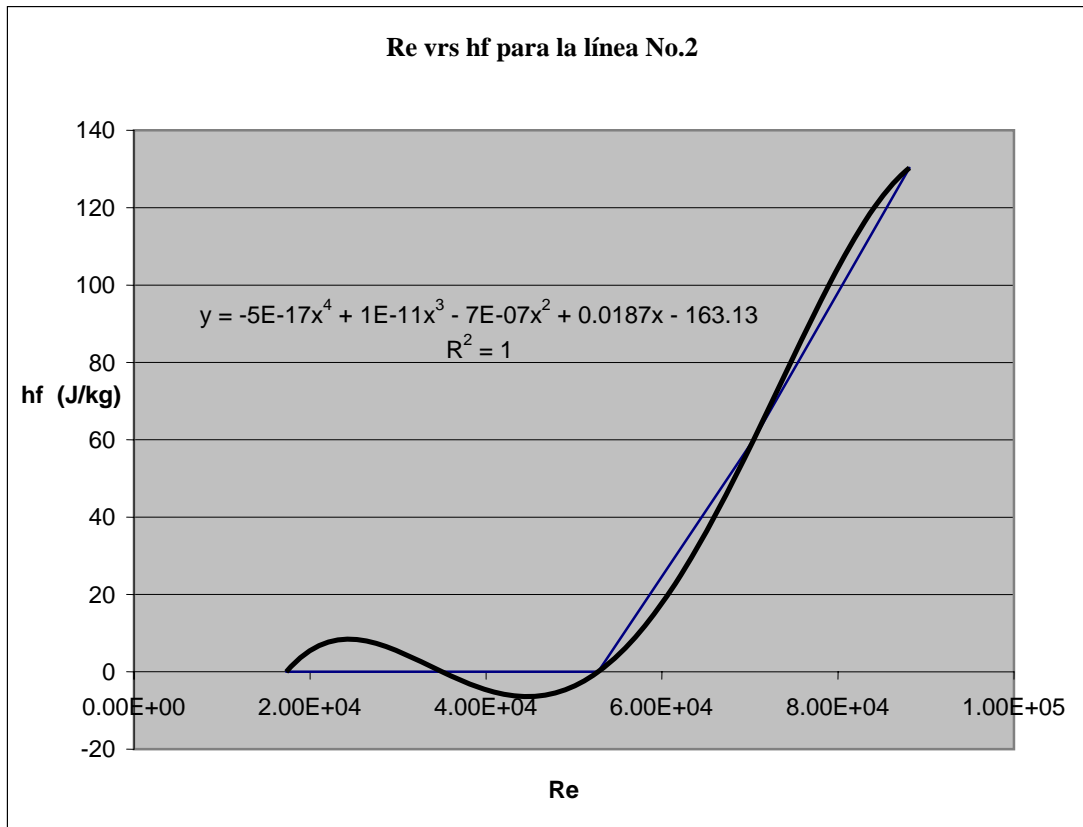
Curva de calibración de rotámetro



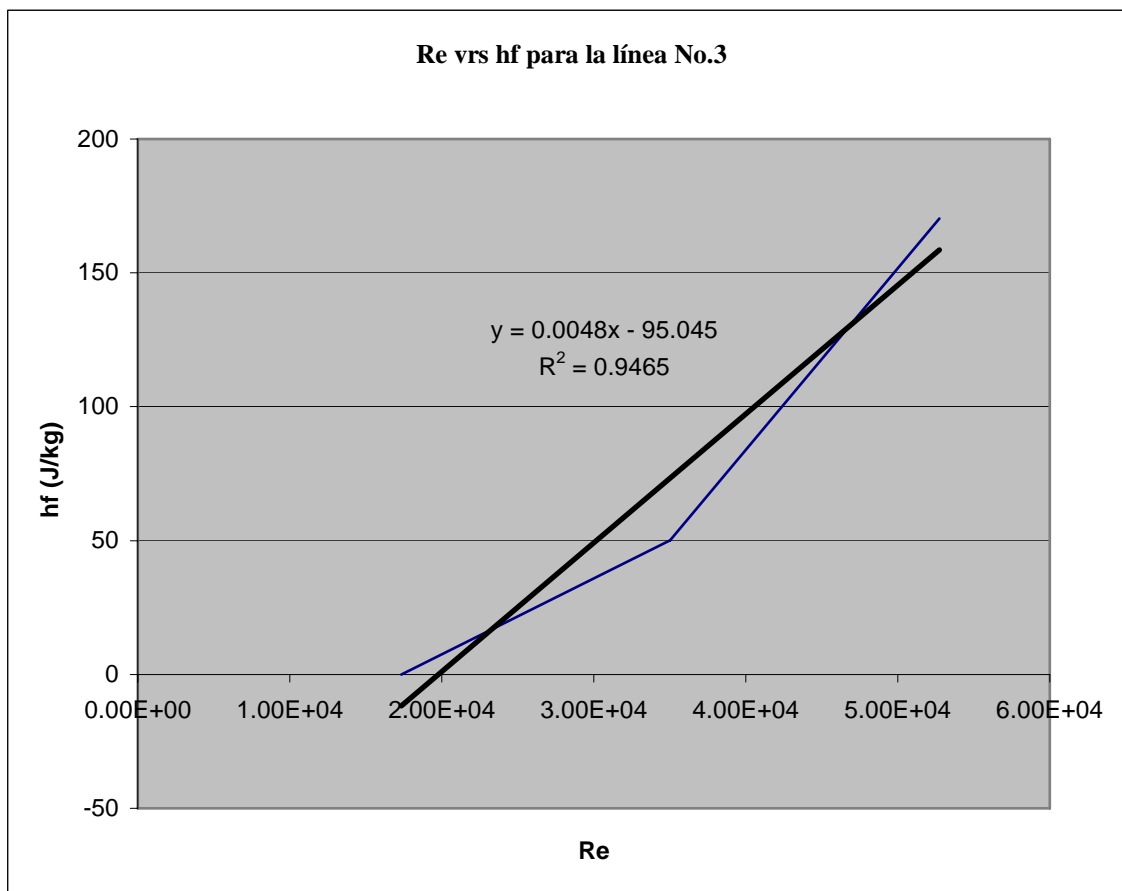
