



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

### **ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE  
TUBERÍAS EN PARALELO PARA LA MEDICIÓN DE  
LAS CONSTANTES DE ACCESORIOS”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa la Obtención del Título de:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**DANIELITA FERNANDA BORJA MAYORGA**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2012**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco en primer lugar a Dios, por iluminar mi vida y ser mi constante fortaleza para llegar a cumplir mi meta.*

*A mis padres por haberme brindado su apoyo incondicional en todos los aspectos, por estar siempre junto a mí motivándome en cada momento para lograr mi sueño anhelado.*

*De igual manera a los Ingenieros: Hanníbal Brito M. y José Usiña que con su experiencia y conocimiento dieron pasó firme para la conclusión del presente trabajo.*

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo a mis padres, Edwin René Borja y Mónica Mayorga, los cuales, siempre estuvieron junto a mí brindándome su infinito amor, comprensión y sacrificio por ellos he podido salir adelante y ser una profesional.*

*De igual manera a mis hermanos, Edwin, Ulises y Paulina Borja Mayorga, por haber estado junto a mí en todo momento, alentándome, con sus sabias palabras para llegar a concluir mi meta.*

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Dra. Yolanda Díaz

.....

**DECANA FAC. CIENCIAS**

Ing. Mario Villacrés A.

.....

**DIRECTOR ESC. ING. QUÍMICA**

Ing. Hanníbal Brito M.

.....

**DIRECTOR DE TESIS**

Ing. José Usiña

.....

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Tec. Carlos Rodríguez

.....

**DIRECTOR CENTRO DOCUMENTACIÓN**

*Yo, **Danielita Fernanda Borja Mayorga**, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis, y el patrimonio intelectual de la Memoria de Grado le pertenece a la **Escuela Superior Politécnica de Chimborazo**.*

## INDICE DE ABREVIATURAS

$\varepsilon$	=	Eficiencia (%)
$\mu$	=	Viscosidad Dinámica (Kg /ms)
$\nu$	=	Viscosidad Cinemática (m <sup>2</sup> /s)
$\rho$	=	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
$\Phi$	=	Diámetro (cm)
$\gamma$	=	Peso específico(N/m <sup>3</sup> )
Q	=	Caudal (L/s)
A	=	Área (m <sup>2</sup> )
L	=	Longitud (m)
v	=	Velocidad (m/s)
T	=	Temperatura (°C)
Ps	=	Presión de succión(N/m <sup>2</sup> )
Pd	=	Presión de descarga(N/m <sup>2</sup> )
z	=	Altura (m)
H <sub>T</sub>	=	Columna total (m)
h <sub>f</sub>	=	Pérdidas primarias (m)
f	=	Factor de fricción

g	=	Gravedad (m/s <sup>2</sup> )
k	=	Constante de accesorios
m <sup>3</sup>	=	Metros cúbicos
m <sup>2</sup>	=	Metros cuadrados
m	=	Metros
mL	=	Mililitros
L	=	Litros
Kg	=	Kilogramo
cm	=	Centímetros
mm	=	Milímetros
N <sub>Re</sub>	=	Número de Reynolds (adimensional)
t	=	Tiempo (s)
min.	=	Minuto
N	=	Newton
In	=	Pulgadas
Hp	=	Potencia de la bomba
W	=	Flujo másico (Kg/s)
H.G.	=	Hierro galvanizado

## TABLA DE CONTENIDOS

Pp:

PORTADA

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

HOJA DE FIRMAS

HOJA DE RESPONSABILIDAD

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

ÍNDICE DE ANEXOS

RESUMEN ..... i

SUMMARY ..... iii

INTRODUCCIÓN ..... iv

ANTECEDENTES ..... vi

JUSTIFICACIÓN ..... viii

OBJETIVOS ..... x

### **CAPÍTULO I**

1. MARCO TEÓRICO ..... 1

1.1. SISTEMAS DE TUBERÍAS ..... 1

1.1.1. GENERALIDADES ..... 1

1.1.2. MECÁNICA DE FLUIDOS ..... 1

1.1.2.1. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS ..... 2

1.1.3. TUBOS Y TUBERÍAS ..... 3

1.1.4. SISTEMAS DE TUBERÍAS EN PARALELO ..... 5

1.1.5. LOS ACCESORIOS PUEDEN SER ..... 6

1.1.5.1.	VÁLVULAS.....	6
1.1.5.1.1.	VÁLVULAS DE BLOQUEO .....	8
1.1.5.1.2.	VÁLVULAS DE ESTRANGULAMIENTO .....	11
1.1.5.1.3.	VÁLVULAS DE RETENCIÓN ( CHECK ) .....	13
1.1.5.1.4.	VÁLVULAS DE CONTROL O DESAHOGO DE PRESIÓN.....	14
1.1.5.2.	ACCESORIOS PARA TUBERÍAS .....	15
1.1.5.2.1.	BRIDAS.....	16
1.1.5.2.2.	CODOS.....	17
1.1.5.2.3.	TES .....	18
1.1.5.2.4.	REDUCCIONES .....	19
1.1.6.	BOMBAS .....	20
1.1.6.1.	BOMBA DE ÉMBOLO ALTERNATIVO .....	21
1.1.6.2.	BOMBA DE ÉMBOLO ROTATIVO .....	21
1.1.6.3.	BOMBA ROTODINÁMICA .....	21
1.1.6.3.1.	CENTRÍFUGAS.....	21
1.2.	MEDIDORES DE FLUJO .....	22
1.2.1.	FACTORES PARA LA ELECCIÓN DEL TIPO DE MEDIDOR DE FLUIDO .....	23
1.2.2.	TIPOS DE MEDIDORES DE CAUDAL .....	24
1.2.2.1.	MEDIDORES DE CABEZA VARIABLE .....	24
1.2.2.1.1.	EL TUBO DE VENTURI.- .....	24
1.2.2.2.	MEDIDORES DE AREA VARIABLE .....	25
1.2.2.2.1.	ROTÁMETRO .....	25
1.2.2.2.2.	FLUXOMETRO DE TURBINA.....	25
1.2.2.2.3.	FLUXOMETRO DE VORTICE .....	25
1.2.2.2.4.	FLUXOMETROS DE VELOCIDAD .....	25
1.2.2.2.4.1.	TUBO PITOT .....	26

1.3.	DISEÑO .....	26
1.3.1.	DISEÑO DE TUBERÍAS.....	26
1.3.2.	CAUDAL .....	27
1.3.3.	VISCOSIDAD .....	28
1.3.3.1.	VISCOSIDAD ABSOLUTA O DINÁMICA ( $\mu$ ) .....	28
1.3.3.2.	VISCOSIDAD CINEMÁTICA.....	28
1.3.4.	VELOCIDAD DE FLUJO .....	28
1.3.5.	NÚMERO DE REYNOLDS .....	29
1.3.6.	PERDIDAS POR FRICCIÓN .....	30
1.3.7.	PRINCIPIO DE BERNOULLI.....	32
1.3.8.	ALTURA DEL SISTEMA .....	33
1.3.9.	CÁLCULO DEL FLUJO MÁSSICO .....	33
1.3.10.	CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA .....	34
1.3.11.	CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA .....	34
1.3.12.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL EQUIPO .....	34
1.3.13.	ECUACIONES PARA TRABAJAR CON EL MANÓMETRO DIFERENCIAL DE PRESIÓN.....	35
1.3.13.1	CÁLCULO DE LA DIFERENCIA DE PRESIÓN.....	35
1.3.13.2	CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DEL SISTEMA.....	35
1.3.13.3	CÁLCULO DE FANNING.....	36
1.3.13.4	CÁLCULO DE LA CONSTANTE K.....	36
1.3.13.5	CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE ERROR.....	36
<b>CAPÍTULO II</b>		
2.	PARTE EXPERIMENTAL.....	37
2.1.	MUESTREO.....	37
2.1.1.	PLAN DE MUESTREO.....	37

2.1.1.1.	TIPO .....	37
2.1.1.2.	FRECUENCIA .....	37
2.1.1.3.	NÚMERO DE MUESTRA .....	37
2.2.	METODOLOGÍA.....	38
2.2.1.	MÉTODOS Y TÉCNICAS .....	38
2.2.1.1.	MÉTODOS .....	38
2.2.1.1.1.	INDUCTIVO .....	38
2.2.1.1.2.	DEDUCTIVO .....	38
2.2.1.1.3.	EXPERIMENTAL.....	39
2.2.1.2.	TÉCNICAS.....	39
2.2.1.2.1.	DETERMINACIÓN DE LA DUREZA .....	40
2.2.1.2.2.	TÉCNICAS DOCUMENTAL.....	41
2.2.1.2.3.	TÉCNICAS DE CAMPO .....	41
2.2.1.2.4.	DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES DE LOS ACCESORIOS .....	42
2.2.1.2.4.1.	MATERIALES .....	42
2.2.1.2.4.2.	PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES DE LOS ACCESORIOS .....	42
2.2.1.2.5.	DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA.....	43
2.2.1.2.5.1.	MATERIALES .....	43
2.2.1.2.5.2.	PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA.....	43
2.3.	DATOS EXPERIMENTALES .....	45
2.3.1.	DIAGNÓSTICO.....	61
2.4.	DATOS ADICIONALES .....	62

### CAPÍTULO III

3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TUBERÍAS EN PARALELO PARA LA MEDICIÓN DE LAS CONSTANTES DEACCESORIOS .....	64
3.1.	CONSIDERACIONES GENERALES Y CRITERIOS DE DISEÑO .....	64
3.1.1.	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE TUBERÍAS.....	64
3.2.	CÁLCULOS .....	65
3.2.1.	CÁLCULOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES DE ACCESORIOS (VÁLVULA CHECK).....	65
3.2.1.1.	CÁLCULO DEL CAUDAL .....	65
3.2.1.2.	CÁLCULO DE LA DIFERENCIA DE ALTURA DEL MANÓMETRO DIFERENCIAL DE PRESIÓN .....	65
3.2.1.3.	CÁLCULO DE LA DIFERENCIA DE PRESIÓN .....	65
3.2.1.4.	CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE FLUJO .....	66
3.2.1.5.	CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS.....	66
3.2.1.6.	CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DEL SISTEMA.....	66
3.2.1.7.	CÁLCULO DE FANNING .....	66
3.2.1.8.	CÁLCULO DE LA CONSTANTE K PARA LA VÁLVULA CHECK .....	67
3.2.1.9.	CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE ERROR.....	67
3.2.2.	CÁLCULOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA (LÍNEA I).....	67
3.2.2.1.	CÁLCULO DEL CAUDAL .....	67
3.2.2.2.	CÁLCULO DE LA VELOCIDAD .....	68
3.2.2.3.	CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS.....	68
3.2.2.4.	DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS .....	68
3.2.2.4.1.	CÁLCULO DE FANNING .....	68
3.2.2.4.2.	CÁLCULO DE PÉRDIDAS PRIMARIAS.....	69
3.2.2.4.3.	CÁLCULO DE PÉRDIDAS SECUNDARIAS .....	69

3.2.2.5.	CÁLCULO DE PÉRDIDAS TOTALES.....	69
3.2.2.6.	ECUACIÓN DE BERNOULLI.....	70
3.2.2.7.	CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA.....	70
3.2.2.7.1.	CÁLCULO DE W.....	70
3.2.2.7.2.	CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA.....	71
3.2.2.7.3.	CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA.....	71
3.3.	RESULTADOS.....	71
3.3.1.	RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA.....	71
3.3.2.	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE VALIDACIÓN DEL EQUIPO.....	72
3.3.2.1.	RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES DE ACCESORIOS.....	72
3.3.2.2.	RESULTADOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LAS GRÁFICAS Q vs. $\Delta H$ PARA CADA ACCESORIO.....	74
3.3.2.3.	RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA.....	77
3.4.	PROPUESTA DE DISEÑO.....	95
3.4.1.	DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS EN PARALELO.....	96
3.5.	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE TUBERÍAS EN PARALELO.....	97
3.5.1.	CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL EQUIPO.....	97
3.5.2.	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE TUBERÍAS EN PARALELO.....	97
3.5.3.	COLOCACIÓN DEL MANÓMETRO DIFERENCIAL DE PRESIÓN.....	98
3.6.	FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO (MANUAL).....	98
3.6.1.	FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.....	98
3.6.1.1.	FUNCIONAMIENTO PARA OBTENER DATOS EXPERIMENTALES PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA.....	98
3.6.1.2.	FUNCIONAMIENTO PARA OBTENER DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DE ACCESORIOS.....	98

	<b>Pp:</b>
3.6.2. MANTENIMIENTO DEL EQUIPO.....	99
3.7. REQUERIMIENTO PRESUPUESTARIO.....	100
3.7.1. RECURSOS HUMANOS .....	100
3.7.2. RECURSOS MATERIALES .....	100
3.7.3. RECURSOS TOTALES.....	100
3.8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	101
<b>CAPÍTULO IV</b>	
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	102
4.1. CONCLUSIONES.....	102
4.2. RECOMENDACIONES .....	104
BIBLIOGRAFÍA .....	105
ANEXOS .....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

Pp:

### TABLA:

1.1.3-1 DIFERENCIAS ENTRE TUBOS Y TUBERÍAS: .....	3
2.2.1.2.1-1 DETERMINACIÓN DE LA DUREZA.....	40
2.3 -1 DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE (K) VÁLVULA CHECK.....	45
2.3 -2 DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE (K) VÁLVULA DE BOLA .....	45
2.3 -3 DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE (K) PARA UN CODO.....	46
2.3 -4 DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE (K) PARA UNA TE .....	46
2.3 -5 DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE (K) VÁLVULA MARIPOSA.....	47
2.3 - 6 DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UNA BOMBA .....	48
2.3 – 7 DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA LÍNEA I .....	49
2.3 – 8 DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBALÍNEA II .....	51
2.3 – 9 DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA LÍNEA III.....	52
2.3 – 10 DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA LÍNEA IV .....	54
2.3 – 11 DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA LÍNEA V.....	55
2.3 – 12 DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA LÍNEA VI .....	57
2.3 – 13 DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA LÍNEA VII.....	59

**Pp:**

2.4-1 DATOS ADICIONALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES DE ACCESORIOS .....	62
2.4 – 2 DATOS ADICIONALES PARA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UNA BOMBA .....	62
2.4 – 3 DATOS ADICIONALES PARA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UNA BOMBA.....	63
3.3.1-1 RESULTADOS DE LA DUREZA DEL AGUA QUE ABASTECE AL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS .....	71
3.3.2.1-1 RESULTADOS DE LA CONSTANTE (K) PARA LA VÁLVULA CHECK.....	72
3.3.2.1-2 RESULTADOS DE LA CONSTANTE (K) PARA LA VÁLVULA DE BOLA ....	72
3.3.2.1-3 RESULTADOS DE LA CONSTANTE (K) PARA UN CODO .....	73
3.3.2.1-4 RESULTADOS DE LA CONSTANTE (K) PARA UNA TE.....	73
3.3.2.1-5 RESULTADOS DE LA CONSTANTE (K) PARA UNA VÁLVULA DE MARIPOSA .....	74
3.3.2.3 – 1 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA LÍNEA I .....	77
3.3.2.3 – 2 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA LÍNEA II.....	79
3.3.2.3 – 3 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA LÍNEA III.....	81
3.3.2.3 – 4 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA LÍNEA IV .....	83
3.3.2.3 – 5 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA LÍNEA V.....	85
3.3.2.3 – 6 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA LÍNEA VI .....	88
3.3.2.3 – 7 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA LÍNEA VII.....	91
3.3.2.3 – 8 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA EN TODAS LAS LÍNEAS DE TUBERÍA .....	94
3.4-1 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS EN PARALELO .....	95

**Pp:**

3.7.1-1 RECURSOS HUMANOS ..... 100  
3.7.2-1 RECURSOS MATERIALES..... 100  
3.7.3-1 RECURSOS TOTALES ..... 100

## ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

<b>FIGURA:</b>	<b>Pp:</b>
1.1.4-1 SISTEMAS DE TUBERÍAS EN PARALELO .....	6
1.1.5.1-1 TIPOS DE VÁLVULAS .....	7
1.1.5.1.1-1 VÁLVULAS DE COMPUERTA CON BRIDAS .....	9
F1.1.5.1.1-2 VÁLVULAS DE BOLA DE DOS PIEZAS .....	10
1.1.5.1.2- 1.VÁLVULAS DE MARIPOSA, MUY USADAS EN TUBERÍAS DE BAJA PRESIÓN. ....	13
1.1.5.1.3- 1. VÁLVULA DE RETENCIÓN (CHECK) HORIZONTAL.....	13
1.1.5.2.2-1 CODOS .....	17
1.1.5.2.3-1 TÉS.....	18
3.3.2.2-1.-Q vs. $\Delta H$ PARA LA VÁLVULA CHECK.....	74
3.3.2.2-2.- Q vs. $\Delta H$ PARA LA VÁLVULA DE BOLA .....	75
3.3.2.2-3.- Q vs. $\Delta H$ PARA UN CODO .....	75
3.3.2.2-4.- Q vs. $\Delta H$ PARA UNA TE .....	76
3.3.2.2-5.- Q vs. $\Delta H$ PARA UNA VÁLVULA DE MARIPOSA.....	76

## ÍNDICE DE ANEXOS

### ANEXO

I. DIAGRAMA DE MOODY.

II. DIAGRAMA DE LA RUGOSIDAD RELATIVA.

III. VALORES DEL COEFICIENTE K EN PÉRDIDAS SINGULARES.

IV. RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES.

V. COEFICIENTE DE HAZEN – WILIAMS PARA ALGUNOS MATERIALES.

VI. COSTOS DE MATERIALES.

VII. RESULTADOS DE DUREZA DEL AGUA QUE ABASTECE AL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS.

VIII. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA EXTERNA E INTERNA DEL EQUIPO.

IX. SISTEMA DE TUBERÍAS EN PARALELO PARA LA MEDICIÓN DE LAS CONSTANTES DE ACCESORIOS.

X. ACCESORIOS CONECTADOS AL MANÓMETRO DIFERENCIAL DE PRESIÓN POR MEDIO DE MANGUERAS.

## RESUMEN

El objetivo de esta tesis es realizar el diseño y construcción de un Sistema de Tuberías en Paralelo para la Medición de las Constantes de Accesorios, ya que el mismo ayudara a que los estudiantes de la Escuela de Ing. Química, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo apliquen los conocimientos de la cátedra de Mecánica de Fluidos en cuanto al movimiento de fluidos se refiere.

El dimensionamiento del equipo se realizó a través de cálculos de ingeniería, de datos experimentales y variables de proceso obtenidas en los ensayos de laboratorio y con la debida revisión bibliográfica, aplicando cada uno de los métodos como se detallan en el capítulo II.

El equipo está construido de varios materiales como: tubería (acero inoxidable, PVC, polipropileno y manguera transparente), sus accesorios son de material adecuado para cada requerimiento, la característica principal es que cuenta con un Manómetro Diferencial de Presión, este permite conocer las diferencias de presión entre dos puntos establecidos para cada tipo de accesorio, y con este se determina experimentalmente el valor de la constante  $k$ , su estructura está diseñada con un tubo cuadrado de acero inoxidable A36 la misma que está colocada sobre ruedas y permite que el equipo se desplace fácilmente, con dimensiones de 2x2 m (bxh).

Luego de realizar las pruebas, que permitieron validar el equipo los resultados para el valor de la constante  $k$  nos dio un porcentaje de error del 2% para la válvula check, por citar uno, este indica que el equipo cumple con las expectativas para las cuales fue diseñado. En cuanto al cálculo de la eficiencia de la bomba nos dio un porcentaje del 19%, este se debe a que el recorrido del fluido es corto y existen varios accesorios y por el roce existente, la eficiencia es baja.

Se recomienda trabajar con cuidado si se utiliza el manómetro diferencial de presión, ya que este es frágil, y representa un costo elevado.

## SUMMARY

The objective of this thesis is carrying out the design and construction of a Piping System in Parallel for the Measurement of Accessory Constants, as it will help the students of the School of Chemical Engineering, at the Polytechnic School of Chimborazo to apply the knowledge of the course of Fluid Mechanics regarding fluid movement.

The equipment sizing was carried out through engineering calculations, experimental data and process variables obtained in laboratory essays with the due bibliography revision, applying each method as detailed in chapter II.

The equipment is constructed from various materials such as: (stainless steel, PVC, polypropylene and transparent hose), its accessories are made up of the adequate material for each requirement, the main characteristic consists of a Pressure Differential Gage, it allows to know pressure differences between two points established for each accessory type and with them the value of the constant  $k$  is experimentally determined. Its structure is designed with a stainless steel A36 square pipe located on a wheel which permits an easy displacement of the equipment with  $2 \times 2$  (bxh) dimensions.

After carrying out the tests which allowed to validate the equipment, the results for the constant  $k$  value showed 2% percent error for the check valve just to cite one. This indicates that the equipment accomplishes the expectation for which it was designed. Regarding pump efficiency, it is calculated to be 19,8% . It is due to the fact that the fluid run is short and that there are various accessories and because of the existing frictions the efficiency is low.

It is recommended to work with care if the pressure differential gage is used because it is fragile and represents a high cost.

## INTRODUCCIÓN

El hombre ha ido adquiriendo y mejorando el legado de sus antecesores, perfeccionando sus técnicas, y acrecentando así cada vez más su demanda por conseguir una mejor calidad de vida. Fue así, como surgieron los tubos, quienes, organizados en sistemas, perduran en el tiempo como el medio de transporte de fluidos

Según el método más común para transportar fluidos de un punto a otro es impulsarlo a través de un sistema de tuberías. Las tuberías de sección circular son las más frecuentes, ya que esta forma ofrece no sólo mayor resistencia estructural, sino también mayor sección transversal para el mismo perímetro exterior que cualquier otra forma.

El manejo de los fluidos, requieren de la aplicación de conceptos básicos relacionado con el flujo de fluidos en tuberías en sistemas sencillos y en red de tuberías, el uso de válvulas accesorios y las técnicas necesarias para diseñar y especificar equipos utilizados en el transporte de fluidos.

La elección de una tubería es una actividad muy compleja que depende de los materiales de construcción, espesor de la pared del tubo, fluido a transportar, cargas y tipo de instalación.

El diseño de un sistema de transportes de fluidos en paralelo se basa en ciertas normas de diseños estandarizadas, las discrepancias de estas normas se relacionan con las condiciones de diseño, el cálculo de los esfuerzos y los factores admisibles.

Para llevar a cabo el presente proyecto, en primer lugar se realizaron las pruebas de dureza del agua, que abastece al Laboratorio de Operaciones Unitarias esto con, el fin de elegir el

material más apropiado en cuanto a tubos y accesorios se refiere, seguidamente se procedió a la parte del diseño y construcción, siguiendo uno a uno los puntos que se ha planteado en el cronograma de trabajo, del mismo modo se analizó todas las variables que forman parte del Sistema de Tuberías en Paralelo para la Medición de las Constantes de Accesorios como diámetros, caudales, velocidad, etc., por citar algunos y finalmente con el equipo ya construido se realizó las prácticas experimentales, para validar el equipo, mediante el cual, se obtuvieron los datos, que sirvieron para la realización de los cálculos correspondientes al sistema, con esto, se demostró que el equipo cumple con las expectativas planteadas.

El propósito de este tema, fue crear el equipo de Sistemas de Tuberías en Paralelo para la Medición de las Constantes de los Accesorios, utilizando un manómetro diferencial el mismo que por la diferencia de presiones, va a dar, a conocer el valor de las constantes de los accesorios experimentalmente y se los compara con datos de bibliografía, se cumplió con este fin ya que el porcentaje de error fue de 2%, para la válvula check, por citar uno, este valor es aceptable, con esto, se logrará que los estudiantes afiancen sus conocimientos en lo que respecta al movimiento de fluidos.

Es importante destacar también, los principios fundamentales del mantenimiento de tuberías, ya que es un punto importante a tener en cuenta en cualquier proceso industrial.

## ANTECEDENTES

Los seres humanos han almacenado y distribuido el agua durante siglos. En la época en que el hombre era cazador y recolector el agua utilizada para beber era agua del río. Cuando se producían asentamientos humanos de manera continuada estos siempre se producen cerca de lagos y ríos. Cuando no existen lagos y ríos las personas aprovechan los recursos de agua subterráneos que se extrae mediante la construcción de pozos. Cuando la población humana comienza a crecer de manera extensiva, y no existen suficientes recursos disponibles de agua, se necesita buscar otras fuentes diferentes de agua.

Hace aproximadamente 7000 años en Jericó el agua almacenada en los pozos se utilizaba como fuente de recursos de agua, además se empezó a desarrollar los sistemas de transporte y distribución del agua. Este transporte se realizaba mediante canales sencillos, excavados en la arena o las rocas y más tarde se comenzarían a utilizar tubos huecos. Por ejemplo en Egipto se utilizan árboles huecos de palmera mientras en China y Japón utilizan troncos de bambú y mas tarde, se comenzó a utilizar cerámico, madera y metal. En Persia la gente buscaba recursos subterráneos. El agua pasaba por los agujeros de las rocas a los pozos.

En la antigua Grecia el agua de esorrentía, agua de pozos y agua de lluvia eran utilizadas en épocas muy tempranas. Debido al crecimiento de la población se vieron obligados al almacenamiento y distribución (mediante la construcción de una red de distribución) del agua.

Los Romanos fueron los mayores arquitectos en construcciones de redes de distribución de agua que ha existido a lo largo de la historia. Ellos utilizaban recursos de agua subterránea, ríos y agua de esorrentía para su aprovisionamiento. Los romanos construyen presas para el almacenamiento y retención artificial del agua.

Los acueductos son los sistemas utilizados para el transporte del agua. A través de los acueductos el agua fluye por miles de millas. Los sistemas de tuberías en las ciudades utilizan cemento, roca, bronce, plata, madera y plomo.

Al Ingeniero Químico se le imparte una educación técnica y humanística, de tal forma que a más de sus conocimientos científicos que son indispensables para el desarrollo y desenvolvimiento en el campo de la industria y en general en todo lo que respecta al sector productivo. Para que los estudiantes estén altamente capacitados en lo científico y tecnológico en el área de Ingeniería Química. La Escuela debe contar con suficientes equipos para la realización de prácticas y complementar estos conocimientos teóricos con la práctica.

Para la realización de prácticas en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ing. Química, en lo que respecta a la cátedra de Mecánica de Fluidos, existe la problemática que faltan equipos para poder aplicar la parte teórica de esta, razón, por la cual, el principal problema que se tiene en el laboratorio es la falta de equipos y el equipo de pérdidas que existe en el Laboratorio de Química Industrial se encuentra en condiciones inadecuadas ya que algunas partes del equipo presentan fugas y los manómetros no funcionan.

Dicha problemática se puede solucionar con la construcción de un equipo en parte, como el Sistema de Tuberías en Paralelo para la Medición de las Constantes de Accesorios, con lo cual, se ayudará a la aplicación de conocimientos en las cátedras de Mecánica de Fluidos, Control de Procesos, Cálculos Básicos, Agroindustrial por citar algunas, coadyuvando así a solucionar esta problemática en lo que respecta a la escases de equipos dentro del Laboratorio.

## JUSTIFICACIÓN

Debido a la alta demanda que existe actualmente para la carrera de Ingeniería Química, se ha podido evidenciar que es necesario estar acorde al avance tecnológico e industrial del País, sin embargo, no se puede dejar de lado la parte aplicativa y experimental, como se sabe, no se cuenta con un Laboratorio de Operaciones Unitarias en la Escuela de Ing. Química, que esté implementado con equipos modernos para la realización de prácticas, es por tal motivo, que el desarrollo del presente tema ayudará en parte a solucionar este problema.

Debido a la falta de presupuesto y a su alto costo, la escuela no cuenta con suficientes equipos para la realización de prácticas de laboratorio, por lo antes mencionado hace falta mejorar en lo práctico y experimental.

La necesidad de transportar un fluido de un sitio a otro, ya sea por gravedad o por ayuda de un dispositivo mecánico es muy importante dentro de la ingeniería, ya que en todo proceso es preciso el diseño de sistemas para su transporte y también la medición de los flujos por el interior de tuberías, con lo cual, se logra optimizar procesos.

Teniendo conocimiento sobre la importancia que implica contar con equipos para complementar la parte teórica con la práctica, se ha visto en la necesidad de la realización del presente tema de investigación, buscando la manera de ampliar los conocimientos sobre lo que es el movimiento de los fluidos.

El diseño y construcción del Sistema de Tuberías en Paralelo para la medición de las constantes de accesorios facilitará comprobar de manera práctica y experimental, lo que es, la parte teórica de la fenomenología de fluidos, ya que se determinarán las constantes y

compararan con los valores de bibliografía, es decir, todo lo que interviene, en un sistema de tuberías (presión, pérdidas, viscosidad, etc.), equipo que servirá para el avance y desarrollo práctico, productivo y científico del intelecto de los alumnos de Ingeniería Química en el Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Mejorando así en la parte académica los conocimientos de tipo práctico, para que el estudiante de la carrera de Ing. Química pueda ser, competitivo y tenga un criterio muy amplio sobre este importante tema, que es la dinámica de fluidos, y todo lo que conlleva un diseño, de un sistema de tuberías.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Realizar el diseño y construcción de un sistema de tuberías en paralelo para la medición de las constantes de accesorios.

### **ESPECÍFICOS**

- Efectuar la caracterización del agua que llega al laboratorio de operaciones unitarias de la Facultad de Ciencias.
- Hacer el bosquejo del sistema de tuberías en paralelo.
- Identificar las variables del proceso para el sistema de tuberías en paralelo.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el sistema de tuberías en paralelo.
- Dimensionar el sistema de tuberías en paralelo.
- Validar el equipo.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1.SISTEMAS DE TUBERÍAS**

### **1.1.1. GENERALIDADES**

“Generalmente en los procesos industriales la mayor parte de las sustancias se encuentran en forma de líquidos o gases (fluidos), mismos que para ser transportados o utilizados como suministros deben ser transportados de un sitio a otro, ya sea por gravedad o mediante la ayuda de un dispositivo mecánico (bomba), para esto es necesario conocer los principios que gobiernan al flujo de fluidos.

Es importante el transporte de fluidos en la mayor parte de las operaciones unitarias de ingeniería química, ya que el manejo de líquidos es mucho más sencilla, barata y de fácil manejo que los sólidos.

Uno de los fluidos más importantes para todo proceso de transformación en la industria es el agua.

### **1.1.2. MECÁNICA DE FLUIDOS**

La mecánica de fluidos es un de las ciencias básicas de la ingeniería. Ésta estudia las leyes del comportamiento de los fluidos; tanto de fluidos en equilibrio (hidrostática), como de fluidos en movimiento (hidrodinámica).

Un fluido es una sustancia sin forma propia debido a su poca cohesión intermolecular. Por lo tanto adquiere la forma del recipiente que lo contiene.

El movimiento de cada partícula del fluido se debe a la ley fundamental de la dinámica ( $F=M*a$ ), este movimiento puede ser dentro de conductos cerrados (tuberías) o por conductos abiertos (canales).

El agua, es el flujo más importante para el estudio de fluidos, se distribuye para el consumo mediante redes que presentan variados problemas tales como: selección de diámetro de tuberías, distribución de presiones y rapidez de flujo de volumen; estas problemáticas son resueltas gracias a distintas ecuaciones y leyes de la mecánica de fluidos.

#### 1.1.2.1. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

- **Densidad Relativa.-** Es una comparación de la densidad de una sustancia con la densidad del agua ( $\text{Kg/m}^3$ ).
- **Gravedad específica.-** Es adimensional y numéricamente coincide con la densidad. Está definida como el peso unitario del material dividido por el peso unitario del agua destilada a  $4\text{ }^\circ\text{C}$ . Se representa la Gravedad Específica por  $G_s$ , y también se puede calcular utilizando cualquier relación de peso de la sustancia a peso del agua siempre y cuando se consideren volúmenes iguales de material y agua.
- **Viscosidad.-** Es una magnitud física que mide la resistencia interna al flujo de un fluido, resistencia producto del frotamiento de las moléculas que se deslizan unas contra otras. La inversa de la viscosidad es la fluidez.
- **Viscosidad dinámica o absoluta.-** Es la resistencia interna al flujo de un fluido, originado por el roce de las moléculas que se deslizan unas sobre otras. La viscosidad dinámica se toma del tiempo que tarda en fluir un líquido a través de un tubo capilar a una determinada temperatura y se mide en "poises" o ( $\text{Kg/m.s}$ ). Es decir, es inherente a cada líquido en particular pues depende de su masa.
- **Viscosidad cinemática.-** Representa la característica propia del líquido desechando las fuerzas que genera su movimiento. Es decir, basta con dividir la viscosidad dinámica por la densidad del fluido y se obtiene una unidad simple de movimiento:  $\text{m}^2/\text{s}$ , o (stoke)".<sup>(1)</sup>

### 1.1.3. TUBOS Y TUBERÍAS

“Las conducciones forzadas o tuberías a presión son aquéllas que funcionan a plena sección y en las que el movimiento del líquido se debe a la presión reinante en el interior, pudiendo presentar, por tanto, pendientes y contra pendientes.

Una tubería es un conjunto de tubos y accesorios unidos mediante juntas para formar una conducción cerrada.

Un tubo es un elemento de sección circular. En ingeniería, la palabra tubo suele referirse a los componentes de una tubería, en general de pequeño diámetro.

Las tuberías se construyen en diversos materiales en función de consideraciones técnicas y económicas. Suele usarse el Poliéster Reforzado con fibra de vidrio (PRFV), hierro fundido, acero, latón, cobre, plomo, hormigón, polipropileno, PVC, polietileno de alta densidad (PEAD), etcétera.

**Tabla 1.1.3-1**

#### **Diferencias entre tubos y tuberías:**

<b>Tubos</b>	<b>Tuberías</b>
Pared delgada	Pared gruesa
En rollos de muchos metros de longitud	Diámetro relativamente grande, longitud entre 6 y 12 metros
No se pueden enroscar	Pueden enroscarse
Paredes lisas	Pared rugosa
Fabricados por extrusión o moldeo	Fabricados por soldadura, moldeo o taladro

*Fuente: Tubos y Tuberías, <http://descom.jmc.utfsm.cl/procesos2/documentos/procesosII%20%20pdf/Transporte%20de%20fluidos.pdf>*

## **Clasificación de los tubos:**

### **Tubos metálicos ferrosos**

- ✓ Hierro dulce
- ✓ Acero inoxidable
- ✓ Durirón

### **Tubos metálicos no ferrosos**

- ✓ Aluminio
- ✓ Aleaciones de cobre-latón y bronce
- ✓ Estaño
- ✓ Magnesio

### **Tubos para servicios especiales**

- ✓ Vidrio
- ✓ Cemento
- ✓ Hormigón
  
- ✓ PVC.- es utilizado en las instalaciones domésticas, debido principalmente a la variedad de accesorios del sistema (codos, manguitos de empalme, casquillos reductores, injertos, conexiones para desagües a bajante general, etc) con los que cuenta, como también su bajo peso y su rápida y fácil colocación. Las instalaciones con tubo de PVC permiten un flujo fácil de los desechos y prácticamente eliminan las obstrucciones, debido a la superficie lisa interior de los tubos y conexiones.

El tubo de PVC generalmente es de color gris o blanco, se provee en diámetros de 32, 40 o 50 mm, con elementos de conexión y acople acordes a cada uno de estos diámetros”.<sup>(2)</sup>

#### 1.1.4. SISTEMAS DE TUBERÍAS EN PARALELO

“Un sistema de tuberías en paralelo está formado por un conjunto de tuberías que nacen y confluyen en un mismo punto.

Para un sistema genérico de n tuberías en paralelo se verifica que:

- El caudal total es la suma de los caudales individuales de cada una de las tuberías (ecuación de continuidad)

$$Q_T = \sum_{i=1}^n Q_i \quad \text{Ec. 1.1.4-1}$$

- La pérdida de carga total es igual a la pérdida de carga en cada una de las tuberías del sistema:

$$\Delta h_T = \Delta h_i = h_{fi} + h_{mi} \quad \text{Ec. 1.1.4-2}$$

Donde:

$h_{fi}$  y  $h_{mi}$  son las pérdidas primarias y secundarias en cada una de las tuberías del sistema.

Sistema de 3 tuberías en paralelo entre A y B

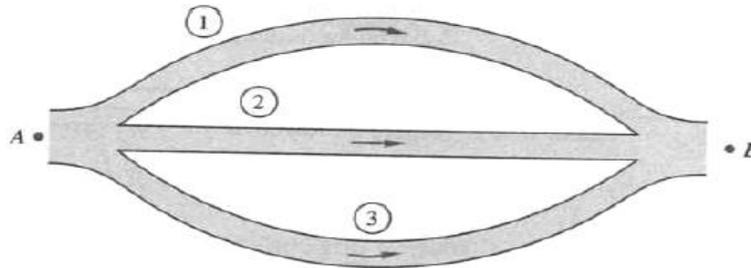


Fig. 1.1.4-1 Sistemas de tuberías en paralelo ”.<sup>(3)</sup>

### 1.1.5. LOS ACCESORIOS PUEDEN SER:

- “Piezas especiales: Unidades que posibilitan los empalmes, cambios de dirección (codos), derivaciones, variaciones de sección, etc.
- Dispositivos auxiliares: Aparatos que protegen y facilitan el buen funcionamiento de la red. Los más importantes son las válvulas y las ventosas.
- Las juntas son unidades que se emplean para unir tubos entre sí y con los accesorios.

Una red de distribución es un conjunto de tuberías principales, secundarias, terciarias, etc.

#### 1.1.5.1.VÁLVULAS

Sirven para controlar el flujo en un fluido, pueden ser de cierre o bloqueo, de estrangulación (modulación del flujo), o para impedir el flujo inverso.



**Fig. 1.1.5.1-1 Tipos de Válvulas**

## **TIPOS DE VÁLVULAS**

El tipo de válvula dependerá de la función que debe efectuar, se clasifican en:

- válvulas de cierre o bloqueo
- válvulas de estrangulamiento
- válvulas de retención o de flujo inverso.

Lo anterior se debe determinar según las necesidades de la unidad y del sistema para el cual se destina la válvula.

Dado que hay diversos tipos de válvulas disponibles para cada función, también es necesario determinar las condiciones del servicio ñeque se emplearán las válvulas. Es de importancia primordial conocer las características químicas y físicas de los fluidos que se manejan.

### **El tipo de servicio:**

- Líquidos.
- Gases.
- Líquidos con gases.
- Líquidos con sólidos.
- Gases con sólidos.
- Vapores generados instantáneamente por la reducción en a presión del sistema.
- Con corrosión o sin corrosión.
- Con erosión o sin erosión.

Una vez definidas las funciones y el tipo de servicio, se puede seleccionar el tipo de válvula usando la lista de la clasificación de válvulas.

#### **1.1.5.1.1.VÁLVULAS DE BLOQUEO**

Son dispositivos cuya misión es la de bloquear cuando sea necesario, el flujo de fluidos de alimentación o escape en tuberías o equipos de procesos.

Dentro de este grupo están las siguientes:

- **Válvulas de compuerta:** Resistencia mínima al fluido de la tubería. Se utiliza totalmente abierta o cerrada. Accionamiento poco frecuente.

Las válvulas de compuerta para procesos suelen tener compuertas de cuña con un ángulo incluso de 10° entre los asientos. El cierre se logra al mover una cuña cónica o un par de discos entre los asientos.

Las características de estrangulación de las válvulas de compuerta son muy deficientes y ocurrirá una severa vibración del disco si la caída de presión a través de los asientos es muy grande.

La válvula de compuerta supera en número a los otros tipos de válvulas en servicios en donde se requiera circulación ininterrumpida y poca caída de presión. Las válvulas de compuerta no se recomiendan para servicios de estrangulación, porque la compuerta y el sello tienden a sufrir erosión rápida cuando restringen la circulación y producen turbulencia con la compuerta parcialmente abierta.

Cuando la válvula está abierta del todo, se eleva por completo la compuerta fuera del conducto del flujo, por lo cual el fluido pasa en línea recta por el conducto que suele tener el mismo diámetro que la tubería.

Las características principales del servicio de las válvulas de compuerta incluyen: cierre completo sin estrangulación, operación poco frecuente y mínima resistencia a la circulación.

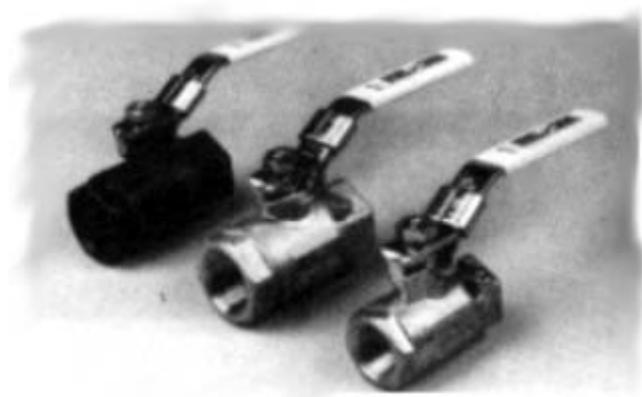


**Fig. 1.1.5.1.1-1 Válvulas de compuerta con bridas**

- **Válvulas de macho:** Cierre hermético. Deben estar abiertas o cerradas del todo. El uso principal de estas, es en servicio de cote y estrangulación. Dado que el flujo es suave e ininterrumpido, hay poca turbulencia dentro de ella y por tanto, la caída de presión es baja. Las ventajas principales de las válvulas de macho son acción rápida, operación sencilla, espacio mínimo para la instalación y cierre hermético cuando tienen macho cónico.

- **Válvulas de bola:** No hay obstrucción al flujo. Se utiliza para líquidos viscosos y pastas aguadas. Se utiliza totalmente abierta o cerrada.

Son básicamente válvulas de macho modificadas. No son satisfactorias para estrangulación, son de rápida operación de fácil mantenimiento, no requieren lubricación, producen cierre hermético con baja torsión y su caída de presión es función del tamaño del orificio.



**Fig. 1.1.5.1.1-2 Válvulas de bola de dos piezas**

- **Válvulas de mariposa:** Su uso principal es cierre y estrangulación de grandes volúmenes de gases y líquidos a baja presión. Su diseño de disco abierto, rectilíneo, evita cualquier acumulación de sólidos; la caída de presión es muy pequeña.
- **Válvulas de ángulo.**
- **Válvulas de tipo Y.**

### 1.1.5.1.2.VÁLVULAS DE ESTRANGULAMIENTO

Estas válvulas permiten regular el paso de un fluido en función de los requerimientos del proceso.

Las más comunes son:

- **Válvulas de globo o asiento:** Son para uso poco frecuente. El uso principal de la válvula de globo es para estrangulación porque puede producir una caída considerable de presión en una amplia gama de presiones y temperaturas. Sin embargo, tiene baja capacidad y duración limitada del asiento debido a la turbulencia, el asiento suele estar paralelo con el sentido del flujo. Su mantenimiento es costoso porque el sellamiento es de metal con metal, aunque ya hay asientos de materiales elastoméricos. Estas limitaciones explican por qué son inadecuadas para servicio con pastas aguadas.

La válvula de globo tiene ciertas limitaciones:

- Limitación del tamaño, por lo general a 0.41 m;
- Menor capacidad comparada con una válvula con vástago visible de igual tamaño, como las de bola o mariposa y, a veces,
- Mayor costo, en especial en los tamaños grandes.

Aunque la válvula de globo seguirá teniendo muchas aplicaciones, quizá resulte más acertada la elección de válvulas de bola o de mariposa, por su mayor capacidad, construcción más sencilla y compacta, menor peso y un costo más bajo.

Se usan para cortar o regular el flujo del líquido y este último es su uso principal.

Las principales características de los servicios de estas válvulas es que incluyen operación frecuente, estrangulamiento al grado deseado de cualquier flujo, para gases y aire, y alta resistencia y caída tolerable de presión en la línea.

- **Válvulas de aguja:** Son básicamente válvulas de globo que tiene un macho cónico similar a una aguja, que ajusta con precisión en su asiento. Se puede tener estrangulación exacta de volúmenes pequeños porque el orificio formado entre el macho cónico y al asiento cónico se puede variar a intervalos pequeños y precisos.

Por lo general, se utilizan para instrumentos o sistemas hidráulicos, aunque no para altas temperaturas. Los materiales de construcción suelen ser bronce, acero inoxidable, latón y otras aleaciones.
- **Válvulas en Y:** Son válvulas de globo que permiten el paso rectilíneo y sin obstrucción igual que las válvulas de compuerta.

Son una modificación de las de globo, tienen el conducto rectilíneo de una válvula de compuerta. El orificio para el asiento está inclinado un ángulo de  $45^\circ$  con el sentido de flujo. Por tanto, se obtienen una trayectoria más lisa, similar a la de válvula de compuerta y hay menor caída de presión que en la válvula de globo convencional; además, tiene buena capacidad para estrangulación.
- **Válvulas de ángulo:** Son similares a las de globo, su diferencia principal es que el flujo del fluido hace un giro de  $90^\circ$
- **Válvulas de mariposa:** Trabajan a presiones de 150 psi hasta el vacío.

Son uno de los tipos más usuales y antiguos que se conocen. Son sencillas, ligeras y de bajo costo. El costo de mantenimiento también es bajo porque tienen un mínimo de piezas móviles. El uso principal de las válvulas de mariposa es para servicio de corte y de estrangulación cuando se manejan grandes volúmenes de gases y líquidos a presiones relativamente bajas.



**Fig. 1.1.5.1.2- 1.Válvulas de mariposa, muy usadas en tuberías de baja presión.**

### **1.1.5.1.3.VÁLVULAS DE RETENCIÓN ( CHECK )**

Son aquellas que no permiten el flujo inverso, actúan de manera automática entre los cambios de presión para evitar que se invierta el flujo. La presión del fluido circulante abre la válvula; el peso del mecanismo de retención y cualquier inversión en el flujo la cierran. Los discos y componentes móviles pueden estar en movimiento constante si la fuerza de la velocidad no es suficiente para mantenerlas en su posición estable de apertura total.

Existen diferentes tipos, y su selección depende de la temperatura, caída de presión que producen y la limpieza del fluido.

Están disponibles en los siguientes tipos:

- Bisagra.
- Disco inclinable
- Elevación (disco, pistón o bola).
- De pie
- Retención horizontal



**Fig. 1.1.5.1.3- 1. Válvula de retención (check) horizontal.**

#### 1.1.5.1.4.VÁLVULAS DE CONTROL O DESAHOGO DE PRESIÓN

Se utilizan cuando se requiere el desahogo o descarga de la presión cuando esta exceda la que se puede controlar.

Dependiendo del servicio que realizan se les denomina:

- **Válvulas de seguridad:** Es un dispositivo automático para desahogo de presión accionado por la presión estática corriente arriba de la válvula y que se caracteriza por su acción de disparo para plena apertura. Generalmente se utiliza en servicios con gas o vapores.

En la industria, el término válvula de seguridad se aplica en general a las utilizadas en servicio para vapor de calderas.

- **Válvulas de desahogo:** Es un dispositivo automático para desahogo de la presión accionado por la presión estática corriente arriba de la válvula y que tiene apertura adicional con el aumento en la presión en relación con su funcionamiento. Su servicio principal es con líquidos.

El término válvula de desahogo se aplica en cualquier tipo de dispositivo para este fin.

En términos estrictos, se debe aplicar a una válvula diseñada para servicios con líquidos; casi todas estas válvulas son pequeñas.

Las válvulas de desahogo se utilizan en la descarga de la bomba para la dilatación térmica del líquido en tuberías que se pueden obstruir o que están expuestas a la radiación solar u otras fuentes de calor. Estas válvulas no suelen ser adecuadas para servicio con polímeros porque éstos tienden a sedimentarse y a obstruir o pegar la válvula.

Los materiales para los resortes de las válvulas suelen ser de acero al carbono para servicio a menos de 450°F. Para una temperatura mayor, se necesitan resortes con

aleación de tungsteno y también hay resortes de acero inoxidable. Están disponibles diversos tipos de revestimientos a la corrosión.

- **Válvulas de desahogo de seguridad** que al igual que las anteriores son un dispositivo automático, accionado por presión, también se puede utilizar para vapor o calderas, pero la aplicación más importante es en los recipientes de presión sin fuego. Además se usan en la descarga de bombas y compresores.

- **Válvulas de emergencia**

En tuberías a presión no es suficiente la instalación de sólo una válvula de servicio. Es necesario considerar también la colocación de una válvula para emergencia o cierre por mantenimiento, localizada y controlada de manera que el cierre rápido por emergencia, en condiciones desbalanceadas, esté asegurado en cualquier circunstancia y no se produzca así golpe de ariete.

### **1.1.5.2.ACESORIOS PARA 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.

#### **TIPOS:**

Entre los tipos de accesorios más comunes se puede mencionar:

- Bridas
- Codos
- Tés
- Reducciones
- Cuellos o acoples

- Empacaduras
- Tornillos y niples.