Gráfica No. 13



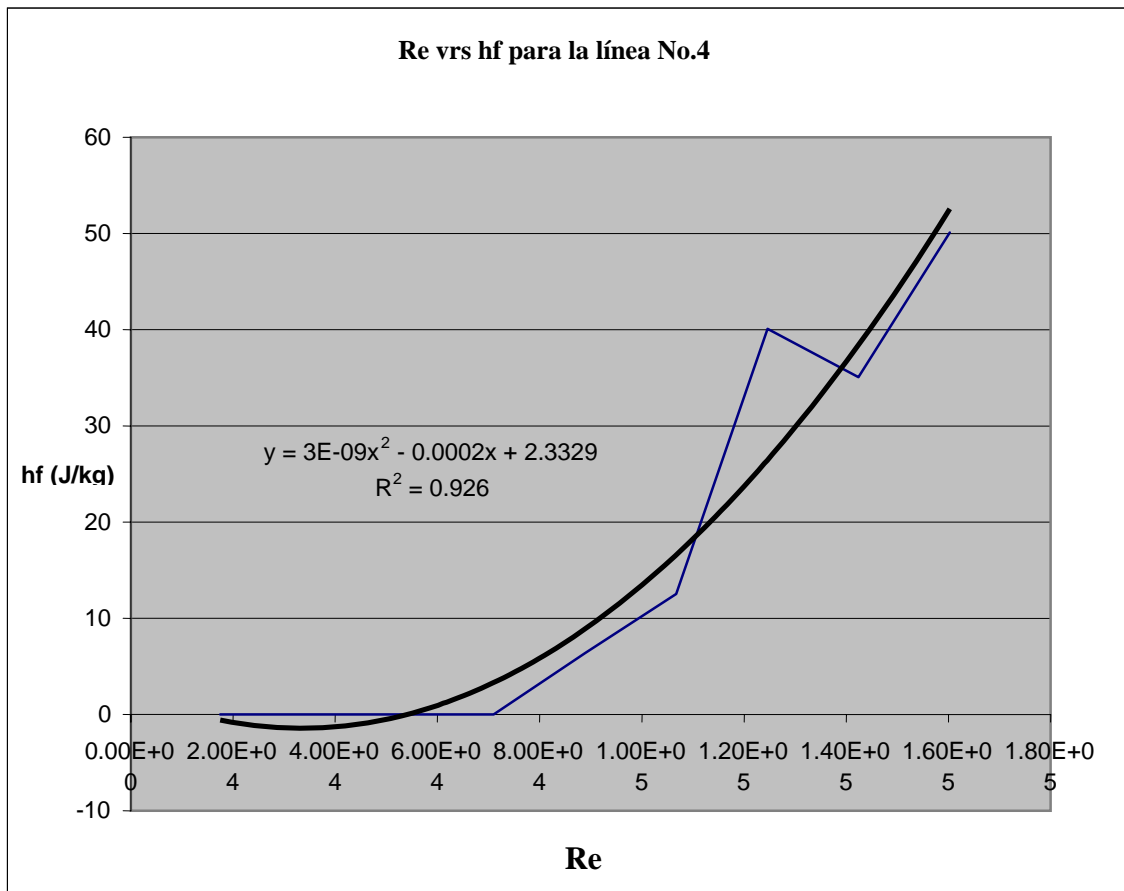
Gráfica No. 14



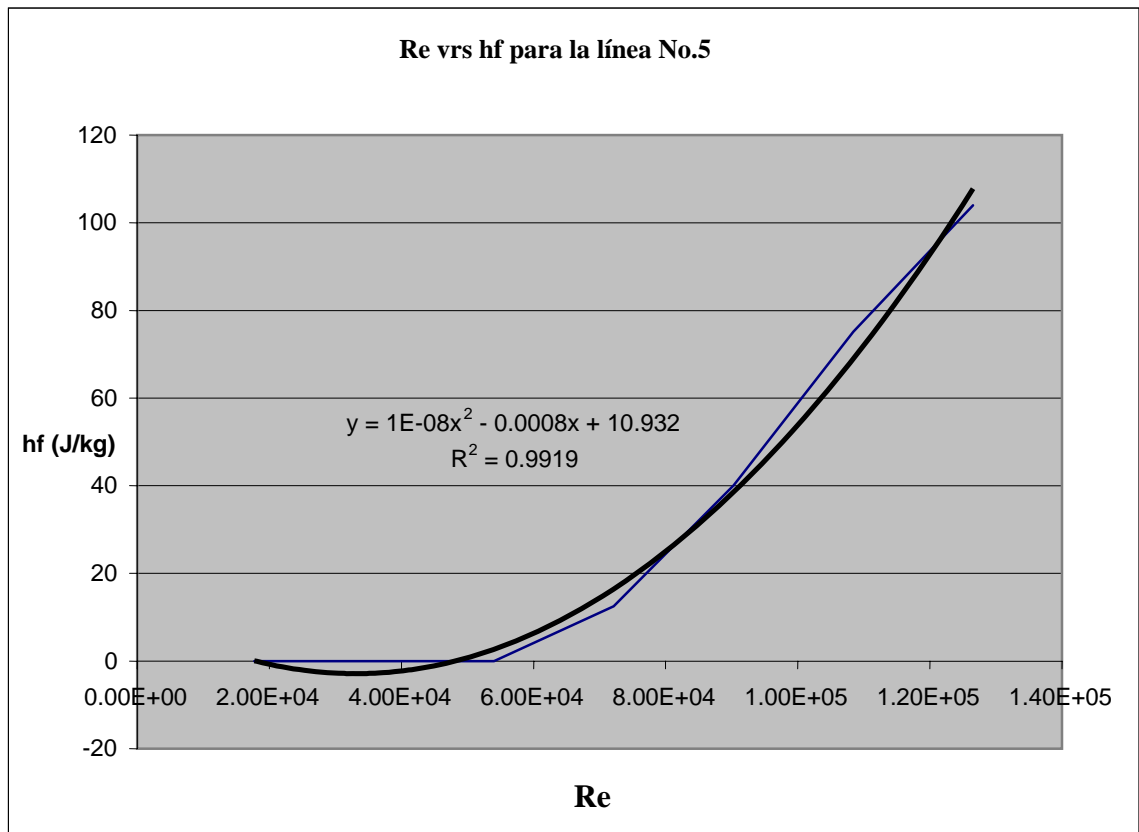