### **CARACTERÍSTICAS GENERALES:**

**Diámetros:** Es la medida de un accesorio o diámetro nominal mediante el cual se identifica al mismo y depende de las especificaciones técnicas exigidas.

**Resistencia:** Es la capacidad de tensión en libras o en kilogramos que puede aportar un determinado accesorio en plena operatividad.

**Aleación:** Es el material o conjunto de materiales del cual está hecho un accesorio de tubería.

**Espesor:** Es el grosor que posee la pared del accesorio de acuerdo a las normas y especificaciones establecidas.

#### **1.1.5.2.1.BRIDAS**

Son accesorios para conectar tuberías con equipos (Bombas, intercambiadores de calor, calderas, tanques, etc.) o accesorios (codos, válvulas, etc.) La unión se hace por medio de dos bridas, en la cual una de ellas pertenece a la tubería y la otra al equipo o accesorio a ser conectado.

La ventaja de las uniones bridadas radica en el hecho de que por estar unidas por espárragos, permite el rápido montaje y desmontaje a objeto de realizar reparaciones o mantenimiento.

#### **Tipos de bridas y características:**

**Brida con cuello:** para soldar es utilizada con el fin de minimizar el número de soldaduras en pequeñas piezas a la vez que contribuya a contrarrestar la corrosión en la junta.

**Brida deslizante:** es la que tiene la propiedad de deslizarse hacia cualquier extremo del tubo antes de ser soldada y se encuentra en el mercado con cara plana, cara levantada, borde y ranura, macho y hembra y de orificio requiere soldadura por ambos lados.

**Brida roscada:** Son bridas que pueden ser instaladas sin necesidad de soldadura y se utilizan en líneas con fluidos con temperaturas moderadas, baja presión y poca corrosión, no es adecuada para servicios que impliquen fatigas térmicas.

**Brida loca con tubo rebordeado:** Es la brida que viene seccionada y su borde puede girar alrededor de cuello, lo que permite instalar los orificios para tornillos en cualquier posición sin necesidad de nivelarlos.

#### 1.1.5.2.2.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.



Fig. 1.1.5.2.2-1 Codos

#### Tipos:

Los **codos estándar** son aquellos que vienen listos para la pre-fabricación de piezas de tuberías y que son fundidos en una sola pieza con características específicas y son:

Codos estándar de 45°.

Codos estándar de 90°.

Codos estándar de 180°.

### **Características:**

**Diámetro:** Es el tamaño o medida del orificio del codo entre sus paredes los cuales existen desde ¼" hasta 120".

También existen codos de reducción.

**Angulo:** Es la existente entre ambos extremos del codo y sus grados dependen del giro o desplazamiento que requiera la línea.

**Radio:** Es la dimensión que va desde el vértice hacia uno de sus arcos. Según sus radios los codos pueden ser: radio corto, largo, de retorno y extra largo.

**Espesores:** una normativa o codificación del fabricante determinada por el grosor de la pared del codo.

**Dimensión:** Es la medida del centro al extremo o cara del codo y la misma puede calcularse mediante fórmulas existentes.

### **1.1.5.2.3.TES**

Son accesorios que se fabrican de diferentes tipos de materiales, aleaciones, diámetros y Schedule y se utiliza para efectuar fabricación en líneas de tubería.



**Fig. 1.1.5.2.3-1 Tés**

**Tipos:**

Diámetros iguales o te de recta. Reductora con dos orificios de igual diámetro y uno desigual.

**Características:**

**Diámetro:** las tés existen en diámetros desde 1/4" hasta 72" en el tipo Fabricación.

**Espesor:** Este factor depende del espesor del tubo o accesorio a la cual va instalada y ellos existen desde el espesor fabricación hasta el doble extra pesado.

**Aleación:** Las más usadas en la fabricación son: acero al carbono, acero inoxidable, galvanizado, etc.

**Juntas:** Para instalar las tés en líneas de tubería se puede hacer, mediante procedimiento de rosca embutible-soldable o soldable a tope.

**Dimensión:** Es la medida del centro a cualquiera de las bocas de la te.

**1.1.5.2.4.REDUCCIONES**

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.

**Tipos:**

**Estándar concéntrica:** Es un accesorio reductor que se utiliza para disminuir el caudal del fluido aumentando su velocidad, manteniendo su eje.

**Estándar excéntrica:** Es un accesorio reductor que se utiliza para disminuir el caudal del fluido en la línea aumentando su velocidad perdiendo su eje.

### **Características:**

**Diámetro:** Es la medida del accesorio o diámetro nominal mediante el cual se identifica al mismo, y varía desde 1/4" x 3/8" hasta diámetros mayores.

**Espesor:** Representa el grosor de las paredes de la reducción va a depender de los tubos o accesorios a la cual va a ser instalada. Existen desde el espesor estándar hasta el doble extra pesado.

**Aleación:** Es la mezcla utilizada en la fabricación de reducciones, siendo las más usuales: al carbono, acero al % de cromo, acero inoxidable, etc.

**Dimensión:** Es la medida de boca a boca de la reducción Concéntrica y excéntrica".<sup>(4)</sup>

### **1.1.6. BOMBAS**

“Son dispositivos mecánicos que funcionan con energía eléctrica generalmente, son capaces de generar altura de carga para transportar un fluido de un lugar a otro.

El funcionamiento en si de la bomba será el de un convertidor de energía, transformara la energía mecánica en energía cinética, generando presión y velocidad en el fluido.

Los factores más importantes que permiten escoger un sistema de bombeo adecuado son: presión última, presión de proceso, velocidad de bombeo, tipo de gases a bombear.

#### **Las bombas se clasifican en tres tipos principales:**

- De émbolo alternativo.
- De émbolo rotativo.
- Rotodinámicas.

Los dos primeros operan sobre el principio de desplazamiento positivo, es decir, que bombean una determinada cantidad de fluido (sin tener en cuenta las fugas independientemente de la altura de bombeo). El tercer tipo debe su nombre a un elemento rotativo, llamado rodete, que comunica velocidad al líquido y genera presión. La carcasa exterior, el eje y el motor completan la unidad de bombeo.

#### **1.1.6.1. BOMBA DE ÉMBOLO ALTERNATIVO**

Consiste en un pistón que tiene un movimiento de vaivén dentro de un cilindro.

Un adecuado juego de válvulas permite que el líquido sea aspirado, hacia el interior, en una embolada y lanzado hacia la turbina de impulsión.

#### **1.1.6.2. BOMBA DE ÉMBOLO ROTATIVO**

Generan presión por medio de engranajes o rotores muy ajustados que impulsan periféricamente al líquido dentro de la carcasa cerrada. El caudal es uniforme y no hay válvulas. Este tipo de bombas es eminentemente adecuado para pequeños caudales (menores de 1 pie<sup>3</sup>/s y el líquido viscoso).

#### **1.1.6.3. BOMBA ROTODINÁMICA**

Es capaz de satisfacer la mayoría de las necesidades de la ingeniería y su uso está muy extendido. Su campo de utilización abarca desde abastecimientos públicos de agua, drenajes y regadíos, hasta transporte de hormigón o pulpas.

##### **1.1.6.3.1. CENTRÍFUGAS**

Son el tipo más corriente de bombas rotodinámicas, y se denomina así porque la cota de presión que crean es ampliamente atribuible a la acción centrífuga. Pueden estar proyectadas para impulsar caudales tan pequeños como 1 gal/min. o tan grandes como 4.000.000 gal/min, mientras que la cota generada puede variar desde algunos pies hasta 400.

El rendimiento de las de mayor tamaño puede llegar al 90%. El rodete consiste en cierto número de álabes curvados en dirección contraria al movimiento y colocados entre dos discos metálicos.

El agua entra por el centro u ojo del rodete y es arrastrada por los álabes y lanzada en dirección radial. Esta aceleración produce un apreciable aumento de energía de presión y cinética. A la salida, el movimiento del fluido tiene componentes radial y transversal.

Para que no haya una pérdida notable de energía, y por tanto de rendimiento, es esencial transformar en la mayor medida posible la considerable cota cinemática a la salida del rodete en la más útil cota de presión. Normalmente, esto se consigue construyendo la carcasa en forma de espiral, con lo que la sección del flujo en la periferia del rodete va aumentando gradualmente.

Para caudales grandes se usa el rodete de doble aspiración, que es equivalente a dos rodetes de simple aspiración ensamblados dorso con dorso; esta disposición permite doblar la capacidad sin aumentar el diámetro del rodete. En ambos casos, las superficies de guía están cuidadosamente pulimentadas para minimizar las pérdidas por rozamiento. El montaje es generalmente horizontal, ya que así se facilita el acceso para el mantenimiento. Sin embargo, debido a la limitación del espacio, algunas unidades de gran tamaño se montan verticalmente. Las proporciones de los rodetes varían dentro de un campo muy amplio, lo que permite hacer frente a una dilatada gama de condiciones de funcionamiento”<sup>(5)</sup>

## **1.2. MEDIDORES DE FLUJO**

### **A. “Medidores por presión diferencial**

- ✓ Orificio
- ✓ Venturi

- ✓ Tobera
- ✓ Tubo Pitot y Annubar
- ✓ Codo

#### **B. Medidores de desplazamiento positivo.**

- ✓ Diafragma
- ✓ Rotativos

#### **C. Medidores de turbina.**

#### **D. Otro tipo de medidores.**

- ✓ Vortex
- ✓ Área variable (rotámetros)

### **1.2.1. FACTORES PARA LA ELECCIÓN DEL TIPO DE MEDIDOR DE FLUIDO**

**Rango:** los medidores disponibles en el mercado pueden medir flujos desde varios mililitros por segundo (ml/s) para experimentos precisos de laboratorio hasta varios miles de metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s) para sistemas de irrigación de agua o agua municipal o sistemas de drenaje.

**Exactitud requerida:** cualquier dispositivo de medición de flujo instalado y operado adecuadamente puede proporcionar una exactitud dentro del 5 % del flujo real. La mayoría de los medidores en el mercado tienen una exactitud del 2% y algunos dicen tener una exactitud de más del 0.5%.

**Pérdida de presión:** debido a que los detalles de construcción de los distintos medidores son muy diferentes, éstos proporcionan diversas cantidades de pérdida de energía o pérdida de presión conforme el fluido corre a través de ellos. Excepto algunos tipos, los medidores de

fluido llevan a cabo la medición estableciendo una restricción o un dispositivo mecánico en la corriente de flujo, causando así la pérdida de energía.

**Tipo de fluido:** el funcionamiento de algunos medidores de fluido se encuentra afectado por las propiedades y condiciones del fluido. Una consideración básica es si el fluido es un líquido o un gas. Otros factores que pueden ser importantes son la viscosidad, la temperatura, la corrosión, la conductividad eléctrica, la claridad óptica, las propiedades de lubricación y homogeneidad.

**Calibración:** se requiere de calibración en algunos tipos de medidores. Algunos fabricantes proporcionan una calibración en forma de una gráfica o esquema del flujo real versus indicación de la lectura. Algunos están equipados para hacer la lectura en forma directa con escalas calibradas en las unidades de flujo que se deseen.

## **1.2.2. TIPOS DE MEDIDORES DE CAUDAL**

### **1.2.2.1.MEDIDORES DE CABEZA VARIABLE**

El principio básico de estos medidores es que cuando una corriente de fluido se restringe, su presión disminuye por una cantidad que depende de la velocidad de flujo a través de la restricción, por lo tanto la diferencia de presión entre los puntos antes y después de la restricción puede utilizarse para indicar la velocidad del flujo. Los tipos más comunes de medidores de cabeza variable son el tubo Venturi, la placa orificio y el tubo de flujo.

**1.2.2.1.1. EL TUBO DE VENTURI.-**es un dispositivo que origina una pérdida de presión al pasar por él un fluido. En esencia, éste es una tubería corta recta, o garganta, entre dos tramos cónicos. La presión varía en la proximidad de la sección estrecha; así, al colocar un manómetro o instrumento registrador en la garganta se puede medir la caída de presión y calcular el caudal instantáneo, o bien, uniéndola a un depósito carburante, se puede introducir este combustible en la corriente principal.

## **1.2.2.2. MEDIDORES DE AREA VARIABLE**

### **1.2.2.2.1.ROTÁMETRO**

El rotámetro es un medidor de área variable que consta de un tubo transparente que se amplía y un medidor de "flotador" (más pesado que el líquido) el cual se desplaza hacia arriba por el flujo ascendente de un fluido en la tubería. El tubo se encuentra graduado para leer directamente el caudal. Las ranuras en el flotador hace que rote y, por consiguiente, que mantenga su posición central en el tubo. Entre mayor sea el caudal, mayor es la altura que asume el flotador.

### **1.2.2.2.2.FLUXOMETRO DE TURBINA**

El fluido provoca que el rotor de la turbina gire a una velocidad que depende de la velocidad de flujo. Conforme cada una de las aspas de rotor pasa a través de una bobina magnética, se genera un pulso de voltaje que puede alimentarse de un medidor de frecuencia, un contador electrónico u otro dispositivo similar cuyas lecturas puedan convertirse en velocidad de flujo. Velocidades de flujo desde 0.02 L/min hasta algunos miles de L/min se pueden medir con fluxómetros de turbina de varios tamaños.

### **1.2.2.2.3.FLUXOMETRO DE VORTICE**

Una obstrucción chata colocada en la corriente del flujo provoca la creación de vórtices y se derrama del cuerpo a una frecuencia que es proporcional a la velocidad del flujo.

Un sensor en el fluxómetro detecta los vórtices y genera una indicación en la lectura del dispositivo medidor.

### **1.2.2.2.4.FLUXOMETROS DE VELOCIDAD**

Algunos dispositivos disponibles comercialmente miden la velocidad de un fluido en un lugar específico más que una velocidad promedio.

#### **1.2.2.2.4.1. TUBO PITOT**

Cuando un fluido en movimiento es obligado a pararse debido a que se encuentra un objeto estacionario, se genera una presión mayor que la presión de la corriente del fluido. La magnitud de esta presión incrementada se relaciona con la velocidad del fluido en movimiento. El tubo pitot es un tubo hueco puesto de tal forma que los extremos abiertos apuntan directamente a la corriente del fluido. La presión en la punta provoca que se soporte una columna del fluido. El fluido en o dentro de la punta es estacionario o estancado llamado punto de estancamiento”.<sup>(6)</sup>

### **1.3. DISEÑO**

#### **1.3.1. DISEÑO DE TUBERÍAS**

##### **Consideraciones generales y criterios de diseño**

“El diseño de un sistema de tuberías consiste en el diseño de sus tuberías, brida y su tortillería, empaaduras, válvulas, accesorios, filtros, trampas de vapor juntas de expansión.

##### **Procedimiento de diseño de tuberías**

El correcto diseño del sistema debe tomar en consideración los siguientes criterios:

- a. Establecimiento de las condiciones de diseño incluyendo presión, rango de temperaturas, propiedades del fluido, condiciones de operación y otras condiciones, tales como: choques de fluido, gradientes térmicos y número de ciclos de varias cargas, además las contingencias específicas para cada diseño.
- b. Determinación del diámetro de la tubería, el cual depende fundamentalmente de las condiciones del proceso, es decir, del caudal, la velocidad y la presión del fluido.
- c. Selección de los materiales de la tubería con base en corrosión, fragilización y resistencia.
- d. Selección de las clases de "rating" de bridas y válvulas.

- e. Cálculo del espesor mínimo de pared para las temperaturas y presiones de diseño, de manera que la tubería sea capaz de soportar los esfuerzos tangenciales producidos por la presión del fluido.
- f. Establecimiento de una configuración aceptable de soportes para el sistema de tuberías.
- g. Análisis de esfuerzos por flexibilidad para verificar que los esfuerzos producidos en la tubería por los distintos tipos de carga estén dentro de los valores admisibles, a objeto de comprobar que las cargas sobre los equipos no sobrepasen los valores límites.

Para el diseño del sistema de tuberías en paralelo, se debe tomar en cuenta las siguientes ecuaciones, para poder dimensionar el equipo, partimos por el número de Reynolds, ecuación de Bernoulli (con esta vamos a encontrar la ecuación que rige el fenómeno de transporte), mediante esta se calculan los parámetros que hacen falta en la ecuación del sistema, caudal, velocidad de flujo, pérdidas, ect, se determina la altura del sistema y se procede a calcular la eficiencia de la bomba, con lo cual, se va a tener una idea más sólida de lo que se requiere, para construir dicho equipo<sup>(7)</sup>.

### 1.3.2. CAUDAL

“Es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

El caudal puede calcularse a través de la siguiente fórmula:

Ec. 1.3.2-1

Dónde:

- $Q$  = Caudal (  $m^3/s$  )
- $A$  = Es el área (  $m^2$  )
- $\bar{v}$  = Es la velocidad lineal promedio. (  $m/s$  )<sup>(8)</sup>

### 1.3.3. VISCOSIDAD

Indica su resistencia al flujo, es una propiedad dinámica, es medida cuando el fluido está en movimiento.

La viscosidad sin embargo es una simple relación a cualquier tasa de corte, entre el esfuerzo cortante a la tasa de corte.

#### 1.3.3.1. VISCOSIDAD ABSOLUTA O DINÁMICA ( $\mu$ )

Es representada en el SI por el poiseuille (Pl) cuya unidad es el segundo Pascal ( Pas) o también Newton s/m<sup>2</sup> ( N), o sea kilogramo por metro segundo ( Kg / ms ).

**1.3.3.2. VISCOSIDAD CINEMÁTICA ( $\nu$ )** es el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad.

$$\nu = \mu/\rho(\text{m}^2/\text{s}) \quad \text{Ec. 1.3.3.2-1}$$

La viscosidad cambia con la temperatura. La viscosidad de los líquidos decrece con el incremento de la temperatura.

### 1.3.4. VELOCIDAD DE FLUJO

Representa la distancia que recorre un fluido, ya sea en tuberías abiertas o cerradas, en un tiempo determinado. La velocidad de flujo puede calcularse a través de la siguiente fórmula:

$$v = \frac{4Q}{\pi\phi^2} \quad \text{Ec.1.3.4-1}$$

Donde:

$v$  = Velocidad de flujo (m/s)

$\varnothing$  = diámetro de la tubería (m)

$Q$  = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

### 1.3.5. NÚMERO DE REYNOLDS

“El **número de Reynolds** ( $Re$ ) es un número adimensional que relaciona la fuerza de inercia y fuerza de viscosidad, es utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido.

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu} \quad \text{Ec. 1.3.5-1}$$

o equivalentemente por:

$$Re = \frac{v_s D}{\nu} \quad \text{Ec. 1.3.5-2}$$

Dónde:

$\rho$  = densidad del fluido

$v_s$  = velocidad característica del fluido

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

$\mu$  = viscosidad dinámica del fluido

$\nu$  = viscosidad cinemática del fluido.

**Autor:** Osborne Reynolds (1842-1912), quien lo describió en 1883

✓ **Aplicaciones:**

**En conductos o tuberías:**

Para valores de  $Re \leq 2000$  el flujo se mantiene estacionario y se comporta como si estuviera formado por láminas delgadas, que interactúan sólo en función de los esfuerzos tangenciales existentes. Por eso a este flujo se le llama **flujo laminar**. El colorante introducido en el flujo se mueve siguiendo una delgada línea paralela a las paredes del tubo.

Para valores de  $2000 \leq Re \leq 4000$  la línea del colorante pierde estabilidad formando pequeñas ondulaciones variables en el tiempo, manteniéndose sin embargo delgada. Este régimen se denomina de transición.

Para valores de,  $Re \geq 4000$  después de un pequeño tramo inicial con oscilaciones variables, el colorante tiende a difundirse en todo el flujo. Este régimen es llamado **turbulento**, es decir caracterizado por un movimiento desordenado, no estacionario y tridimensional".<sup>(9)</sup>

### 1.3.6. PERDIDAS POR FRICCIÓN

“Se la utiliza para determinar las pérdidas de energía que se disipan por la rugosidad del material de las tuberías o tubos.

- **Pérdidas primarias:** Se producen cuando el fluido se pone en contacto con la superficie de la tubería. Esto provoca que se rocen unas capas con otras (flujo laminado) o de partículas de fluidos entre sí (flujo turbulento). Estas pérdidas se realizan solo en tramos de tuberías horizontal y de diámetro constante.

$$h_f = f \frac{LV^2}{D^2g}$$

Ec. 1.3.6-1

En términos de caudal, la ecuación se transforma en:

$$h_f = f \frac{8fLQ^2}{\pi^2 g D^5} \quad \text{Ec. 1.3.6-2}$$

Donde:

$h_f$  = pérdida de carga (m).

$f$  = coeficiente de rozamiento

$L$  = longitud de la tubería (m).

$V$  = velocidad media, (m/s).

$D$  = diámetro de la tubería, (m).

$g$  = aceleración de la gravedad ( 9.81 m/s<sup>2</sup> )

$Q$  = caudal, (m<sup>3</sup>/s).

Para encontrar  $h_f$  primero se busca en el diagrama de MOODY el factor de fricción “ $f$ ”.

- **Pérdidas secundarias:** Se producen en transiciones de la tubería (estrechamiento o expansión) y en toda clase de accesorios (válvulas, codos). En el cálculo de las pérdidas de carga en tuberías son importantes dos factores:

- ✓ Que la tubería sea lisa o rugosa.
- ✓ Que el fluido sea laminar o turbulento.

$$h_f = K \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec. 1.3.6-3}$$

Dónde:

K= Coeficiente de resistencia (depende del elemento que produzca la pérdida de carga. Ej. Tubería, codo.

v = velocidad media en la tubería, codos, válvulas (m/s).

**Diagrama de MOODY:** Este diagrama resuelve problemas de pérdidas de carga en tuberías.

Se emplea igualmente en tuberías de sección no circular reemplazando el diámetro por el radio hidráulico, además se usa para determinar el factor de fricción (f).

**Autor:** Darcy-Weisbach

**Aplicaciones:**

El factor de Fricción Fanning, se lo calcula de acuerdo al régimen de flujo en el que se encuentre, laminar, transición o turbulento”.<sup>(10)</sup>

### 1.3.7. PRINCIPIO DE BERNOULLI

“Este principio, también denominado ecuación de Bernoulli o Trinomio de Bernoulli, describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente.

Ecuación de Bernoulli es:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 \frac{g}{g_c} + H = h_f + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 \frac{g}{g_c} \quad \text{Ec. 1.3.7-1}$$

Dónde:

- $\gamma$  = es el peso específico ( $\gamma = \rho g$ ).
- $H$  = es una medida de la energía que se le suministra al fluido.
- $h_f$  = es una medida de la energía empleada en vencer las fuerzas de fricción a través del recorrido del fluido.

- Los subíndices 1 y 2 indican si los valores están dados para el comienzo o el final del volumen de control respectivamente.
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  y  $g_c = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}/(\text{N}\cdot\text{s}^2)$

**Autor:** Fue expuesto por Daniel Bernoulli en su obra *Hidrodinámica* (1738).

### **Aplicaciones:**

#### ✓ **Tubería**

La ecuación de Bernoulli y la ecuación de continuidad también nos dicen que si reducimos el área transversal de una tubería para que aumente la velocidad del fluido que pasa por ella, se reducirá la presión”.<sup>(11)</sup>

### **1.3.8. ALTURA DEL SISTEMA**

Es la altura de carga del sistema. (H), sus unidades son m.

### **1.3.9. CÁLCULO DEL FLUJO MÁSSICO**

$$W = Q * \rho \qquad \text{Ec. 1.3.9-1}$$

Dónde:

W = Flujo másico (Kg/s)

Q = Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$\rho$  = Densidad ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

### 1.3.10. CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA

$$Hp = \frac{WH}{75\varepsilon} \quad \text{Ec. 1.3.10 -1}$$

Donde:

Hp = Potencia de la bomba.

W = Flujo másico (Kg/s)

H = Carga total de altura (m)<sup>(12)</sup>

### 1.3.11. CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA

$$\varepsilon = \frac{WH}{Hp*75} \quad \text{Ec. 1.3.11 -1}$$

Donde:

$\varepsilon$  = Eficiencia de la bomba (%)

W = Flujo másico (Kg/s)

H = Carga total de altura (m)

Hp = Potencia de la bomba.

### 1.3.12. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL EQUIPO

La estructura externa de soporte del equipo, está diseñada con un tubo cuadrado de acero inoxidable A36 la misma que está colocada sobre ruedas y permite que el equipo se desplace fácilmente.

### 1.3.13. ECUACIONES PARA TRABAJAR CON EL MANÓMETRO DIFERENCIAL DE PRESIÓN

#### 1.3.13.1 CÁLCULO DE LA DIFERENCIA DE PRESIÓN

$$\Delta P = g\Delta H_m(\rho_m - \rho_{agua}) \quad \text{Ec. 1.3.13.1-1}$$

Donde:

$\Delta P$  = Variación de presión (Pa)

$g$  = Gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

$\Delta H$  = Variación de altura del alcohol (cm)

$\rho_m$  = Densidad del alcohol

$\rho_{(agua)}$  = Densidad del agua

#### 1.3.13.2 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DEL SISTEMA

$$h_L = \frac{P_1 - P_2}{\gamma_{agua}} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \quad \text{Ec. 1.3.13.2-1}$$

Donde:

$h_L$  = Pérdidas del sistema (m)

$\Delta P$  = Variación de presión (Pa)

$v$  = Velocidad de flujo (m/s)

$g$  = Gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

$\gamma$  = Peso específico del agua ( $\text{N/m}^3$ )

### 1.3.13.3 CÁLCULO DE FANNING

$$f = \frac{\Delta P * \emptyset * 2g}{\gamma_{agua} * L * v^2} \quad \text{Ec. 1.3.13.3-1}$$

Donde:

f = factor Fanning

$\Delta P$  = Variación de presión (Pa)

v = Velocidad de flujo (m/s)

g = Gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

$\gamma$  = Peso específico del agua ( $\text{N/m}^3$ )

L = Longitud (m)

### 1.3.13.4 CÁLCULO DE LA CONSTANTE K

$$k = h_L \frac{2g}{v^2} \quad \text{Ec. 1.3.13.4-1}$$

Donde:

k = Coeficiente de rozamiento

$h_L$  = Pérdidas del sistema (m)

v = Velocidad de flujo (m/s)

g = Gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

### 1.3.13.5 CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE ERROR

$$\% e = \frac{V_{teorico} - V_{experimental}}{V_{teorico}} \quad \text{Ec. 1.3.13.5-1}$$

Donde:

%e = Porcentaje de error

V. teórico = Valor teórico

V. experimental = Valor experimental

# **CAPÍTULO II**

## **PARTE EXPERIMENTAL**

## **2. PARTE EXPERIMENTAL**

Se inicia con el diagnóstico de los equipos existentes en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, (equipo de pérdidas) el cuál, permite determinar, la cantidad de caudal que se dispone, la eficiencia de la bomba, presiones, etc, parámetros que sirvieron de referencia para un correcto dimensionamiento del (sistema de tuberías en paralelo para la medición de las constantes de los accesorios), posteriormente se realizó la caracterización del agua de abastecimiento del laboratorio, el mismo que servirá de alimentación para este sistema de tuberías en paralelo, este análisis sirve como punto de partida para tomar la mejor decisión en cuanto al material de tubería se refiere y con esto lograr que el equipo tenga mayor vida útil, puesto que una alta dureza del agua puede causar desgaste o corrosión si la tubería es de hierro galvanizado.

### **2.1. MUESTREO**

#### **2.1.1. PLAN DE MUESTREO**

##### **2.1.1.1. TIPO**

El tipo de muestreo que se aplicó es simple para la recolección de datos experimentales, que se obtuvieron del equipo de Sistemas de Tubería en Paralelo.

##### **2.1.1.2. FRECUENCIA**

El muestreo tendrá una frecuencia de una (1) vez por semana por un período de dos (2) meses.

##### **2.1.1.3. NÚMERO DE MUESTRA**

Esto implicó cuatro (4) datos experimentales al mes y un total de ocho (8) datos experimentales en los dos (2) meses.

## **2.2. METODOLOGÍA**

### **2.2.1. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

#### **2.2.1.1. MÉTODOS**

En todo proceso de diseño se requiere procedimientos que son formulados de una manera lógica para la adquisición de información y cumplimientos de objetivos.

El presente estudio, utilizó la investigación tanto teórica como experimental para obtener la mejor metodología en respuesta a las posibles interrogantes que se puedan presentar, producto del proceso de Transporte de Fluidos y su empleo en distintos Campos Industriales, seleccionando los medios y procesos más adecuados, ya que serán de gran utilidad para el análisis de datos y la toma de decisiones.

##### **2.2.1.1.1.INDUCTIVO**

Involucra aquellos procedimientos que van de lo simple a lo complejo, se caracterizan porque tienen una síntesis. Partiendo del análisis de la dureza del agua se lograra una elección correcta del material de la tubería. Para posteriormente determinar las variables que involucra el sistema de tuberías en paralelo a implementar, y a continuación calcular los valores correspondientes al diseño de dicho sistemas de tuberías en paralelo antes mencionado para su construcción y posterior verificación de su funcionamiento.

##### **2.2.1.1.2.DEDUCTIVO**

En el desarrollo de dicho estudio se parte de fundamentos y principios de Cálculos Básicos, Control de Procesos, Operaciones Unitarias y Mecánica de Fluidos, partiendo así al diseño y construcción del Sistema de Tuberías en Paralelo, mediante la selección adecuada de los materiales y accesorios para su respectivo dimensionamiento lo cual es de gran ayuda para

obtener los cálculos necesarios y la determinación de las variables del proceso con el fin de obtener la caracterización y muestreo apropiado en cuanto al mejor diseño se refiere.

#### **2.2.1.1.3.EXPERIMENTAL**

Permite descubrir propiedades de los fenómenos que en condiciones naturales sería imposible revelarlas. Es por tal motivo que una vez construido el equipo se realizarán los cálculos de: velocidad de flujo, caudal, número de Reynolds, etc., mediante la recopilación de datos, de las pruebas que se realicen en el equipo, de sistema de tuberías en paralelo, además con la ayuda del manómetro diferencial se conocerá directamente el caudal del fluido esto por la diferencia de presión, seguidamente se determinaran las constantes de los accesorios.

#### **2.2.1.2.TÉCNICAS**

Podría definirse como el conjunto de procedimientos y recursos de que se vale la ciencia para conseguir su fin. Es indispensable en el proceso de la investigación científica, facilitando una secuencia en la realización del proyecto ya que integra la estructura por medio de la cual se organiza el diseño, a través de formas generales la cual permitirá la recopilación de información para enunciar las teorías que se basan en el estudio de los fenómenos y procesos.

### 2.2.1.2.1.DETERMINACIÓN DE LA DUREZA

**TABLA 2.2.1.2.1-1**  
**DETERMINACIÓN DE LA DUREZA**  
**STANDARD METODOS \*2340 y C/ASTMD 1126-92**

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
<p>La dureza del agua se define como las características del agua que representa la concentración total de calcio y magnesio, expresadas como CaCO<sub>3</sub> en mg/L. El rango de dureza varia entre 0 y cientos de mg/L, dependiendo de la fuente de agua y el tratamiento a que haya sido sometida.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probeta de 100 ml</li> <li>• Pipeta de 1 ml</li> <li>• Erlenmeyer de 250 ml</li> <li>• Bureta de 25 ml</li> <li>• Balón aforado de 250 ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar 25 ml de muestras en el erlenmeyer.</li> <li>• Adicionar 2-3 ml de solución buffer pH 10.</li> <li>• Agregar 1 ml de solución de cianuro de potasio.</li> <li>• Añadir 3 gotas de eriocromo negro T.</li> <li>• Titular con EDTA (sal disódica) 0,01 N</li> <li>• Vire de purpura azul.</li> </ul>	$CaCO_3 = \frac{V_1 \times M \times 10^5}{V_2}$ <p>Donde:</p> <p>CaCO<sub>3</sub> = Concentración de Carbonato de Calcio en ppm (mg/L)</p> <p>V<sub>1</sub> = volumen consumido de EDTA (mL)</p> <p>M= molaridad exacta del EDTA</p> <p>V<sub>2</sub>= volumen de la muestra (mL)</p>

#### 2.2.1.2.2.TÉCNICAS DOCUMENTAL

Esta técnica va incluir el uso de instrumentos definidos según la fuente documental a la que se va hacer referencia, para la elaboración del diseño.

- **Fuentes primarias de información:** Se realiza mediante el empleo de documentos que registra o corroboran el conocimiento inmediato de la investigación incluye libros, informes, técnicos, tesis, y monografías.
- **Fuentes Secundarias de Información:** Este renglón incluye, los manuales, las bibliografías y los índices entre otros: cuyos datos que integran las fuentes secundarias que se basaran en documentos primarios como en el depósito de información.
- **Instrumentos para Investigación Documental:** La investigación documental implicara plasmar el contenido a través de citas, así como también la ayuda de fichas bibliográficas que facilitara el desarrollo del proyecto.

#### 2.2.1.2.3.TÉCNICAS DE CAMPO

Se realizó mediante el empleo y análisis de los distintos diagramas, los cuales,fuerón una ayuda dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias el diseño y construcción del sistema de tuberías en paralelo para la medición de las constantes de los accesorios.

- ✓ **Flujométricos.-** Estará en función de las variables de volumen y tiempo ( $m^3/s$ ), permitirá apreciar de mejor manera la cantidad de fluido que circulará a través del Sistema de Tuberías en Paralelo.
- ✓ **Volumétricos.-** Permitirá apreciar la cantidad de fluido en metros cúbicos ( $m^3$ ) que puede abastecer el Sistema de Transporte de Fluidos.

Estas técnicas ayudaron a obtener datos del fluido, como: densidad, viscosidad, caudal, velocidad de flujo, etc., los mismos que serán de gran utilidad para la realización de los cálculos de la constante de accesorios posteriores, en la construcción del sistema ya mencionado.

#### **2.2.1.2.4.DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES DE LOS ACCESORIOS**

##### **2.2.1.2.4.1. MATERIALES**

- Manómetro en U (alcohol)
- Sistema de tuberías en paralelo
- Placa Orificio (accesorio)
- Cronómetro
- Probeta
- Flexómetro

##### **2.2.1.2.4.2. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES DE LOS ACCESORIOS**

Primeramente se energizó el sistema; luego se verificó el nivel de agua del tanque y se puso en funcionamiento la bomba centrífuga.

Posteriormente se abre la válvula de regulación del flujo, desde la cual fluye el agua. Luego, mediante válvulas incorporadas en el sistema se purgaron las tuberías, es decir, se eliminó el aire existente en ellas hasta que el flujo se hiciera continuo. Las otras válvulas existentes en el sistema se mantuvieron perpendiculares a las tuberías, lo cual indicó que se encontraban cerradas.

Enseguida, se eligieron dos puntos de referencia; entre los cuales, se registró la diferencia de presión del fluido al pasar por una válvula u accesorio denominada placa orificio.

Desde estos dispositivos (puntos de toma de presión), son dirigidas pequeñas cañerías hacia un panel que posee un manómetro conectado al sistema. Dicho manómetro contiene alcohol en su interior.

Este fue utilizado para medir la diferencia de altura (H) que se provoca al pasar el fluido por los puntos de referencia mencionados anteriormente.

Luego, se estableció que para cada H existía un p (diferencia de peso) que se produjo desde un  $p_i$  (peso inicial) a un  $p_f$  (peso final) en un determinado tiempo (registrado mediante un cronómetro). Esto determinó el caudal volumétrico en (L/s) para cada medición realizada.

La experiencia se repitió 6 veces tabulando los valores registrados.

Con los datos obtenidos se procederá a graficar Q (L/s) v/s H.

Posteriormente se analizaron las pérdidas de energía en una contracción brusca, determinándose el coeficiente de resistencia (K).

Los resultados de la experiencia se tabulan y analizan posteriormente.

#### **2.2.1.2.5.DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA**

##### **2.2.1.2.5.1. MATERIALES**

- Sistema de tuberías en paralelo
- Cronómetro
- Probeta
- Termómetro
- Flexómetro

##### **2.2.1.2.5.2. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA**

- Tomar el nivel de agua del tanque
- Medir la Longitud y diámetros de la tubería
- Determinar el número y tipo de accesorios del sistema.

- Encender la bomba centrífuga y dejar circular el agua por todo el sistema.
- Cerrar las válvulas de todo el sistema y dejar abiertas únicamente las de la línea donde se desea determinar la eficiencia de la bomba.
- Tomar un volumen determinado
- Tomar el tiempo con la ayuda del cronómetro
- Realizar este paso 5 veces en cada línea.
- Con los datos obtenidos experimentalmente y con las tablas que existen para cálculos de fluidos se determina la eficiencia de la bomba del sistema de tuberías en paralelo.

### 2.3. DATOS EXPERIMENTALES

**TABLA 2.3 -1**  
**DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE**  
**(K) VÁLVULA CHECK**

<b>N</b>	<b><math>\Delta H(\text{cm})</math></b>	<b>V(L)</b>	<b>t (s)</b>
1	23,7	1,98	30,82
2	23,3	2	30,85
3	23,8	2	30,83
4	15,9	1,99	37,77
5	16,5	1,90	37,35
6	16,8	2	37,80

*Fuente: BORJA D., 2012*

**TABLA 2.3 -2**  
**DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE**  
**(K) VÁLVULA DE BOLA**

<b>N</b>	<b><math>\Delta H(\text{cm})</math></b>	<b>V(L)</b>	<b>t(s)</b>
1	13,8	1,90	5,65
2	13,6	2	5,75
3	14,2	1,90	5,63
4	8	1,95	8,32
5	7,9	1,94	8,20
6	7,2	2	8,37

*Fuente: BORJA D., 2012*

**TABLA 2.3 -3**  
**DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE**  
**(K) PARA UN CODO**

<b>N</b>	<b><math>\Delta H(\text{cm})</math></b>	<b>V(L)</b>	<b>t(s)</b>
1	17,5	1,96	21,10
2	17,8	2	21,12
3	17,5	1,95	21,10
4	41,5	1,97	15,66
5	43,8	1,99	15,25
6	42,1	2	15,71

*Fuente: BORJA D., 2012*

**TABLA 2.3 -4**  
**DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE**  
**(K) PARA UNA TE**

<b>N</b>	<b><math>\Delta H(\text{cm})</math></b>	<b>V(L)</b>	<b>t(s)</b>
1	11	1,97	7,42
2	11,5	1,89	7,19
3	11,5	2	7,83
4	50	1,98	14,75
5	51	1,97	14,70
6	50	2	14,80

*Fuente: BORJA D., 2012*

**TABLA 2.3 -5**  
**DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE**  
**(K) VÁLVULA MARIPOSA**

<b>N</b>	<b><math>\Delta H</math> (cm)</b>	<b>V (L)</b>	<b>t (s)</b>
1	21	1,98	44,86
2	21,3	1,97	44,80
3	20,5	1,98	44,85
4	51,7	1,96	30,68
5	50	2	32,20
6	50,4	1,97	30,69

*Fuente: BORJA D., 2012*

Donde:

n = Número de muestras

$\Delta H$  = Variación de altura (cm)

V = Volumen (L)

t = Tiempo (s)

**TABLA 2.3 - 6**

**DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UNA BOMBA**

<b>Línea</b>	<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>		<b>4</b>		<b>5</b>		<b>6</b>		<b>7</b>		<b>z<sub>1</sub></b>	<b>z<sub>2</sub></b>
<b>n</b>	<b>V (ml)</b>	<b>t (s)</b>	<b>(cm)</b>	<b>(cm)</b>												
<b>1</b>	5	12,10	5	11,13	5	12,30	5	12,18	5	13,35	5	21,43	5	17,75	52	63
<b>2</b>	5	12,15	5	11,45	5	12,38	5	12,47	5	13,25	5	21,37	5	18,01		
<b>3</b>	5	12,45	5	11,56	5	11,98	5	12,15	5	13,42	5	21,38	5	17,93		
<b>4</b>	5	12,25	5	11,68	5	12,41	5	12,10	5	13,49	5	21,12	5	17,93		

*Fuente: BORJA D., 2012*

Donde:

n = número de repeticiones.

V= volumen (ml)

t = tiempo (s)

z<sub>1</sub>= altura de Succión (cm)

z<sub>2</sub>= altura de Descarga (cm)

**TABLA 2.3 – 7**

**DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA LÍNEA I**

<b>L (m)</b>	<b>ø (in)</b>	<b>Material</b>	<b>Accesorio</b>	<b>L (m)</b>	<b>ø (in)</b>	<b>Material</b>	<b>Accesorio</b>
0,21	1	Manguera Plástica			1	PVC	Conector
	1	PVC	V. Bola	1,27	1	Manguera Transp.	
0,065	1	PVC			1	PVC	Conector
	1	PVC	U. Universal		0,5	PVC	Reduc.(1-1/2")
0,1	1	PVC		0,02	0,5	PVC	
0,15	0,5	PVC			0,5	PVC	U. Universal
	0,5	PVC	U. Universal	0,02	0,5	Ac. Inox.	
0,04	0,5	PVC			0,5	Ac. Inox.	V. Bola
	0,5	PVC	U. Universal	0,01	0,5	Ac. Inox.	
0,03	0,5	PVC			0,5	Ac. Inox.	Codo
	0,5	PVC	T	1,2	0,5	Ac. Inox.	
0,01	0,5	PVC			0,5	Ac. Inox.	Codo
	0,5	HG	V. Compuerta	0,02	0,5	Ac. Inox.	
0,01	0,5	PVC			0,5	Ac. Inox.	V. Bola
	0,5	PVC	Codo	0,02	0,5	Ac. Inox.	
0,03	0,5	PVC			0,5	PVC	Codo

	0,5	PVC	Codo	0,02	0,5	PVC	
	0,5	HG	Caudalímetro		0,5	PVC	Codo
	0,5	PVC	Codo	0,01	0,5	PVC	
1,1	0,5	Ac. Inox.			0,5	PVC	T
	0,5	Ac. Inox.	Codo	0,01	0,5	PVC	
	0,5	Ac. Inox.	T		0,5	PVC	V. Bola
0,01	0,5	Ac. Inox.		0,42	0,5	PVC	
	0,5	Ac. Inox.	V. Bola		0,5	PVC	U. Universal
0,01	0,5	PVC		0,03	0,5	PVC	
	0,5	PVC	T		0,5	PVC	Codo
	0,5		Ampli. (1/2-1")	0,04	0,5	PVC	

*Fuente: BORJA D., 2012*

Donde:

L = Longitud (m)

∅ = Diámetro (in)

**TABLA 2.3 – 8**  
**DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBALÍNEA II**

<b>L (m)</b>	<b>ø (in)</b>	<b>Material</b>	<b>Accesorio</b>	<b>L (m)</b>	<b>ø (in)</b>	<b>Material</b>	<b>Accesorio</b>
0,21	1	Manguera Plástica			0,5	Ac. Inox.	V. Bola
	1	PVC	V. Bola	1,53	0,5	PVC	
0,065	1	PVC			0,5	PVC	U. Universal
	1	PVC	U. Universal	0,01	0,5	PVC	
0,1	1	PVC			0,5	Ac. Inox.	V. Bola
0,15	0,5	PVC		0,01	0,5	Ac. Inox.	
	0,5	PVC	U. Universal	1	0,5	Ac. Inox.	
0,04	0,5	PVC			0,5	Ac. Inox.	Codo
	0,5	PVC	U. Universal	0,02	0,5	Ac. Inox.	
0,03	0,5	PVC			0,5	Ac. Inox.	V. Bola
	0,5	PVC	T	0,02	0,5	Ac. Inox.	
0,01	0,5	PVC			0,5	PVC	Codo
	0,5	HG	V. Compuerta	0,02	0,5	PVC	
0,01	0,5	PVC			0,5	PVC	Codo
	0,5	PVC	Codo	0,01	0,5	PVC	
0,03	0,5	PVC			0,5	PVC	T
	0,5	PVC	Codo	0,01	0,5	PVC	
	0,5	HG	Caudalímetro		0,5	PVC	V. Bola
	0,5	PVC	Codo	0,42	0,5	PVC	
1,1	0,5	Ac. Inox.			0,5	PVC	U. Universal
	0,5	Ac. Inox.	Codo	0,03	0,5	PVC	
	0,5	Ac. Inox.	T		0,5	PVC	Codo
0,2	0,5	Ac. Inox.		0,04	0,5	PVC	
0,01	0,5	Ac. Inox.					

**TABLA 2.3 – 9**  
**DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA LÍNEA III**

<b>L (m)</b>	<b>ø (in)</b>	<b>Material</b>	<b>Accesorio</b>	<b>L (m)</b>	<b>ø (in)</b>	<b>Material</b>	<b>Accesorio</b>
0,21	1	Manguera Plástica			0,5	Ac. Inox.	V. Check
	1	PVC	V. Bola	0,015	0,5	Ac. Inox.	
0,065	1	PVC			0,5	Ac. Inox.	T
	1	PVC	U. Universal		0,5	HG	Ampli.(1/2-3/4")
0,1	1	PVC		1,2	0,75	PVC	
0,15	0,5	PVC			0,5	HG	Reduc. (3/4"-1/2")
	0,5	PVC	U. Universal		0,5	Ac. Inox.	T
0,04	0,5	PVC			0,5	Ac. Inox.	U. Universal
	0,5	PVC	U. Universal	0,025	0,5	Ac. Inox.	
0,03	0,5	PVC			0,5	Ac. Inox.	V. Bola
	0,5	PVC	T	0,01	0,5	Ac. Inox.	
0,01	0,5	PVC		0,8	0,5	Ac. Inox.	
	0,5	HG	V. Compuerta		0,5	Ac. Inox.	Codo
0,01	0,5	PVC		0,02	0,5	Ac. Inox.	
	0,5	PVC	Codo		0,5	Ac. Inox.	V. Bola
0,03	0,5	PVC		0,02	0,5	Ac. Inox.	
	0,5	PVC	Codo		0,5	PVC	Codo
	0,5	HG	Caudalímetro	0,02	0,5	PVC	
	0,5	PVC	Codo		0,5	PVC	Codo

1,1	0,5	Ac. Inox.		0,01	0,5	PVC	
	0,5	Ac. Inox.	Codo		0,5	PVC	T
	0,5	Ac. Inox.	T	0,01	0,5	PVC	
0,4	0,5	Ac. Inox.			0,5	PVC	V. Bola
0,01	0,5	Ac. Inox.		0,42	0,5	PVC	
	0,5	Ac. Inox.	V. Bola		0,5	PVC	U. Universal
0,02	0,5	Ac. Inox.		0,03	0,5	PVC	
	0,5	Ac. Inox.	T		0,5	PVC	Codo
0,02	0,5	Ac. Inox.		0,04	0,5	PVC	

*Fuente: BORJA D., 2012*

Donde:

L = Longitud (m)

∅ = Diámetro (in)

**TABLA 2.3 – 10**  
**DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA LÍNEA IV**

L (m)	ø (in)	Material	Accesorio	L (m)	ø (in)	Material	Accesorio
0,21	1	Manguera Plástica			0,5	Ac. Inox.	V. Bola
	1	PVC	V. Bola		0,5	Ac. Inox.	T
0,065	1	PVC		1,3	0,5	Ac. Inox.	
	1	PVC	U. Universal		0,5	Ac. Inox.	T
0,1	1	PVC			0,5	Ac. Inox.	U. Universal
	0,5	PVC	U. Universal		0,5	Ac. Inox.	V. Bola
0,04	0,5	PVC		0,01	0,5	Ac. Inox.	
	0,5	PVC	U. Universal	0,6	0,5	Ac. Inox.	
0,03	0,5	PVC			0,5	Ac. Inox.	Codo
	0,5	PVC	T	0,02	0,5	Ac. Inox.	
0,01	0,5	PVC			0,5	Ac. Inox.	V. Bola
	0,5	HG	V. Compuerta	0,02	0,5	Ac. Inox.	
0,01	0,5	PVC			0,5	PVC	Codo
	0,5	PVC	Codo	0,02	0,5	PVC	
0,03	0,5	PVC			0,5	PVC	Codo
	0,5	PVC	Codo	0,01	0,5	PVC	
	0,5	HG	Caudalímetro		0,5	PVC	T
	0,5	PVC	Codo	0,01	0,5	PVC	
1,1	0,5	Ac. Inox.			0,5	PVC	V. Bola
	0,5	Ac. Inox.	Codo	0,42	0,5	PVC	
	0,5	Ac. Inox.	T		0,5	PVC	U. Universal
0,6	0,5	Ac. Inox.		0,03	0,5	PVC	
0,01	0,5	Ac. Inox.			0,5	PVC	Codo
	0,5	Ac. Inox.	V. Bola	0,04	0,5	PVC	
	0,5	Ac. Inox.	T				

*Fuente: BORJA D., 2012*

Tabla 2.3 – 11

DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA LÍNEA V

L (m)	ø (in)	Material	Accesorio	L (m)	ø (in)	Material	Accesorio
0,21	1	Manguera Plástica			0,5	PVC	Codo
	1	PVC	V. Bola	0,115	0,5	PVC	
0,065	1	PVC			0,5	PVC	Codo
	1	PVC	U. Universal	0,11	0,5	PVC	
0,1	1	PVC			0,5	PVC	Codo
0,15	0,5	PVC		0,115	0,5	PVC	
	0,5	PVC	U. Universal		0,5	PVC	Codo
0,04	0,5	PVC		0,11	0,5	PVC	
	0,5	PVC	U. Universal		0,5	PVC	Codo
0,03	0,5	PVC		0,05	0,5	Ac. Inox.	
	0,5	PVC	T		0,5	Ac. Inox.	T
0,01	0,5	PVC		0,025	0,5	Ac. Inox.	
	0,5	HG	V. Compuerta		0,5	PVC	Codo
0,01	0,5	PVC			0,5	Ac. Inox.	T
	0,5	PVC	Codo	0,34	0,5	Ac. Inox.	
0,03	0,5	PVC			0,5	Ac. Inox.	U. Universal
	0,5	PVC	Codo	0,02	0,5	Ac. Inox.	
	0,5	HG	Caudalímetro		0,5	Ac. Inox.	V. Bola
	0,5	PVC	Codo	0,01	0,5	Ac. Inox.	
1,1	0,5	Ac. Inox.		0,4	0,5	Ac. Inox.	
	0,5	Ac. Inox.	Codo		0,5	Ac. Inox.	Codo
	0,5	Ac. Inox.	T	0,02	0,5	Ac. Inox.	