Gráfica No. 15



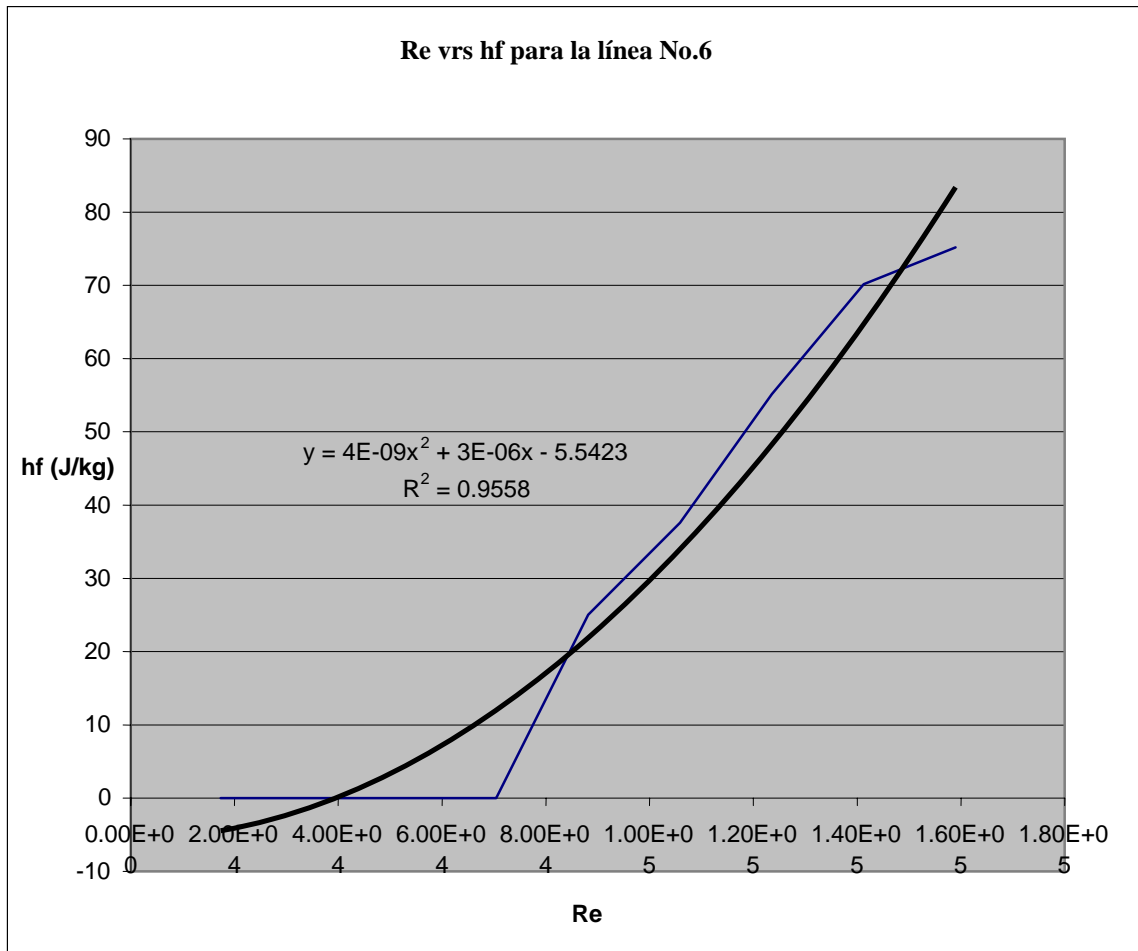
Gráfica No. 16



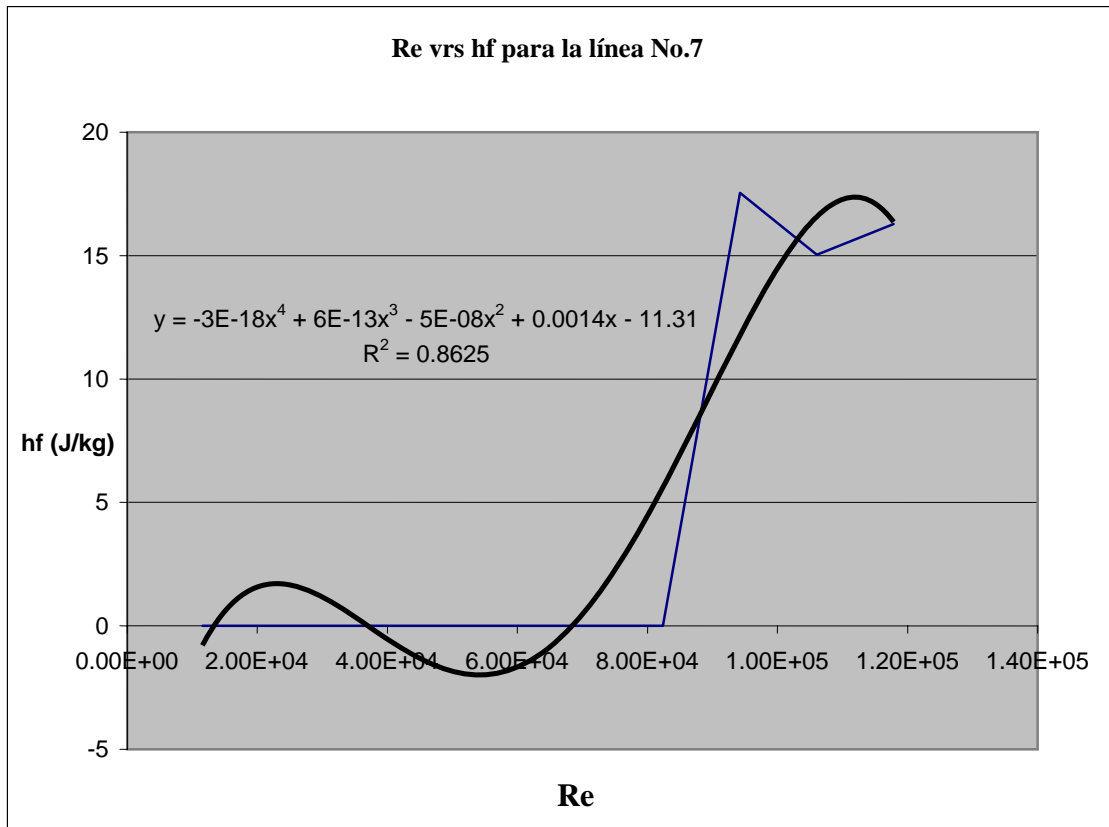
Gráfica No. 17



Gráfica No. 18



Gráfica No. 19



Gráfica No. 20
Fotografía trasera de la unidad didáctica



Gráfica No. 21

Fotografía lateral de la unidad didáctica



Gráfica No. 22
Fotografía frontal de la unidad didáctica