0,8	0,5	Ac. Inox.			0,5	Ac. Inox.	V. Bola
0,01	0,5	Ac. Inox.		0,02	0,5	Ac. Inox.	
	0,5	Ac. Inox.	V. Bola		0,5	PVC	Codo
	0,5	Ac. Inox.	T	0,02	0,5	PVC	
	0,5	Ac. Inox.	T		0,5	PVC	Codo
0,02	0,5	Ac. Inox.		0,01	0,5	PVC	
	0,5	Ac. Inox.	V. Bola		0,5	PVC	T
	0,5	Ac. Inox.	T	0,01	0,5	PVC	
	0,5	Ac. Inox.	U. Universal		0,5	PVC	V. Bola
0,29	0,5	PVC		0,42	0,5	PVC	
	0,5	PVC	Codo		0,5	PVC	U. Universal
0,115	0,5	PVC		0,03	0,5	PVC	
	0,5	PVC	Codo		0,5	PVC	Codo
0,11	0,5	PVC		0,04	0,5	PVC	

*Fuente: BORJA D., 2012*

Donde:

L = Longitud (m)

∅ = Diámetro (in)

**TABLA 2.3 – 12**

**DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA LÍNEA VI**

<b>L (m)</b>	<b>ø (in)</b>	<b>Material</b>	<b>Accesorio</b>	<b>L (m)</b>	<b>ø (in)</b>	<b>Material</b>	<b>Accesorio</b>
0,21	1	Manguera Plástica		0,38	0,5		
	1	PVC	V. Bola		0,5	Ac. Inox.	T
0,065	1	PVC		0,01	0,5	Ac. Inox.	
	1	PVC	U. Universal		0,5	Ac. Inox.	V. Mariposa
0,1	1	PVC		0,01	0,5	Ac. Inox.	
0,15	0,5	PVC			0,5	Ac. Inox.	T
	0,5	PVC	U. Universal		0,5	PVC	Ampli. (1/2-1")
0,04	0,5	PVC		0,73	1	PVC	
	0,5	PVC	U. Universal		0,5	PVC	Reduc.(1-1/2")
0,03	0,5	PVC			0,5	Ac. Inox.	T
	0,5	PVC	T	0,02	0,5	Ac. Inox.	
0,01	0,5	PVC			0,5	Ac. Inox.	U. Universal
	0,5	HG	V. Compuerta	0,25	0,5	Ac. Inox.	
0,01	0,5	PVC			0,5	Ac. Inox.	V. Bola
	0,5	PVC	Codo	0,01	0,5	Ac. Inox.	
0,03	0,5	PVC		0,1	0,5	Ac. Inox.	
	0,5	PVC	Codo		0,5	Ac. Inox.	Codo
	0,5	HG	Caudalímetro	0,02	0,5	Ac. Inox.	
	0,5	PVC	Codo		0,5	Ac. Inox.	V. Bola
1,1	0,5	Ac. Inox.		0,02	0,5	Ac. Inox.	
	0,5	Ac. Inox.	Codo		0,5	PVC	Codo
	0,5	Ac. Inox.	T	0,02	0,5	PVC	

0,8	0,5	Ac. Inox.			0,5	PVC	Codo
0,01	0,5	Ac. Inox.		0,01	0,5	PVC	
	0,5	Ac. Inox.	V. Bola		0,5	PVC	T
	0,5	Ac. Inox.	T	0,01	0,5	PVC	
	0,5	Ac. Inox.	T		0,5	PVC	V. Bola
	0,5	Ac. Inox.	T	0,42	0,5	PVC	
	0,5	Ac. Inox.	V. Bola		0,5	PVC	U. Universal
0,01	0,5	PVC		0,03	0,5	PVC	
	0,5	PVC	U. Universal		0,5	PVC	Codo
0,12	0,5	PVC		0,04	0,5	PVC	
	0,5	PVC	T				

*Fuente: BORJA D., 2012*

Donde:

L = Longitud (m)

∅ = Diámetro (in)

**TABLA 2.3 – 13**

**DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA LÍNEA VII**

<b>L (m)</b>	<b>ø (in)</b>	<b>Material</b>	<b>Accesorio</b>	<b>L (m)</b>	<b>ø (in)</b>	<b>Material</b>	<b>Accesorio</b>
0,21	1	Manguera Plástica			0,5	Ac. Inox.	V. Mariposa
	1	PVC	V. Bola	0,01	0,5	Ac. Inox.	
0,065	1	PVC			0,5	Ac. Inox.	T
	1	PVC	U. Universal		0,5	PVC	Ampli. (1/2-1")
0,1	1	PVC		0,73	1	PVC	
0,15	0,5	PVC			0,5	PVC	Reduc.(1-1/2")
	0,5	PVC	U. Universal		0,5	Ac. Inox.	T
0,04	0,5	PVC		0,02	0,5	Ac. Inox.	
	0,5	PVC	U. Universal		0,5	Ac. Inox.	U. Universal
0,03	0,5	PVC		0,25	0,5	Ac. Inox.	
	0,5	PVC	T		0,5	Ac. Inox.	V. Bola
0,01	0,5	PVC		0,01	0,5	Ac. Inox.	
	0,5	HG	V. Compuerta	0,1	0,5	Ac. Inox.	
0,01	0,5	PVC			0,5	Ac. Inox.	Codo
	0,5	PVC	Codo	0,02	0,5	Ac. Inox.	
0,03	0,5	PVC			0,5	Ac. Inox.	V. Bola
	0,5	PVC	Codo	0,02	0,5	Ac. Inox.	
	0,5	HG	Caudalímetro		0,5	PVC	Codo
	0,5	PVC	Codo	0,02	0,5	PVC	
1,1	0,5	Ac. Inox.			0,5	PVC	Codo
	0,5	Ac. Inox.	Codo	0,01	0,5	PVC	
	0,5	Ac. Inox.	T		0,5	PVC	T

1	0,5	Ac. Inox.		0,01	0,5	PVC	
	0,5	Ac. Inox.	Codo		0,5	PVC	V. Bola
	0,5	Ac. Inox.	V. Bola	0,42	0,5	PVC	
0,02	0,5	Ac. Inox.			0,5	PVC	U. Universal
	0,5	PVC	T	0,03	0,5	PVC	
0,38	0,5	Ac. Inox.			0,5	PVC	Codo
	0,5	Ac. Inox.	T	0,04	0,5	PVC	
0,01	0,5	Ac. Inox.					

*Fuente: BORJA D., 2012*

Donde:

L = Longitud (m)

∅ = Diámetro (in)

### **2.3.1. DIAGNÓSTICO**

Los resultados presentes en la Tabla 3.2.1-1, corresponden a la determinación de la Dureza Total del agua que abastece al Laboratorio de Operaciones Unitarias, siendo esta de 478mg/L, por lo que es una agua de alta dureza.

Además en el Equipo de Pérdidas, existente en el Laboratorio de Química Industrial de la Facultad de Ciencias, se determinó la eficiencia de la bomba dando un valor de 2,86%, este es demasiado bajo, es por tal motivo, que se ha visto la necesidad de crear un Equipo de Sistemas de Tuberías en Paralelo, para lo cual, se identificó todas las variables, que intervienen en el equipo de pérdidas, y se observó que el equipo presentaba fugas, los manómetros análogos no funcionaban, además la tubería de hierro galvanizado presentaba corrosión, tomando en cuenta todas estas observaciones y las condiciones de operación del equipo de pérdidas, se pretende con el nuevo equipo lograr una mayor eficiencia de la bomba y escoger el material más adecuado y correcto para las tuberías.

Con este equipo vamos a mejorar el nivel de conocimientos, en cuanto se refiere al movimiento de fluidos, y como resultado se logrará mejorar el nivel de conocimientos de los alumnos de la Facultad de Ciencias.

## 2.4. DATOS ADICIONALES

**Tabla 2.4–1**  
**Datos Adicionales para la Determinación de las Constantes de Accesorios**

T (C)	$\rho_{\text{alcoh. eti}} \text{ (Kg/m}^3\text{)}$	$\gamma \text{ (N/m}^3\text{)}$
20	787	7,72

*Fuente: Tabla de Propiedades de Líquidos Comunes.*

Donde:

T = Temperatura (C)

$\rho_{\text{alcohol etílico}}$  = Densidad del alcohol etílico (Kg/m<sup>3</sup>)

$\gamma$  = Peso específico del alcohol etílico (N/m<sup>3</sup>)

**Tabla 2.4 – 2**  
**Datos Adicionales para Determinación de la Eficiencia de una Bomba**

T (C)	$\rho_{\text{H}_2\text{O}} \text{ Kg/m}^3\text{)}$	$\mu_{\text{H}_2\text{O}} \text{ (Kg/ms)}$	$\nu_{\text{H}_2\text{O}} \text{ (m}^2\text{/s)}$	$\gamma \text{ (N/m}^3\text{)}$
20	998,2	$1,009 \times 10^{-3}$	$1,02 \times 10^{-6}$	9792,342

*Fuente: Tabla de Propiedades del Agua a distintas Temperaturas*

Donde:

T= Temperatura (C)

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$  = Densidad del agua (Kg/m<sup>3</sup>)

$\mu_{\text{H}_2\text{O}}$  = Viscosidad del agua (Kg/ms)

$\nu_{\text{H}_2\text{O}}$  = Viscosidad cinemática del agua (m<sup>2</sup>/s)

$\gamma$  = Peso específico del agua (N/m<sup>3</sup>)

**Tabla 2.4 – 3**  
**Datos Adicionales para Determinación de la Eficiencia de una Bomba**

<b>Tipos de Accesorios</b>	<b>K</b>
Válvula Check	2,5
Válvula de Bola	0,05
Válvula de Compuerta	0,15
Válvula de Mariposa	5
Codos de 90°	0,9
Conexión T	1,00
Unión Universal	0,08
Medidor de Agua	2

*Fuente: Valores del Coeficiente K en Pérdidas Singulares. (Ver Anexo III)*

Donde:

K = constante de los accesorios.

**CAPÍTULO III**

**DISEÑO Y**

**CONSTRUCCIÓN**

### **3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TUBERÍAS EN PARALELO PARA LA MEDICIÓN DE LAS CONSTANTES DE ACCESORIOS**

#### **3.1. CONSIDERACIONES GENERALES Y CRITERIOS DE DISEÑO**

El diseño de un sistema de tuberías consiste en el diseño de sus tuberías, brida y su tornillería, empacaduras, válvulas, accesorios, filtros, trampas de vapor juntas de expansión.

##### **3.1.1. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE TUBERÍAS**

El correcto diseño del sistema debe tomar en consideración los siguientes criterios:

- a. Establecimiento de las condiciones de diseño incluyendo presión, rango de temperaturas, propiedades del fluido, condiciones de operación y otras condiciones, tales como: choques de fluido, gradientes térmicos y número de ciclos de varias cargas, además las contingencias específicas para cada diseño.
- b. Determinación del diámetro de la tubería, el cual depende fundamentalmente de las condiciones del proceso, es decir, del caudal, la velocidad y la presión del fluido.
- c. Selección de los materiales de la tubería con base en corrosión, fragilización y resistencia.
- d. Selección de las clases de "rating" de bridas y válvulas.
- e. Cálculo del espesor mínimo de pared para las temperaturas y presiones de diseño, de manera que la tubería sea capaz de soportar los esfuerzos tangenciales producidos por la presión del fluido.
- f. Establecimiento de una configuración aceptable de soportes para el sistema de tuberías.
- g. Análisis de esfuerzos por flexibilidad para verificar que los esfuerzos producidos en la tubería por los distintos tipos de carga estén dentro de los valores admisibles, a objeto de comprobar que las cargas sobre los equipos no sobrepasen los valores límites.

Para el diseño del sistema de tuberías en paralelo, se debe tomar en cuenta las siguientes ecuaciones, para poder dimensionar el equipo, partimos por el número de Reynolds, ecuación de Bernoulli (con esta vamos a encontrar la ecuación que rige el fenómeno de transporte), mediante esta se calculan los parámetros que hacen falta en la ecuación del sistema, caudal, velocidad de flujo, pérdidas, etc, se determina la altura del sistema y se procede a calcular la eficiencia de la bomba, con lo cual, se va a tener una idea mas sólida de lo que se requiere, para construir dicho equipo.

## **3.2. CÁLCULOS**

### **3.2.1. CÁLCULOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES DE ACCESORIOS (VÁLVULA CHECK)**

#### **3.2.1.1. CÁLCULO DEL CAUDAL**

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ec. 1.3.2-1}$$

$$Q = \frac{2}{37,8}$$

$$Q = 0,00005 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### **3.2.1.2. CÁLCULO DE LA DIFERENCIA DE ALTURA DEL MANÓMETRO DIFERENCIAL DE PRESIÓN**

$$\Delta H = 15,9 \text{ cm}$$

#### **3.2.1.3. CÁLCULO DE LA DIFERENCIA DE PRESIÓN**

$$\Delta P = g\Delta H_m(\rho_m - \rho_{agua}) \quad \text{Ec. 1.3.13.1-1}$$

$$\Delta P = 9,8 * 0,159(787 - 998,2)$$

$$\Delta P = 32878,02 \text{ Pa}$$

### 3.2.1.4. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE FLUJO

$$V = \frac{4Q}{\pi\phi^2} \quad \text{Ec. 1.3.4-1}$$

$$V = \frac{4 * 0,00005}{\pi * (0,0035)^2}$$

$$V = 5,197 \text{ m/s}$$

### 3.2.1.5. CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS

$$N_{Re} = \frac{v\rho\phi}{\mu} \quad \text{Ec. 1.3.5-1}$$

$$N_{Re} = \frac{5,197 * 998 * 0,0035}{0,001}$$

$$N_{Re} = 18152,7 \quad \text{Régimen Turbulento}$$

### 3.2.1.6. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DEL SISTEMA

$$h_L = \frac{P_1 - P_2}{\gamma_{agua}} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \quad \text{Ec. 1.3.13.2-1}$$

$$h_L = \frac{32878,02}{9792,343}$$

$$h_L = 3,357 \text{ m}$$

### 3.2.1.7. CÁLCULO DE FANNING

$$f = \frac{\Delta P * \phi * 2g}{\gamma_{agua} * L * v^2} \quad \text{Ec. 1.3.13.3-1}$$

$$f = \frac{32878,02 * 0,0035 * 2(9.8)}{9792,343 * 2 * (5,197)^2}$$

$$f = 0,004$$

### 3.2.1.8. CÁLCULO DE LA CONSTANTE K PARA LA VÁLVULA CHECK

$$k = h_L \frac{2g}{v_2^2} \quad \text{Ec. 1.3.13.4-1}$$

$$k = 3,357 \frac{2(9,8)}{(5,197)^2}$$

$$k = 2,44$$

### 3.2.1.9. CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE ERROR

$$\% e = \frac{V_{teorico} - V_{experimental}}{V_{teorico}} \quad \text{Ec. 1.3.13.5-1}$$

$$\% e = \frac{2,5 - 2,44}{2,5}$$

$$\% e = 2,4\%$$

## 3.2.2. CÁLCULOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA (LÍNEA I)

### 3.2.2.1. CÁLCULO DEL CAUDAL

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ec. 1.3.2-1}$$

$$Q = \frac{5}{12,23}$$

$$Q = 0,00040 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 3.2.2.2. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD

$$v = \frac{4Q}{\pi\phi^2} \quad \text{Ec. 1.3.4-1}$$

$$v = \frac{4 * 0,00040}{\pi * (0,0143)^2}$$

$$v = 2,490 \text{ m/s}$$

### 3.2.2.3. CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS

$$N_{Re} = \frac{v\rho\phi}{\mu} \quad \text{Ec. 1.3.5-1}$$

$$N_{Re} = \frac{2,490 * 998 * 0,0143}{0,001}$$

$$N_{Re} = 35535,79 \quad \text{Régimen Turbulento}$$

### 3.2.2.4. DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS

#### 3.2.2.4.1. CÁLCULO DE FANNING

$$f = \frac{0,316}{(N_{Re})^{0,25}} \quad \text{Ec. 1.3.5-2}$$

$$f = \frac{0,316}{(35535,79)^{0,25}}$$

$$f = 0,023$$

### 3.2.2.4.2.CÁLCULO DE PÉRDIDAS PRIMARIAS

$$h_f = f * \frac{L}{\phi} * \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec. 1.3.6-1}$$

$$h_f = 0,023 * \frac{4,86}{0,0143} * \frac{(2,490)^2}{2 * 9,8}$$

$$h_f = 2,472 \text{ m}$$

### 3.2.2.4.3.CÁLCULO DE PÉRDIDAS SECUNDARIAS

$$h_m = \Sigma K * \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec. 1.3.6-3}$$

$$h_m = 20,3 * \frac{(2,490)^2}{2 * 9,8}$$

$$h_m = 6,421 \text{ m}$$

### 3.2.2.5.CÁLCULO DE PÉRDIDAS TOTALES

$$h_{fT} = h_f + h_m \quad \text{Ec. 1.3.6-4}$$

$$h_{fT} = 2,472 + 6,421$$

$$h_{fT} = 8,893 \text{ m}$$

### 3.2.2.6.ECUACIÓN DE BERNOULLI

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 \frac{g}{g_c} + H = h_f + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 \frac{g}{g_c}$$

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (Z_2 - Z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \sum h_{fT} = \pm H \quad \text{Ec. 1.3.7-1}$$

Donde:

$$v_1 = 0$$

$$P_2 = P_1$$

$$\frac{v_2^2}{2g} + (Z_2 - Z_1) + \sum h_{fT} = \pm H$$

$$\frac{(2,490)^2}{2 * 9,8} + (0,63 - 0,52) + 8,893 = \pm H$$

$$\pm H = 9,31 \text{ m}$$

### 3.2.2.7.CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA

#### 3.2.2.7.1.CÁLCULO DE W

$$W = Q\rho \quad \text{Ec. 1.3.9-1}$$

$$W = 0,00040 * 998$$

$$W = 0,3992 \text{ Kg/s}$$

### 3.2.2.7.2.CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA

$$Hp = \frac{W * H}{75 n} \quad \text{Ec. 1.3.10-1}$$

$$Hp = \frac{0,3992 * 9,31}{75 * 0,5}$$

$$Hp = 0,099$$

### 3.2.2.7.3.CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA

$$\varepsilon = \frac{Hp}{0,5} * 100 \quad \text{Ec. 1.3.10-1}$$

$$\varepsilon = \frac{0,099}{0,5} * 100$$

$$\varepsilon = 19,8 \%$$

## 3.3. RESULTADOS

### 3.3.1. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA

**Tabla 3.3.1-1**  
**Resultados de la Dureza del Agua que Abastece al Laboratorio de Operaciones Unitarias**

DETERMINACIÓN	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADOS
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	2340-C	mg/L	478,0
Dureza cálcica	2340	mg/L	200,0
Dureza magnésica	2340	mg/L	278,0

*Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias (ANEXO VII)*

### 3.3.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE VALIDACIÓN DEL EQUIPO

#### 3.3.2.1. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES DE ACCESORIOS

**TABLA 3.3.2.1-1**  
**Resultados de la Constante (K) para la Válvula Check**

n	Q (L/s)	$\Delta H$ (m)	$\Delta P$ (Pa)	Q (m <sup>3</sup> /s)	v (m/s)	N <sub>Re</sub>	hl (m)	f	k Exp.	k T.	% e
1	0,06	0,237	49006,86	0,00006	6,236	21783	5,005	0,004	2,45	2,5	2
2	0,06	0,233	48179,74	0,00006	6,236	21783	4,920	0,004	2,45		2
3	0,06	0,238	49213,64	0,00006	6,236	21783	5,026	0,004	2,45		2
4	0,05	0,159	32878,02	0,00005	5,197	18153	3,358	0,004	2,44		2,4
5	0,05	0,165	34118,7	0,00005	5,301	18516	3,484	0,004	2,44		2,4
6	0,05	0,168	34739,04	0,00005	5,509	19242	3,548	0,004	2,44		2,4

Fuente: BORJA D., 2012

**TABLA 3.3.2.1-2**  
**Resultados de la Constante (K) para la Válvula de Bola**

n	Q (L/s)	$\Delta H$ (m)	$\Delta P$ (Pa)	Q (m <sup>3</sup> /s)	v (m/s)	N <sub>Re</sub>	hl (m)	f	k Exp.	k T.	% e
1	0,34	0,138	2855,6	0,00034	35,4	123438	2,914	8,0E-05	0,049	0,05	2
2	0,35	0,136	2812,0	0,00035	36,4	127069	2,872	7,4E-05	0,049		2
3	0,34	0,142	2932,7	0,00034	35,3	123438	2,999	8,2E-05	0,049		2
4	0,23	0,08	1652,4	0,00023	23,9	83502	1,689	1,1E-04	0,049		2
5	0,24	0,079	16335,6	0,00024	24,9	87133	1,668	9,1E-05	0,049		2
6	0,24	0,072	1488,1	0,00024	24,9	87133	1,520	8,3E-05	0,049		2

Fuente: BORJA D., 2012

Q = Caudal (L/s)	Q = Caudal (m <sup>3</sup> /s)	f = factor Fanning
$\Delta H$ = Variación de altura (cm)	v = Velocidad de flujo (m/s)	k = Constante de Accesorios
$\Delta P$ = Variación de presión (Pa)	hl = Pérdidas del sistema (m)	%e = Porcentaje de error

**TABLA 3.3.2.1-3**  
**Resultados de la Constante (K) para un Codo**

n	Q (L/s)	Δ H (m)	Δ P (Pa)	Q (m <sup>3</sup> /s)	v (m/s)	N <sub>Re</sub>	hl (m)	f	k Exp.	k T.	%e
1	0,09	0,175	36186,5	0,00009	9,354	32675	3,695	0,0014	0,869	0,9	3
2	0,09	0,178	36806,84	0,00009	9,354	32675	3,759	0,0015	0,870		3
3	0,09	0,175	36186,5	0,00009	9,354	32675	3,695	0,0014	0,869		3
4	0,13	0,415	85813,7	0,00013	13,512	47197	8,763	0,0016	0,868		3
5	0,14	0,438	90569,64	0,00014	14,551	50828	9,249	0,0015	0,869		3
6	0,13	0,421	87054,38	0,00013	13,512	47197	8,890	0,0017	0,969		3

Fuente: BORJA D., 2012

**TABLA 3.3.2.1-4**  
**Resultados de la Constante (K) para una Te**

n	Q (L/s)	Δ H (m)	Δ P (Pa)	Q (m <sup>3</sup> /s)	v (m/s)	N <sub>Re</sub>	hl (m)	f	k Exp.	k T.	%e
1	0,07	0,11	22745,8	0,00007	7,276	25414	2,323	0,0015	0,988	1	1
2	0,07	0,115	23779,7	0,00007	7,276	25414	2,428	0,0016	0,988		1
3	0,07	0,115	23779,7	0,00007	7,276	25414	2,428	0,0016	0,989		1
4	0,13	0,50	103390	0,00013	13,512	47197	10,558	0,0020	0,990		1
5	0,13	0,51	105457,8	0,00013	13,512	47197	10,769	0,0020	0,991		1
6	0,14	0,50	103390	0,00014	14,551	50828	10,558	0,0017	0,990		1

Fuente: BORJA D., 2012

Q = Caudal (L/s)	Q = Caudal (m <sup>3</sup> /s)	f = factor Fanning
ΔH = Variación de altura (cm)	v = Velocidad de flujo (m/s)	k = Constante de Accesorios
Δ P = Variación de presión (Pa)	hl = Pérdidas del sistema (m)	%e = Porcentaje de error

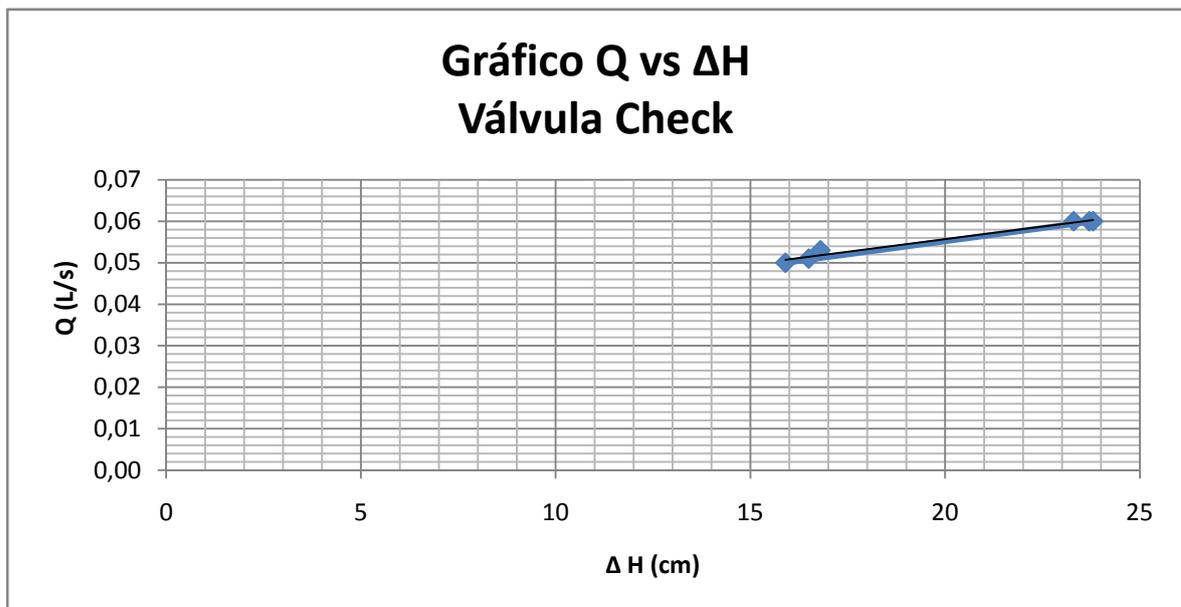
**TABLA 3.3.2.1-5**  
**Resultados de la Constante (K) para una Válvula de Mariposa**

n	Q (L/s)	$\Delta H$ (m)	$\Delta P$ (Pa)	Q (m <sup>3</sup> /s)	v (m/s)	N <sub>Re</sub>	h <sub>l</sub> (m)	f	k Exp.	k T	%e
1	0,04	0,21	43423,8	0,00004	4,158	14522	4,434	8,80E-03	4,929	5	1
2	0,04	0,213	44044,14	0,00004	4,158	14522	4,498	8,92E-03	4,930		1
3	0,04	0,205	42389,9	0,00004	4,158	14522	4,329	8,59E-03	4,929		1
4	0,06	0,517	106905,26	0,00006	6,652	23235	10,917	8,46E-03	4,930		1
5	0,06	0,50	103390	0,00006	6,444	22509	10,558	8,72E-03	4,929		1
6	0,06	0,504	104217,12	0,00006	6,652	23235	10,643	8,25E-03	4,929		1

Fuente: BORJA D., 2012

Q = Caudal (L/s)	Q = Caudal (m <sup>3</sup> /s)	f = factor Fanning
$\Delta H$ = Variación de altura (cm)	v = Velocidad de flujo (m/s)	k = Constante de Accesorios
$\Delta P$ = Variación de presión (Pa)	h <sub>l</sub> = Pérdidas del sistema (m)	%e = Porcentaje de error

**3.3.2.2. RESULTADOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LAS GRÁFICAS Q vs.  $\Delta H$  PARA CADA ACCESORIO**



**Fig.- 3.3.2.2-1.-Q vs.  $\Delta H$  para la Válvula Check**

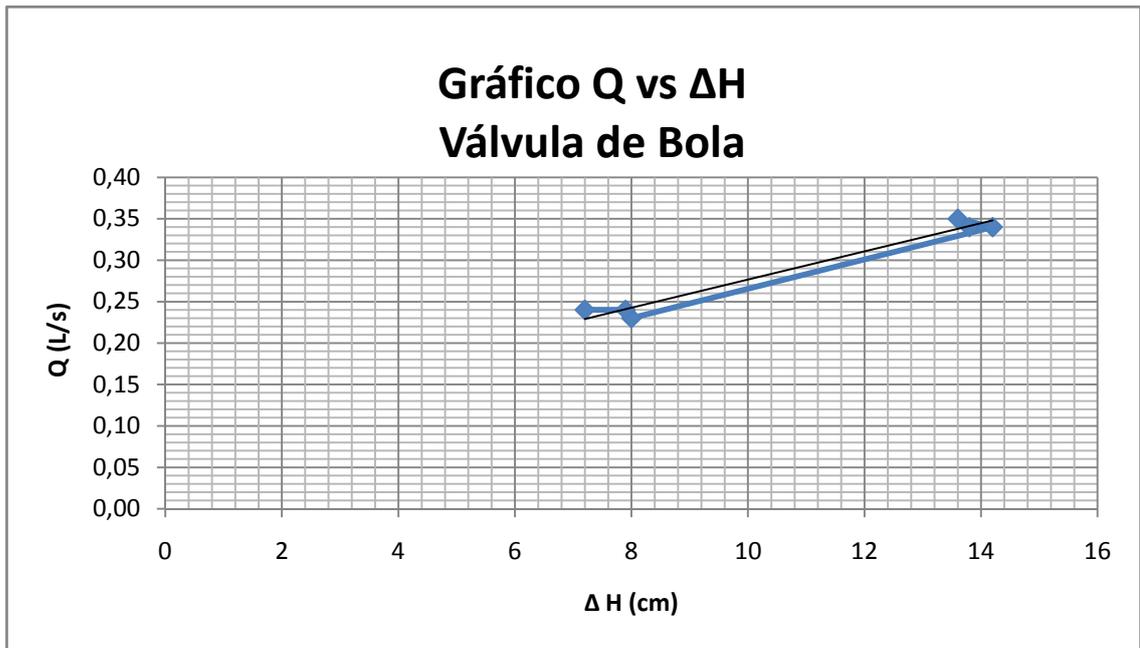


Fig.- 3.3.2.2-2.- Q vs.  $\Delta H$  para la Válvula de Bola

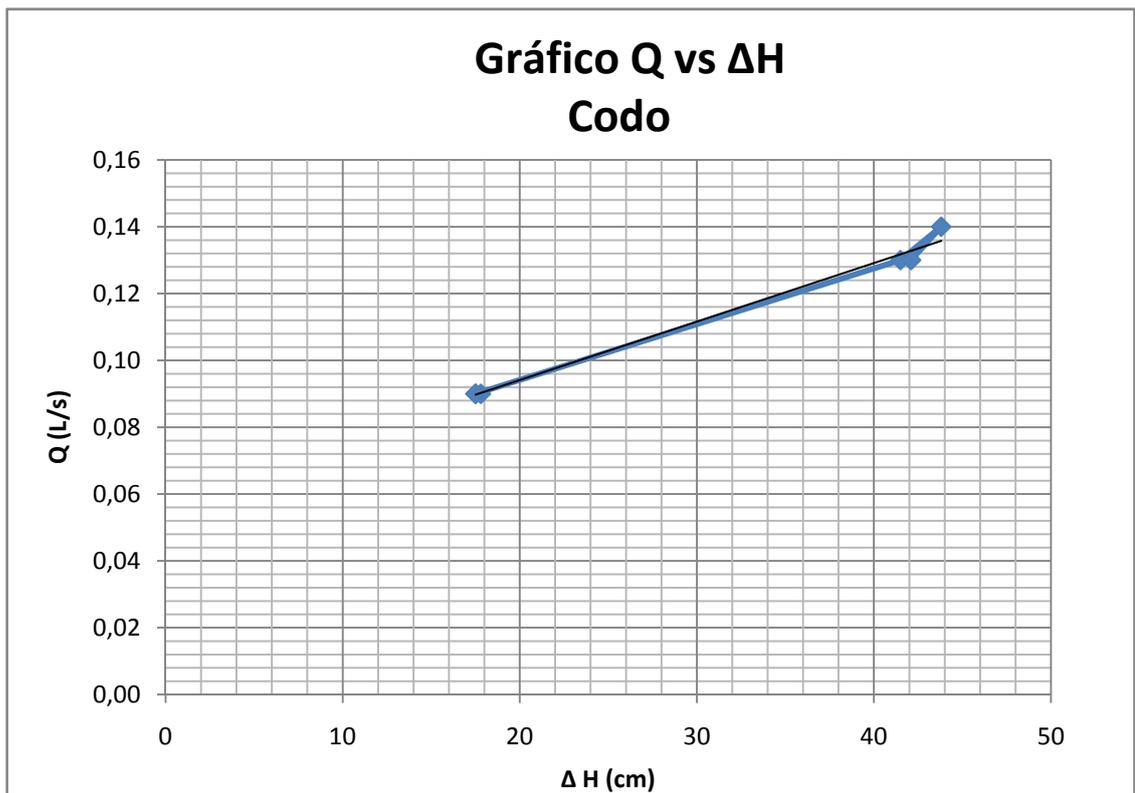


Fig.- 3.3.2.2-3.- Q vs.  $\Delta H$  para un Codo

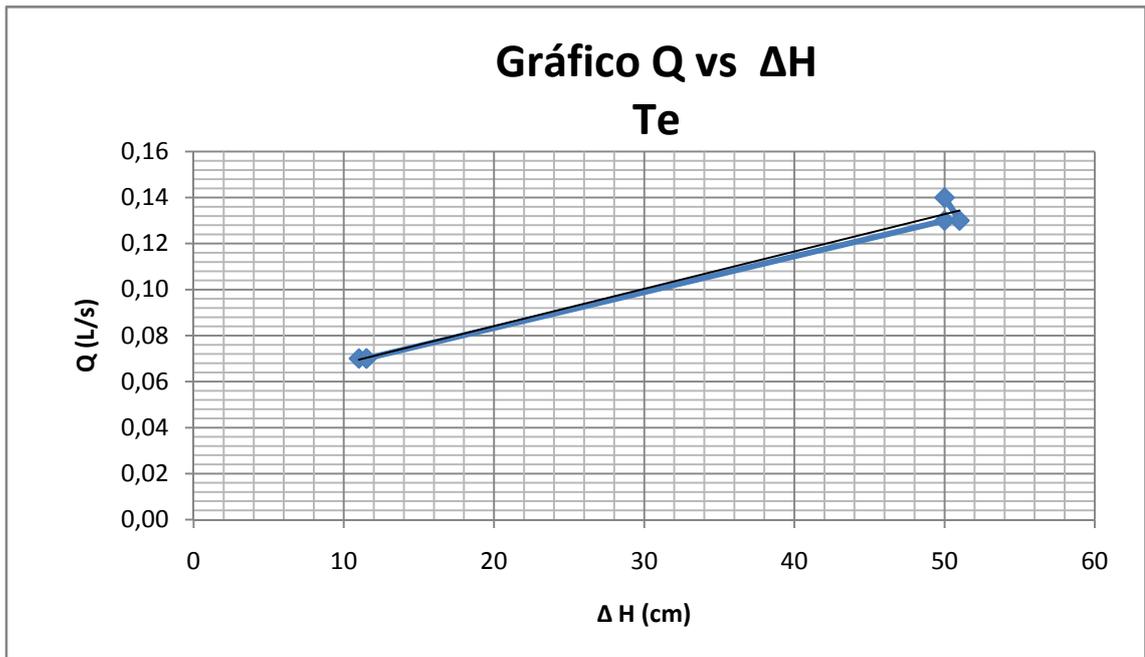


Fig.- 3.3.2.2-4.- Q vs.  $\Delta H$  para una Te

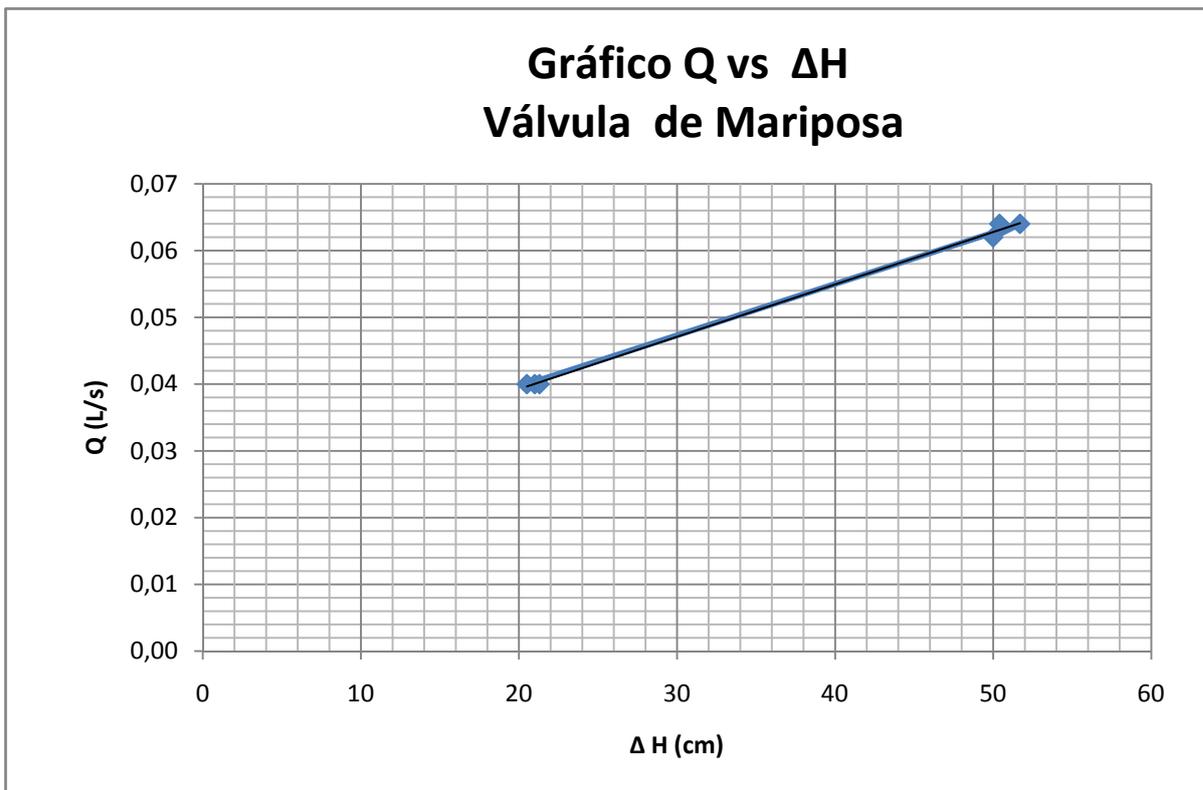


Fig.- 3.3.2.2-5.- Q vs.  $\Delta H$  para una Válvula de Mariposa

### 3.3.2.3. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA

**TABLA 3.3.2.3 – 1**  
**Resultados obtenidos de la Determinación de la Eficiencia de la Bomba Línea I**

<b>L (m)</b>	<b>ø (in)</b>	<b>ø (m)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>N<sub>Re</sub></b>	<b>f</b>	<b>hf (m)</b>	<b>Accesorio</b>	<b>K</b>	<b>hm (m)</b>
0,21	1	0,0254	0,821	20853	0,026	0,007			
	1	0,0254	0,821	20853			V. Bola	0,05	0,0017
0,065	1	0,0254	0,821	20853	0,026	0,002			
	1	0,0254	0,821	20853			U. Universal	0,08	0,0028
0,1	1	0,0254	0,821	20853	0,026	0,004			
0,15	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	0,144			
	0,5	0,0127	3,284	41706			U. Universal	0,08	0,0440
0,04	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	0,038			
	0,5	0,0127	3,284	41706			U. Universal	0,08	0,0440
0,03	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	0,029			
	0,5	0,0127	3,284	41706			T	2	1,1004
0,01	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	0,010			
	0,5	0,0127	3,284	41706			V. Compuerta	0,15	0,0825
0,01	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	0,010			
	0,5	0,0127	3,284	41706			Codo	0,9	0,4952
0,03	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	0,029			
	0,5	0,0127	3,284	41706			Codo	0,9	0,4952
	0,5	0,0127	3,284	41706			Caudalímetro	2	1,1004
	0,5	0,0127	3,284	41706			Codo	0,9	0,4952
1,1	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	1,054			
	0,5	0,0127	3,284	41706			Codo	0,9	0,4952
	0,5	0,0127	3,284	41706			T	1	0,5502
0,01	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	0,010			
	0,5	0,0127	3,284	41706			V. Bola	0,05	0,0275
0,01	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	0,010			
	0,5	0,0127	3,284	41706			T	2	1,1004
	0,5	0,0127	3,284	41706			Ampli. (1/2-	1	0,5502

							1")		
	1	0,0254	0,821	20853			Conector	0,2	0,0069
1,27	1	0,0254	0,821	20853	0,026	0,045			
	1	0,0254	0,821	20853			Conector	0,2	0,0069
	0,5	0,0127	3,284	41706			Reduc.(1-1/2")	1	0,5502
0,02	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	0,019			
	0,5	0,0127	3,284	41706			U. Universal	0,08	0,0440
0,02	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	0,019			
	0,5	0,0127	3,284	41706			V. Bola	0,05	0,0275
0,01	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	0,010			
	0,5	0,0127	3,284	41706			Codo	0,9	0,4952
1,2	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	1,150			
	0,5	0,0127	3,284	41706			Codo	0,9	0,4952
0,02	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	0,019			
	0,5	0,0127	3,284	41706			V. Bola	0,05	0,0275
0,02	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	0,019			
	0,5	0,0127	3,284	41706			Codo	0,9	0,4952
0,02	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	0,019			
	0,5	0,0127	3,284	41706			Codo	0,9	0,4952
0,01	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	0,010			
	0,5	0,0127	3,284	41706			T	2	1,1004
0,01	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	0,010			
	0,5	0,0127	3,284	41706			V. Bola	0,05	0,0275
0,42	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	0,402			
	0,5	0,0127	3,284	41706			U. Universal	0,08	0,0440
0,03	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	0,029			
	0,5	0,0127	3,284	41706			Codo	0,9	0,4952
0,04	0,5	0,0127	3,284	41706	0,022	0,038			

Fuente: BORJA D., 2012

$$Q = 0,00040 \text{ ( m}^3\text{/s)}$$

$$\rho = 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

$$\mu = 0,001 \text{ (Kg/ms)}$$

$$z_2 = 0,63 \text{ (m)}$$

$$z_1 = 0,52 \text{ (m)}$$

$$W = 0,3992 \text{ Kg/s}$$

$$H_p = 0,5$$

$$\varepsilon = 19,8 \%$$

$$\Sigma h_f = 8,893 \text{ m}$$

$$H = 9,31 \text{ m}$$

**TABLA 3.3.2.3 – 2**  
**Resultados obtenidos de la Determinación de la Eficiencia de la Bomba Línea II**

<b>L (m)</b>	<b>ø (in)</b>	<b>ø (m)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>N<sub>Re</sub></b>	<b>f</b>	<b>hf (m)</b>	<b>Accesorio</b>	<b>K</b>	<b>hm (m)</b>
0,21	1	0,0254	0,862	21890	0,026	0,008			
	1	0,0254	0,862	21890			V. Bola	0,05	0,0019
0,065	1	0,0254	0,862	21890	0,026	0,003			
	1	0,0254	0,862	21890			U. Universal	0,08	0,0030
0,1	1	0,0254	0,862	21890	0,026	0,004			
0,15	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	0,156			
	0,5	0,0127	3,447	43779			U. Universal	0,08	0,0485
0,04	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	0,042			
	0,5	0,0127	3,447	43779			U. Universal	0,08	0,0485
0,03	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	0,031			
	0,5	0,0127	3,447	43779			T	2	1,2126
0,01	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	0,010			
	0,5	0,0127	3,447	43779			V. Compuerta	0,15	0,0909
0,01	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	0,010			
	0,5	0,0127	3,447	43779			Codo	0,9	0,5457
0,03	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	0,031			
	0,5	0,0127	3,447	43779			Codo	0,9	0,5457
	0,5	0,0127	3,447	43779			Caudalímetro	2	1,2126
	0,5	0,0127	3,447	43779			Codo	0,9	0,5457
1,1	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	1,147			
	0,5	0,0127	3,447	43779			Codo	0,9	0,5457
	0,5	0,0127	3,447	43779			T	1	0,6063
0,2	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	0,209			
0,01	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	0,010			
	0,5	0,0127	3,447	43779			V. Bola	0,05	0,0303
1,53	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	1,596			
	0,5	0,0127	3,447	43779			U. Universal	0,08	0,0485
0,01	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	0,010			
	0,5	0,0127	3,447	43779			V. Bola	0,05	0,0303

0,01	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	0,010			
1	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	1,043			
	0,5	0,0127	3,447	43779			Codo	0,9	0,5457
0,02	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	0,021			
	0,5	0,0127	3,447	43779			V. Bola	0,05	0,0303
0,02	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	0,021			
	0,5	0,0127	3,447	43779			Codo	0,9	0,5457
0,02	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	0,021			
	0,5	0,0127	3,447	43779			Codo	0,9	0,5457
0,01	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	0,010			
	0,5	0,0127	3,447	43779			T	2	1,2126
0,01	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	0,010			
	0,5	0,0127	3,447	43779			V. Bola	0,05	0,0303
0,42	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	0,438			
	0,5	0,0127	3,447	43779			U. Universal	0,08	0,0485
0,03	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	0,031			
	0,5	0,0127	3,447	43779			Codo	0,9	0,5457
0,04	0,5	0,0127	3,447	43779	0,022	0,042			

Fuente: BORJA D., 2012

$$Q = 0,000437 \text{ ( m}^3\text{/s)}$$

$$\rho = 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

$$\mu = 0,001 \text{ (Kg/ms)}$$

$$z_2 = 0,63 \text{ (m)}$$

$$z_1 = 0,52 \text{ (m)}$$

$$W = 0,437 \text{ Kg/s}$$

$$H_p = 0,5$$

$$\varepsilon = 17,06 \%$$

$$\Sigma h_f = 13,9365 \text{ m}$$

$$H = 14,6528 \text{ m}$$

**TABLA 3.3.2.3 – 3**  
**Resultados obtenidos de la Determinación de la Eficiencia de la Bomba Línea III**

<b>L (m)</b>	<b>ø (in)</b>	<b>ø (m)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>N<sub>Re</sub></b>	<b>f</b>	<b>hf (m)</b>	<b>Accesorio</b>	<b>K</b>	<b>hm (m)</b>
0,21	1	0,0254	1	20443	0,026	0,007			
	1	0,0254	1	20443			V. Bola	0,05	0,0017
0,065	1	0,0254	1	20443	0,026	0,002			
	1	0,0254	1	20443			U. Universal	0,08	0,0026
0,1	1	0,0254	1	20443	0,026	0,003			
0,15	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,139			
	0,5	0,0127	3	40887			U. Universal	0,08	0,0423
0,04	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,037			
	0,5	0,0127	3	40887			U. Universal	0,08	0,0423
0,03	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,028			
	0,5	0,0127	3	40887			T	2	1,0576
0,01	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,009			
	0,5	0,0127	3	40887			V. Compuerta	0,15	0,0793
0,01	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,009			
	0,5	0,0127	3	40887			Codo	0,9	0,4759
0,03	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,028			
	0,5	0,0127	3	40887			Codo	0,9	0,4759
	0,5	0,0127	3	40887			Caudalímetro	2	1,0576
	0,5	0,0127	3	40887			Codo	0,9	0,4759
1,1	0,5	0,0127	3	40887	0,022	1,018			
	0,5	0,0127	3	40887			Codo	0,9	0,4759
	0,5	0,0127	3	40887			T	1	0,5288
0,4	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,370			
0,01	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,009			
	0,5	0,0127	3	40887			V. Bola	0,05	0,0264
0,02	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,019			
	0,5	0,0127	3	40887			T	1	0,5288
0,02	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,019			
	0,5	0,0127	3	40887			V. Check	2,5	1,3220
0,015	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,014			
	0,5	0,0127	3	40887			T	1	0,5288
	0,5	0,0127	3	40887			Ampli.(1/2-	1	0,5288

							3/4"		
1,2	0,75	0,01905	1	27258	0,025	0,162			
	0,5	0,0127	3	40887			Reduc. (3/4"- 1/2")	1	0,5288
	0,5	0,0127	3	40887			T	1	0,5288
	0,5	0,0127	3	40887			U. Universal	0,08	0,0423
0,025	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,023			
	0,5	0,0127	3	40887			V. Bola	0,05	0,0264
0,01	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,009			
0,8	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,740			
	0,5	0,0127	3	40887			Codo	0,9	0,4759
0,02	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,019			
	0,5	0,0127	3	40887			V. Bola	0,05	0,0264
0,02	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,019			
	0,5	0,0127	3	40887			Codo	0,9	0,4759
0,02	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,019			
	0,5	0,0127	3	40887			Codo	0,9	0,4759
0,01	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,009			
	0,5	0,0127	3	40887			T	2	1,0576
0,01	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,009			
	0,5	0,0127	3	40887			V. Bola	0,05	0,0264
0,42	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,389			
	0,5	0,0127	3	40887			U. Universal	0,08	0,0423
0,03	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,028			
	0,5	0,0127	3	40887			Codo	0,9	0,4759
0,04	0,5	0,0127	3	40887	0,022	0,037			

Fuente: BORJA D., 2012

$Q = 0,000408 \text{ (m}^3\text{/s)}$   
 $\rho = 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$   
 $\mu = 0,001 \text{ (Kg/ms)}$   
 $z_2 = 0,63 \text{ (m)}$   
 $z_1 = 0,52 \text{ (m)}$

$W = 0,408 \text{ Kg/s}$   
 $H_p = 0,5$   
 $\varepsilon = 17,02 \%$

$\Sigma hf_T = 15,0067 \text{ m}$   
 $H = 15,6455 \text{ m}$

**TABLA 3.3.2.3 – 4**  
**Resultados obtenidos de la Determinación de la Eficiencia de la Bomba Línea IV**

<b>L (m)</b>	<b>ø (in)</b>	<b>ø (m)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>N<sub>Re</sub></b>	<b>f</b>	<b>hf (m)</b>	<b>Accesorio</b>	<b>K</b>	<b>hm (m)</b>
0,21	1	0,0254	0,807	20510	0,026	0,007			
	1	0,0254	0,807	20510			V. Bola	0,05	0,0017
0,065	1	0,0254	0,807	20510	0,026	0,002			
	1	0,0254	0,807	20510			U. Universal	0,08	0,0027
0,1	1	0,0254	0,807	20510	0,026	0,003			
0,15	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	0,140			
	0,5	0,0127	3,230	41021			U. Universal	0,08	0,0426
0,04	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	0,037			
	0,5	0,0127	3,230	41021			U. Universal	0,08	0,0426
0,03	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	0,028			
	0,5	0,0127	3,230	41021			T	2	1,0646
0,01	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	0,009			
	0,5	0,0127	3,230	41021			V. Compuerta	0,15	0,0798
0,01	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	0,009			
	0,5	0,0127	3,230	41021			Codo	0,9	0,4791
0,03	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	0,028			
	0,5	0,0127	3,230	41021			Codo	0,9	0,4791
	0,5	0,0127	3,230	41021			Caudalímetro	2	1,0646
	0,5	0,0127	3,230	41021			Codo	0,9	0,4791
1,1	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	1,024			
	0,5	0,0127	3,230	41021			Codo	0,9	0,4791
	0,5	0,0127	3,230	41021			T	1	0,5323
0,6	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	0,558			
0,01	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	0,009			
	0,5	0,0127	3,230	41021			V. Bola	0,05	0,0266
	0,5	0,0127	3,230	41021			T	1	0,5323
	0,5	0,0127	3,230	41021			V. Bola	0,05	0,0266
	0,5	0,0127	3,230	41021			T	1	0,5323
1,3	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	1,210			

	0,5	0,0127	3,230	41021			T	1	0,5323
	0,5	0,0127	3,230	41021			U. Universal	0,08	0,0426
0,02	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	0,019			
	0,5	0,0127	3,230	41021			V. Bola	0,05	0,0266
0,01	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	0,009			
0,6	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	0,558			
	0,5	0,0127	3,230	41021			Codo	0,9	0,4791
0,02	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	0,019			
	0,5	0,0127	3,230	41021			V. Bola	0,05	0,0266
0,02	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	0,019			
	0,5	0,0127	3,230	41021			Codo	0,9	0,4791
0,02	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	0,019			
	0,5	0,0127	3,230	41021			Codo	0,9	0,4791
0,01	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	0,009			
	0,5	0,0127	3,230	41021			T	2	1,0646
0,01	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	0,009			
	0,5	0,0127	3,230	41021			V. Bola	0,05	0,0266
0,42	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	0,391			
	0,5	0,0127	3,230	41021			U. Universal	0,08	0,0426
0,03	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	0,028			
	0,5	0,0127	3,230	41021			Codo	0,9	0,4791
0,04	0,5	0,0127	3,230	41021	0,022	0,037			

Fuente: BORJA D., 2012

$$Q = 0,000408 \text{ ( m}^3\text{/s)}$$

$$\rho = 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

$$\mu = 0,001 \text{ (Kg/ms)}$$

$$z_2 = 0,63 \text{ (m)}$$

$$z_1 = 0,52 \text{ (m)}$$

$$W = 0,409 \text{ Kg/s}$$

$$H_p = 0,5$$

$$\varepsilon = 15,68 \%$$

$$\Sigma h_{fT} = 13,7251 \text{ m}$$

$$H = 14,3674 \text{ m}$$

**TABLA 3.3.2.3 – 5**  
**Resultados obtenidos de la Determinación de la Eficiencia de la Bomba Línea V**

<b>L (m)</b>	<b>ø (in)</b>	<b>ø (m)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>N<sub>Re</sub></b>	<b>f</b>	<b>hf (m)</b>	<b>Accesorio</b>	<b>K</b>	<b>hm (m)</b>
0,21	1	0,0254	0,738	18748	0,027	0,006			
	1	0,0254	0,738	18748			V. Bola	0,05	0,0014
0,065	1	0,0254	0,738	18748	0,027	0,002			
	1	0,0254	0,738	18748			U. Universal	0,08	0,0022
0,1	1	0,0254	0,738	18748	0,027	0,003			
0,15	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,119			
	0,5	0,0127	2,952	37496			U. Universal	0,08	0,0356
0,04	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,032			
	0,5	0,0127	2,952	37496			U. Universal	0,08	0,0356
0,03	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,024			
	0,5	0,0127	2,952	37496			T	2	0,8895
0,01	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,008			
	0,5	0,0127	2,952	37496			V. Compuerta	0,15	0,0667
0,01	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,008			
	0,5	0,0127	2,952	37496			Codo	0,9	0,4003
0,03	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,024			
	0,5	0,0127	2,952	37496			Codo	0,9	0,4003
	0,5	0,0127	2,952	37496			Caudalímetro	2	0,8895
	0,5	0,0127	2,952	37496			Codo	0,9	0,4003
1,1	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,875			
	0,5	0,0127	2,952	37496			Codo	0,9	0,4003
	0,5	0,0127	2,952	37496			T	1	0,4447
0,8	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,636			
0,01	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,008			
	0,5	0,0127	2,952	37496			V. Bola	0,05	0,0222
	0,5	0,0127	2,952	37496			T	1	0,4447

	0,5	0,0127	2,952	37496			T	1	0,4447
0,02	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,016			
	0,5	0,0127	2,952	37496			V. Bola	0,05	0,0222
	0,5	0,0127	2,952	37496			T	1	0,4447
	0,5	0,0127	2,952	37496			U. Universal	0,08	0,0356
0,29	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,231			
	0,5	0,0127	2,952	37496			Codo	0,9	0,4003
0,115	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,091			
	0,5	0,0127	2,952	37496			Codo	0,9	0,4003
0,11	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,087			
	0,5	0,0127	2,952	37496			Codo	0,9	0,4003
0,115	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,091			
	0,5	0,0127	2,952	37496			Codo	0,9	0,4003
0,11	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,087			
	0,5	0,0127	2,952	37496			Codo	0,9	0,4003
0,115	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,091			
	0,5	0,0127	2,952	37496			Codo	0,9	0,4003
0,11	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,087			
	0,5	0,0127	2,952	37496			Codo	0,9	0,4003
0,05	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,040			
	0,5	0,0127	2,952	37496			T	1	0,4447
0,025	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,020			
	0,5	0,0127	2,952	37496			Codo	0,9	0,4003
	0,5	0,0127	2,952	37496			T	1	0,4447
0,34	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,270			
	0,5	0,0127	2,952	37496			U. Universal	0,08	0,0356
0,02	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,016			
	0,5	0,0127	2,952	37496			V. Bola	0,05	0,0222
0,01	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,008			
0,4	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,318			
	0,5	0,0127	2,952	37496			Codo	0,9	0,4003

0,02	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,016			
	0,5	0,0127	2,952	37496			V. Bola	0,05	0,0222
0,02	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,016			
	0,5	0,0127	2,952	37496			Codo	0,9	0,4003
0,02	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,016			
	0,5	0,0127	2,952	37496			Codo	0,9	0,4003
0,01	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,008			
	0,5	0,0127	2,952	37496			T	2	0,8895
0,01	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,008			
	0,5	0,0127	2,952	37496			V. Bola	0,05	0,0222
0,42	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,334			
	0,5	0,0127	2,952	37496			U. Universal	0,08	0,0356
0,03	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,024			
	0,5	0,0127	2,952	37496			Codo	0,9	0,4003
0,04	0,5	0,0127	2,952	37496	0,023	0,032			

Fuente: BORJA D., 2012

$$Q = 0,000374 \text{ ( m}^3\text{/s)}$$

$$\rho = 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

$$\mu = 0,001 \text{ (Kg/ms)}$$

$$z_2 = 0,63 \text{ (m)}$$

$$z_1 = 0,52 \text{ (m)}$$

$$W = 0,409 \text{ Kg/s}$$

$$H_p = 0,5$$

$$\varepsilon = 16,26 \%$$

$$\Sigma h_{fT} = 15,7538 \text{ m}$$

$$H = 16,3086 \text{ m}$$

**TABLA 3.3.2.3 – 6**  
**Resultados obtenidos de la Determinación de la Eficiencia de la Bomba Línea VI**

<b>L (m)</b>	<b>ø (in)</b>	<b>ø (m)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>N<sub>Re</sub></b>	<b>f</b>	<b>hf (m)</b>	<b>Accesorio</b>	<b>K</b>	<b>hm (m)</b>
0,21	1	0,0254	0,462	11728	0,030	0,003			
	1	0,0254	0,462	11728			V. Bola	0,05	0,0005
0,065	1	0,0254	0,462	11728	0,030	0,001			
	1	0,0254	0,462	11728			U. Universal	0,08	0,0009
0,1	1	0,0254	0,462	11728	0,030	0,001			
0,15	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,052			
	0,5	0,0127	1,847	23457			U. Universal	0,08	0,0139
0,04	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,014			
	0,5	0,0127	1,847	23457			U. Universal	0,08	0,0139
0,03	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,010			
	0,5	0,0127	1,847	23457			T	2	0,3481
0,01	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,003			
	0,5	0,0127	1,847	23457			V. Compuerta	0,15	0,0261
0,01	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,003			
	0,5	0,0127	1,847	23457			Codo	0,9	0,1566
0,03	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,010			
	0,5	0,0127	1,847	23457			Codo	0,9	0,1566
	0,5	0,0127	1,847	23457			Caudalímetro	2	0,3481
	0,5	0,0127	1,847	23457			Codo	0,9	0,1566
1,1	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,385			
	0,5	0,0127	1,847	23457			Codo	0,9	0,1566
	0,5	0,0127	1,847	23457			T	1	0,1741
0,8	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,280			
0,01	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,003			
	0,5	0,0127	1,847	23457			V. Bola	0,05	0,0087
	0,5	0,0127	1,847	23457			T	1	0,1741

	0,5	0,0127	1,847	23457			T	1	0,1741
	0,5	0,0127	1,847	23457			T	1	0,1741
	0,5	0,0127	1,847	23457			V. Bola	0,05	0,0087
0,01	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,003			
	0,5	0,0127	1,847	23457			U. Universal	0,08	0,0139
0,12	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,042			
	0,5	0,0127	1,847	23457			T	2	0,3481
0,38	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,133			
	0,5	0,0127	1,847	23457			T	1	0,1741
0,01	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,003			
	0,5	0,0127	1,847	23457			V. Mariposa	5	0,8703
0,01	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,003			
	0,5	0,0127	1,847	23457			T	1	0,1741
	0,5	0,0127	1,847	23457			Ampli. (1/2-1")	1	0,1741
0,73	1	0,0254	0,462	11728	0,030	0,009			
	0,5	0,0127	1,847	23457			Reduc.(1-1/2")	1	0,1741
	0,5	0,0127	1,847	23457			T	1	0,1741
0,02	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,007			
	0,5	0,0127	1,847	23457			U. Universal	0,08	0,0139
0,25	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,087			
	0,5	0,0127	1,847	23457			V. Bola	0,05	0,0087
0,01	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,003			
0,1	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,035			
	0,5	0,0127	1,847	23457			Codo	0,9	0,1566
0,02	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,007			
	0,5	0,0127	1,847	23457			V. Bola	0,05	0,0087
0,02	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,007			
	0,5	0,0127	1,847	23457			Codo	0,9	0,1566
0,02	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,007			

	0,5	0,0127	1,847	23457			Codo	0,9	0,1566
0,01	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,003			
	0,5	0,0127	1,847	23457			T	2	0,3481
0,01	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,003			
	0,5	0,0127	1,847	23457			V. Bola	0,05	0,0087
0,42	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,147			
	0,5	0,0127	1,847	23457			U. Universal	0,08	0,0139
0,03	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,010			
	0,5	0,0127	1,847	23457			Codo	0,9	0,1566
0,04	0,5	0,0127	1,847	23457	0,026	0,014			

Fuente: BORJA D., 2012

$$Q = 0,000234 \text{ ( m}^3\text{/s)}$$

$$\rho = 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

$$\mu = 0,001 \text{ (Kg/ms)}$$

$$z_2 = 0,63 \text{ (m)}$$

$$z_1 = 0,52 \text{ (m)}$$

$$W = 0,234 \text{ Kg/s}$$

$$H_p = 0,5$$

$$\varepsilon = 4,95 \%$$

$$\Sigma hf_T = 6,5181 \text{ m}$$

$$H = 6,8022 \text{ m}$$

**TABLA 3.3.2.3 – 7**  
**Resultados obtenidos de la Determinación de la Eficiencia de la Bomba Línea VII**

<b>L (m)</b>	<b>ø (in)</b>	<b>ø (m)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>N<sub>Re</sub></b>	<b>f</b>	<b>hf (m)</b>	<b>Accesorio</b>	<b>K</b>	<b>hm(m)</b>
0,21	1	0,0254	0,551	14002	0,029	0,004			
	1	0,0254	0,551	14002			V. Bola	0,05	0,0008
0,065	1	0,0254	0,551	14002	0,029	0,001			
	1	0,0254	0,551	14002			U. Universal	0,08	0,0012
0,1	1	0,0254	0,551	14002	0,029	0,002			
0,15	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,072			
	0,5	0,0127	2,205	28004			U. Universal	0,08	0,0198
0,04	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,019			
	0,5	0,0127	2,205	28004			U. Universal	0,08	0,0198
0,03	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,014			
	0,5	0,0127	2,205	28004			T	2	0,4961
0,01	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,005			
	0,5	0,0127	2,205	28004			V. Compuerta	0,15	0,0372
0,01	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,005			
	0,5	0,0127	2,205	28004			Codo	0,9	0,2233
0,03	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,014			
	0,5	0,0127	2,205	28004			Codo	0,9	0,2233
	0,5	0,0127	2,205	28004			Caudalímetro	2	0,4961
	0,5	0,0127	2,205	28004			Codo	0,9	0,2233
1,1	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,525			
	0,5	0,0127	2,205	28004			Codo	0,9	0,2233
	0,5	0,0127	2,205	28004			T	1	0,2481
1	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,477			
	0,5	0,0127	2,205	28004			Codo	0,9	0,2233
	0,5	0,0127	2,205	28004			V. Bola	0,05	0,0124

0,02	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,010			
	0,5	0,0127	2,205	28004			T	2	0,4961
0,38	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,181			
	0,5	0,0127	2,205	28004			T	1	0,2481
0,01	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,005			
	0,5	0,0127	2,205	28004			V. Mariposa	5	1,2404
0,01	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,005			
	0,5	0,0127	2,205	28004			T	1	0,2481
	0,5	0,0127	2,205	28004			Ampli. (1/2-1")	1	0,2481
0,73	1	0,0254	0,551	14002	0,029	0,013			
	0,5	0,0127	2,205	28004			Reduc.(1-1/2")	1	0,2481
	0,5	0,0127	2,205	28004			T	1	0,2481
0,02	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,010			
	0,5	0,0127	2,205	28004			U. Universal	0,08	0,0198
0,25	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,119			
	0,5	0,0127	2,205	28004			V. Bola	0,05	0,0124
0,01	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,005			
0,1	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,048			
	0,5	0,0127	2,205	28004			Codo	0,9	0,2233
0,02	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,010			
	0,5	0,0127	2,205	28004			V. Bola	0,05	0,0124
0,02	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,010			
	0,5	0,0127	2,205	28004			Codo	0,9	0,2233
0,02	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,010			
	0,5	0,0127	2,205	28004			Codo	0,9	0,2233
0,01	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,005			
	0,5	0,0127	2,205	28004			T	2	0,4961
0,01	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,005			
	0,5	0,0127	2,205	28004			V. Bola	0,05	0,0124

0,42	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,200			
	0,5	0,0127	2,205	28004			U. Universal	0,08	0,0198
0,03	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,014			
	0,5	0,0127	2,205	28004			Codo	0,9	0,2233
0,04	0,5	0,0127	2,205	28004	0,024	0,019			

*Fuente: BORJA D., 2012*

$$Q = 0,000279 \text{ ( m}^3\text{/s)}$$

$$P = 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

$$\mu = 0,001 \text{ (Kg/ms)}$$

$$z_2 = 0,63 \text{ (m)}$$

$$z_1 = 0,52 \text{ (m)}$$

$$W = 0,279 \text{ Kg/s}$$

$$H_p = 0,5$$

$$\varepsilon = 7 \%$$

$$\Sigma h_{f_T} = 8,6952 \text{ m}$$

$$H = 9,0533 \text{ m}$$

**TABLA 3.3.2.3 – 8**  
**Resultados obtenidos de la Determinación de la Eficiencia de la Bomba en todas las Líneas de Tubería**

<b>Línea</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>N<sub>Re</sub></b>	<b>h<sub>fT</sub> (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b>W (Kg/s)</b>	<b>ε (%)</b>
1	0,000409	2,490	35535,79	8,893	9,31	0,3992	19,8
2	0,000437	3,172	43293	13,9365	14,65	0,437	17,06
3	0,000408	2,971	38818,28	15,0067	15,65	0,408	17,02
4	0,000409	2,992	39010	13,7251	14,37	0,409	15,68
5	0,000374	2,799	36194	15,7538	16,31	0,374	16,26
6	0,000234	1,719	22374	6,5181	6,80	0,234	4,95
7	0,000279	2,037	26580	8,6952	9,05	0,279	7

*Fuente: BORJA D., 2012*

### 3.4. PROPUESTA DE DISEÑO

**TABLA 3.4-1  
DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS EN PARALELO**

Longitud (m)	Diámetro (m)	Nº Accesorios
<b>LÍNEA DE SUCCIÓN</b>		
1,66	0.0127	17
<b>LÍNEA DE DESCARGA</b>		
0,51	0.0127	12
<b>LÍNEA 1 (Manguera transparente)</b>		
1,28	0.0254	13
<b>LÍNEA 2 (Polipropileno)</b>		
1,545	0.0127	4
<b>LÍNEA 3 ( PVC)</b>		
1,3	0.01905	9
<b>LÍNEA 4 (Acero Inoxidable)</b>		
1,34	0.0127	7
<b>LÍNEA 5 ( Polipropileno y Acero Inoxidable)</b>		
1,425	0.0127	18
<b>LÍNEA 6 ( Acero Inoxidable y Polipropileno)</b>		
1,205	0.0254	11
<b>ESTRUCTURA</b>		
2 x 2	Acero Inoxidable A36	--
<b>MANÓMETRO DIFERENCIAL DE PRESIÓN</b>		
Longitud (m)	Diámetro (mm)	Material
2	3,5	Vidrio

*Fuente: BORJA D., 2012*

### 3.4.1. DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS EN PARALELO

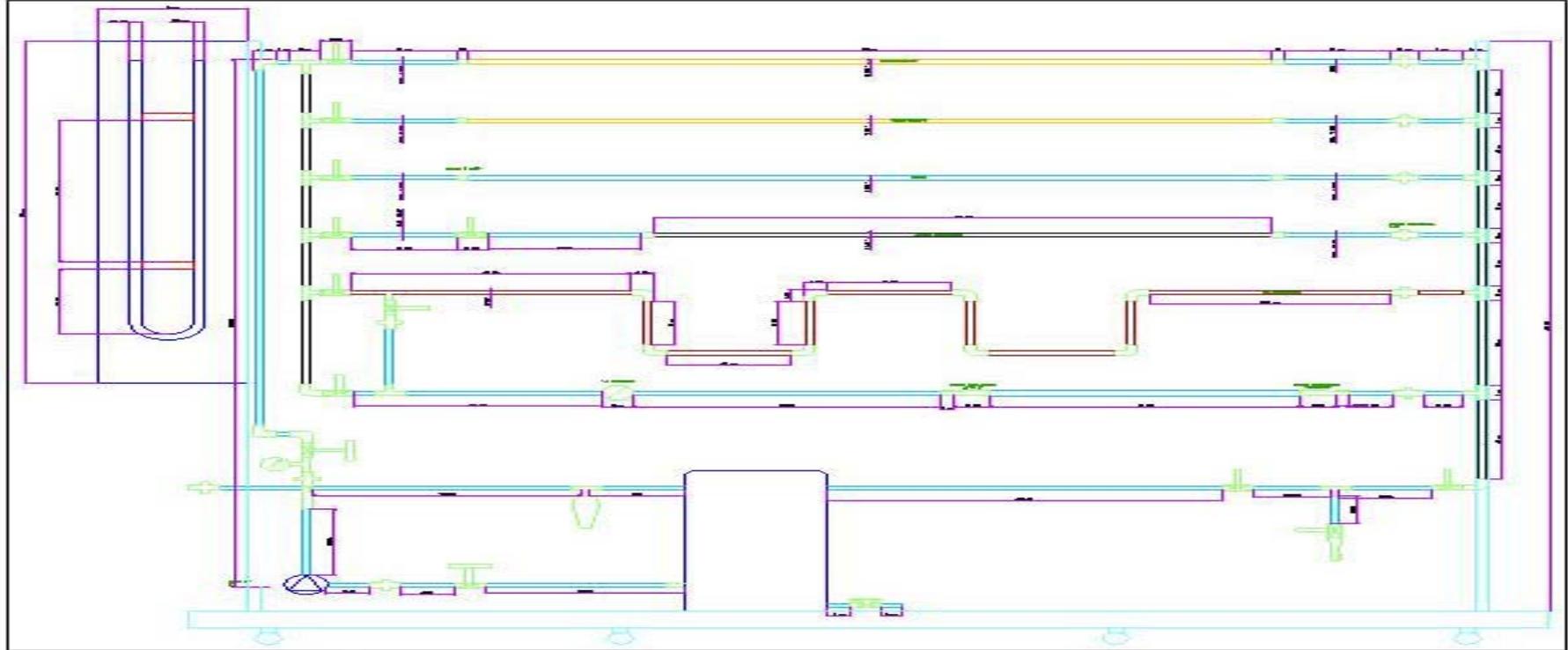


Fig. 3.4.1 -1 Sistema de Tuberías en Paralelo

- |                                     |                                     |  |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| 1. Tanque de alimentación           | 6. Tubería PVC (Azul)               | 11. Válvulas de Bola (28 Ac. Inox)       |
| 2. Válvula de Bola                  | 7. Tubería Transparente (amarilla)  | 12. Válvula Mariposa                     |
| 3. Bomba Centrífuga                 | 8. Tubería Acero Inoxidable (negra) | 13. Filtro                               |
| 4. Válvula de Compuerta             | 9. Tubería Polipropileno (roja)     | 14. Válvula de Bola Descarga tanque      |
| 5. Manómetro Diferencial de Presión | 10. Válvula Check                   | 15. Accesorios (codos, T, uniones, Etc.) |

### **3.5. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE TUBERÍAS EN PARALELO**

#### **3.5.1. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL EQUIPO**

La estructura externa de soporte del equipo, fue armada con un tubo cuadrado de acero inoxidable A36 la misma que esta colocada sobre ruedas y permite que el equipo se desplace fácilmente.

#### **3.5.2. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE TUBERÍAS EN PARALELO**

- Luego de haber construido la estructura externa de soporte del equipo se procedió a la colocación, de las tuberías y accesorios de la siguiente forma:
- Se construyó la estructura interna del equipo, la misma que consta de tubería de Acero Inoxidable de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro, esta contiene seis líneas de tuberías, cabe destacar que tienen la misma línea de alimentación el fluido se divide y finalmente se vuelve a unir para ser descargado con esto, se demuestra que el equipo esta construido en paralelo.
- Luego se colocó el esqueleto de la estructura interna, mediante perforaciones con abrazaderas especiales a la estructura externa, se colocaron las válvulas de bola de  $\frac{1}{2}$ ", en los dos extremos y en la parte izquierda se colocó las uniones universales de acero inoxidable en las respectivas líneas que así, lo requerían. (Ver Anexo VIII).
- En la base de la estructura se perforó y con pernos se coloca la bomba centrífuga, de la misma manera se instaló el tanque de alimentación del sistema.
- Seguidamente se colocó la tubería y accesorios en diferentes materiales y diámetros, adecuados para este equipo, esto se lo hizo siguiendo el plano de diseño.
- Para poder medir la caída de presiones del fluido se colocaron pitones de acero inoxidable antes y después de los diferentes accesorios a ser medidos, estos están unidos a una flauta que tiene dos salidas (Ver Anexo IX).

### **3.5.3. COLOCACIÓN DEL MANÓMETRO DIFERENCIAL DE PRESIÓN**

El manómetro diferencial de presión está construido con un diámetro de 3,5mm y tiene una longitud de 2 m.

Este se lo instaló en la parte superior al lado derecho del equipo, para que funcione se lo conectó mediante mangueras a las salidas que tienen las flautas (entrada y salida), y de esta forma el equipo va a medir las constantes de los accesorios, y se demuestra que cumple con lo que se deseaba conseguir.

### **3.6. FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO (MANUAL)**

#### **3.6.1. FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO**

##### **3.6.1.1. FUNCIONAMIENTO PARA OBTENER DATOS EXPERIMENTALES PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA.**

En primer lugar, se llena el tanque de alimentación del equipo.

Se abre la válvula de regulación del flujo (válvula de compuerta), desde la cual fluye el agua.

Abrir las válvulas de entrada y salida de la línea que se desee trabajar.

Encender la bomba centrífuga, a través del interruptor que se encuentra en el lado derecho del equipo.

Se debe asegurar de que el agua que recorre por el sistema, este siempre recirculando.

##### **3.6.1.2. FUNCIONAMIENTO PARA OBTENER DATOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DE ACCESORIOS**

Se llena el tanque de alimentación del equipo.

Se abre la válvula de regulación del flujo (válvula de compuerta), desde la cual fluye el agua.

Encender la bomba centrífuga, a través del interruptor que se encuentra en el lado derecho del equipo.

Luego, mediante las válvulas incorporadas en el sistema, en la parte posterior del equipo, se deben purgar las tuberías, donde existen mangueras conectadas a las flautas (entrada y salida). Con esto se elimina el aire existente en ellas hasta que el flujo se haga continuo. Las otras válvulas existentes en el sistema se mantuvieron perpendiculares a las tuberías, lo cual indica que se encuentran cerradas.

Elegir el accesorio en el cual se quiera trabajar, estos van a ser los dos puntos de referencia. Desde estos dispositivos (puntos de toma de presión), son dirigidas pequeñas cañerías hacia un panel que posee un manómetro conectado al sistema. Dicho manómetro contiene alcohol en su interior.

Este nos va a medir la diferencia de altura (H) que se provoca al pasar el fluido por los puntos de referencia mencionados anteriormente.

Para medir la diferencia de presión de otro accesorio se cierran las llaves donde se este trabajando, del mismo modo las válvulas colocadas en la flauta.

Dejar circular el agua, abrir las válvulas de los nuevos puntos de referencia que se desee trabajar, abrir al mismo tiempo las válvulas de las flautas, con esto se observa la diferencia de altura en el manómetro diferencial.

### **3.6.2. MANTENIMIENTO DEL EQUIPO**

Es importante que el equipo se encuentre en constante funcionamiento, caso contrario puede sufrir daños, como por ejemplo la bomba, es por tal motivo que se recomienda de vez en cuando mínimo encender la bomba.

Si trabaja con el manómetro diferencial debe hacerlo con mucha precaución ya que este es frágil y conseguir uno nuevo no es fácil, además representa un costo elevado.

El resto de partes del equipo no presenta fallas, pero con el tiempo y el uso se podría observar fugas que no es algo nuevo, si esto sucediera el cambiar una pieza seria muy fácil porque

cuenta, con uniones universales en puntos estratégicos que ayudaran a dar una pronta solución, en el caso de una fuga.

### 3.7. REQUERIMIENTO PRESUPUESTARIO

#### 3.7.1. RECURSOS HUMANOS

**TABLA 3.7.1-1  
RECURSOS HUMANOS**

DENOMINACIÓN	COSTO (dólares)
Mano de Obra para la Construcción y Ensamblaje del Equipo	940
Mano de Obra para modificaciones del equipo	560
<b>TOTAL</b>	<b>1500</b>

*Fuente: BORJA D., 2012*

#### 3.7.2. RECURSOS MATERIALES

**TABLA 3.7.2-1  
RECURSOS MATERIALES**

DENOMINACIÓN	COSTO (dólares)
Pruebas de Laboratorio (Agua - Dureza)	80
Materiales para la Construcción del Equipo (Anexo VI)	1200,7
Transporte	620
Varios	950
<b>TOTAL</b>	<b>2850,7</b>

*Fuente: BORJA D., 2012*

#### 3.7.3. RECURSOS TOTALES

**TABLA 3.7.3-1  
RECURSOS TOTALES**

DENOMINACIÓN	COSTO (dólares)
Recursos Humanos	1500
Recursos Materiales	2850,7
<b>Subtotal</b>	<b>4350,7</b>
Imprevistos (10%)	435,07
<b>TOTAL</b>	<b>4785,77</b>

*Fuente: BORJA D., 2012*

### 3.8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La dureza del agua que abastece al Laboratorio de Operaciones Unitarias, es de 478,0 mg/L, este valor es demasiado alto, por tal motivo, no se utilizó tubería de hierro galvanizado debido a que su pared interna presenta una rugosidad alta y al quedarse el agua ahí, se produce corrosión en la tubería, por lo tanto, el mal funcionamiento de la misma.

En cuanto al valor de las constantes de los accesorios (k) se determinó que el porcentaje de error, que existe entre las tablas de bibliografía y los datos obtenidos experimentalmente fue del 1,8%, en general, individualmente el porcentaje de error para cada accesorio fue de: Válvula Check 2%, Válvula de Bola 2%, Codo 3%, Te 1% y finalmente la Válvula de Mariposa 1%, con estos resultados, es evidente que se cumplió con las expectativas, para lo cual, fue diseñado el Sistema de Tuberías en Paralelo, es decir, la Medición de las Constantes de Accesorios, por lo que se acepta un error hasta del 3 %.

Al realizar las gráfica Q (L/s) en función de  $\Delta H$  (cm), para cada accesorio se sabe que: en la Válvula Check, Válvula de Bola y Te, mientras mayor sea el caudal mayor será la variación de altura, esto es, por el aumento en la carga de presión, por otro lado, en referencia al Codo y Válvula de Mariposa, a menor caudal mayor será la variación de altura.

Al analizar la eficiencia de la bomba en cada línea, se determinó que fue diferente siendo la línea uno la de mayor eficiencia con el 19,8% y la mínima la número cinco con el 5%, este valor es bajo debido a que el recorrido del fluido es corto y el sistema presenta varios accesorios y en estos se generan mayores pérdidas y en tuberías de distinto material y diámetro, es porque existe mayor fricción, que la eficiencia es baja, cabe destacar que se logró mejorar, con el equipo nuevo, ya que el equipo donde se realizó la simulación tenía una eficiencia del 2,86%.

# **CAPÍTULO IV**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

Luego de analizar los resultados obtenidos de las diversas experiencias realizadas, se concluye lo siguiente:

- La dureza del agua que abastece al Laboratorio de Operaciones Unitarias, es de 478,0 mg/L, este valor es demasiado alto, por tal motivo no se utilizó tubería de hierro galvanizado debido a que su pared interna presenta una rugosidad alta y al quedarse el agua ahí, se produciría corrosión y desgaste en la misma.
- Con el Diseño y Construcción del Sistema de Tuberías en Paralelo para la Medición de las Constantes de Accesorios, se determinó el valor de las constantes experimentalmente; para la válvula check 2,44; válvula de bola 0,049; codo 0,87; te 0,99 y válvula de mariposa 4,929.
- Para cualquier variación del flujo volumétrico que se desea determinar, existe una diferencia de presión dada por el manómetro diferencial, que se registra al pasar por una tubería, siendo la mínima de 15,9 cm. y la máxima de 23,7 cm., este es el caso de la válvula check, por citar una.
- Con respecto al factor de fricción ( $f$ ) se puede decir, que es un factor adimensional necesario para determinar el valor correcto de las pérdidas por fricción; por lo tanto, éste no puede ser constante como se observan en las tablas de resultados, éste va a depender de la velocidad, del diámetro, de la densidad, de la viscosidad y de ciertas características de la rugosidad de las paredes de la tubería.

- De la relación existente entre el caudal y la variación de altura, se puede deducir que: a mayor caudal, mayor va a ser la diferencia de presión, como se observó en la válvula de check, bola, té pero también se determinó en algunos accesorios que a menor caudal, la variación de presión va a ser mayor el codo y válvula de mariposa por ejemplo.
- Analizando el coeficiente de resistencia ( $k$ ), se puede decir que es una fuerza contraria que opone el accesorio al fluido, por lo tanto, es considerada teóricamente una constante. Sin embargo, todas, las medidas de los diseños de los accesorios (contracción) no son geoméricamente similares, por lo que, el coeficiente de resistencia presenta una cierta variación en su magnitud, como se demostró con los resultados obtenidos experimentalmente, dando un 2% de error en la válvula check de 2,5 que es un valor teórico al de 2,44 que es un valor determinado en el equipo.
- Las variables más importantes para realizar el dimensionamiento, cálculos de ingeniería, así como, la validación del equipo fueron: caudal, velocidad de flujo, número de Reynolds, factor de fricción, pérdidas primarias, secundarias, y finalmente la fenomenología, se utilizó la ecuación de Bernoulli, para determinar la ecuación que rige, el sistema.
- Finalmente la eficiencia de la bomba del equipo es del 19,8%, este valor es bajo ya que el recorrido del fluido es corto, además tiene varios accesorios, diámetros y materiales de tubería que hacen que haya mayores pérdidas en el sistema, sin embargo, en relación con el equipo que existía se logró mejorar en un alto porcentaje, ya que la eficiencia de la bomba era del 2,86%, con esto queda comprobado que se logró cumplir con las metas propuestas.

## 4.2. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones principales que puedo señalar, para conservar el equipo de Sistema de Tuberías en Paralelo para la Determinación de las Constantes de Accesorios las resumo a continuación:

- Se debe tener mucho cuidado en el momento de introducir el alcohol en el manómetro, ya que este por ser un tubo de vidrio es sumamente frágil, por ende el momento de sacar y colocar las mangueras se lo debe hacer cuidadosamente, con esto evitamos accidentes como cortaduras.
- Para evitar daños en la tubería, es importante verificar que el sistema este totalmente descargado, esto debido a que el agua que abastece al Laboratorio de Operaciones Unitarias tiene una Dureza Total de 478mg/L, este nos indica que tiene un alto contenido de sales, por ende estas van a provocar incrustaciones en lo que se refiere a la tubería, válvulas y accesorios de acero inoxidable y aun más en materiales de hierro galvanizado ya que estos tienen la pared con una rugosidad mayor, esto explica el porque estas tuberías se dañan mas pronto con el paso del tiempo.
- Para alargar la vida útil de la bomba del equipo, se sugiere encenderla, por lo menos una vez por semana, ya que si no se la usa esta puede sufrir daños en la parte interna y se tendría que realizar un gasto innecesario.
- Antes de encender la bomba verificar, que el tanque de agua este lleno, caso contrario la bomba se puede quemar.
- En el momento que se este utilizando el equipo es importante, que el agua este recirculando, esto debido a que en las uniones de tuberías y accesorios se pueden formar fugas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. BRITO, H., Texto Básico de Mecánica de Fluidos, Riobamba-Ecuador, (2006), Pp. 12 - 77.
2. FELDER, R., ROUSSEAU, R., Principios Básicos de los Procesos Químicos, Problemas Propuestos, México., Editorial Aguilar., 1966., Pp. 18 – 25.
3. McCABE/et al., Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, 6<sup>a</sup> ed., México., Editorial Mc Graw – Hill., 2002., Pp. 85.
4. OCON P. /TOJO J., Problemas de Ingeniería Química, 1<sup>a</sup> ed., México., Editorial Aguilar, 1980., Pp. 13-22.
5. PERRY, J., Manual del Ingeniero Químico, 5<sup>a</sup> ed., México., Editorial Mc Graw – Hill., 1974., Pp. 78.
6. WARREN, L., y otros., Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, 7<sup>a</sup> ed., México., Editorial McGraw – Hill Interamericana., 2007., Pp. 45 – 58.

### **7. ACCESORIOS DE TUBERÍAS**

<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/accesorios-tuberias/.pdf>

2011-03-02

### **8. BOMBAS**

<http://www.monografias.com/trabajos14/bombas/bombas.shtml>

2011-03-02

### **9. CAUDAL**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Caudal\\_\(fluido\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Caudal_(fluido))

2011-03-02

## **10. DISEÑO DE TUBERÍAS**

<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/sistemas-t/sistemas-tuberias.pdf>

2011-03-02

## **11. ECUACIÓN DE DARCY-WEISBACH**

<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/sistemas-t/sistemas-tuberias.pdf>

2011-03-12

## **12. INTRODUCCIÓN SISTEMA DE TUBERÍAS.**

<http://www.monografias.com/trabajos12/mecflui/mecflui.shtml>

2011-03-07

## **13. MECÁNICA DE FLUIDOS**

<http://descom.jmc.utfsm.cl/jcarmi/procesos2/documentos/apuntes/procesosII%20%20pdf/05-%20Transporte%20de%20fluidos.pdf>

2011-03-02

## **14. MEDIDORES DE FLUJO**

<http://www.monografias.com/trabajos31/medidores-flujo/medidores-flujo.shtml>

2011-03-02

## **15. NÚMERO DE REYNOLDS**

[http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero\\_de\\_Reynolds](http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_de_Reynolds)

2011-03-02

## **16. PRINCIPIO DE BERNOULLI**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Principio\\_de\\_Bernoulli](http://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Bernoulli)

2011-03-02

## **17. SISTEMA DE TUBERÍAS**

<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/sistemas-tuberias/sistemas-tuberias.pdf>

2011-03-02

## **18. SISTEMA DE TUBERÍAS EN PARALELO**

<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/accesorios-tuberias/.pdf>

2011-03-02

## **19. TIPOS DE BOMBAS**

<http://www.monografias.com/trabajos14/bombas/bombas.shtml>

2011-03-02

## **20. TUBOS Y SU CLASIFICACIÓN**

<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/accesorios-tuberias/.pdf>

2001-03-10

## **21. TUBOS Y TUBERÍAS**

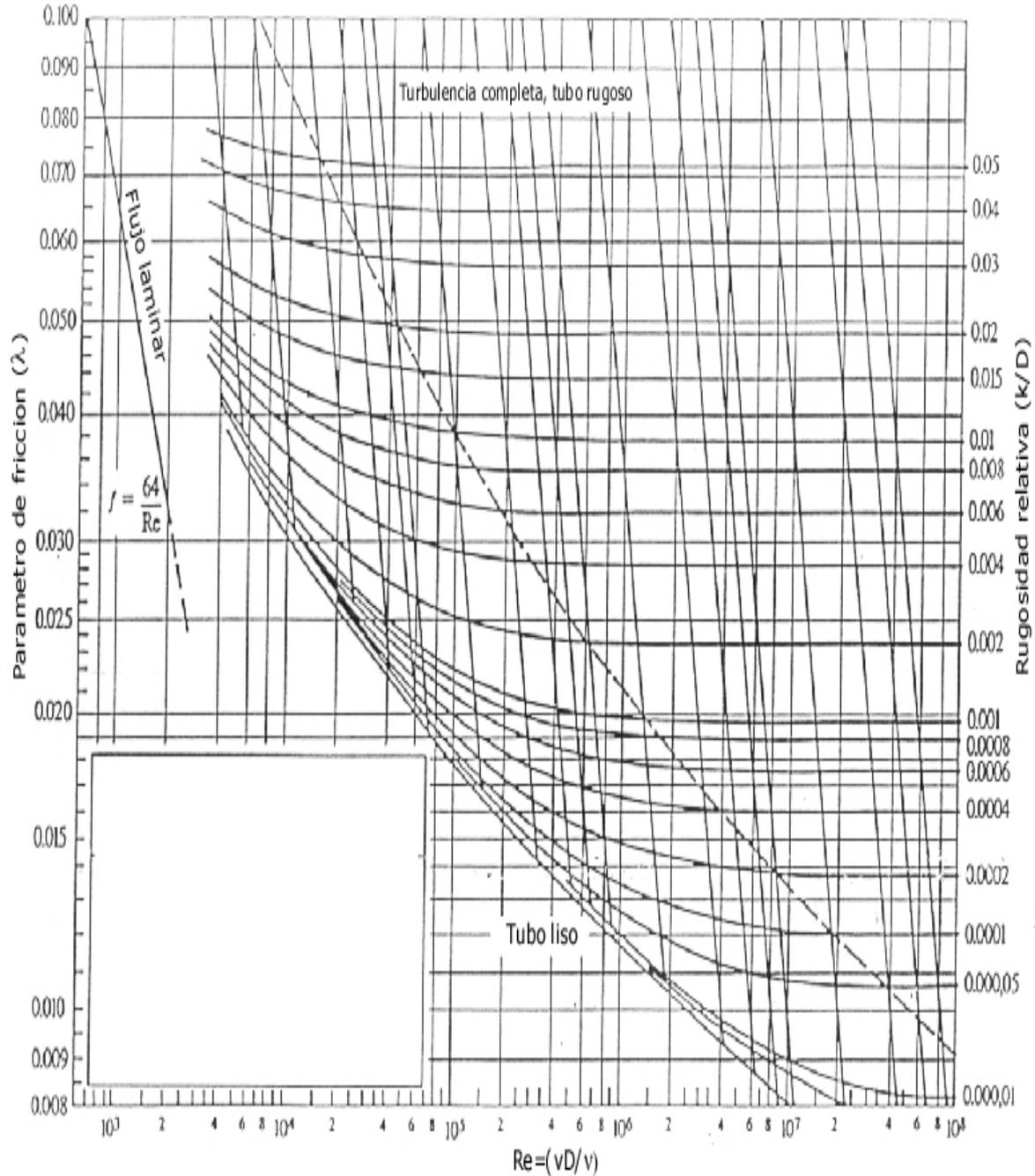
<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/sistemas-tuberias/sistemas-tuberias.pdf>

2011-03-02

# **ANEXOS**

## ANEXO I

### Diagrama de Moody

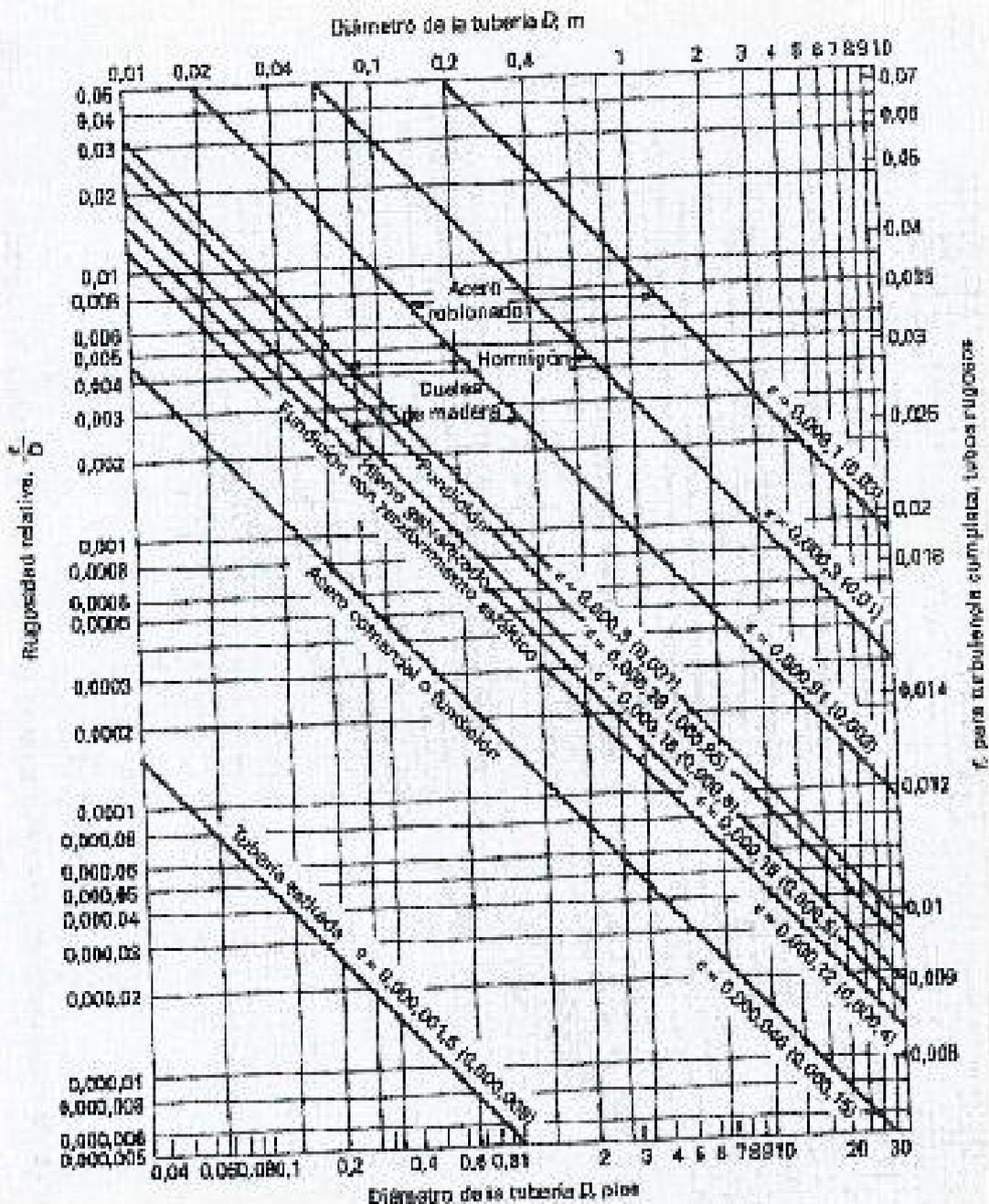


A.E.I.Q. Separata de Operaciones Básicas de Ingeniería Química, Universidad Central del Ecuador, Quito, 1993.

<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b> FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	<b>Diagrama de Moody</b>		
	Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/>	<b>Realizado por:</b> Danielita Borja	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			1 A		12/01/06

## ANEXO II

### Diagrama de la Rugosidad Relativa



<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b> FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	<b>Diagrama de la Rugosidad Relativa</b>		
	Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/>	Realizado por: Danielita Borja	Lámina	Escala	Fecha
			2 A		12/01/06

## ANEXO III

### Valores del Coeficiente k en Pérdidas Singulares

Accesorio	K	Le/D
Válvula de globo abierta	7,5	350
Válvula de ángulo abierta	3,8	170
Válvula de compuerta abierta	0,15	7
Válvula de compuerta abierta ( 3/4)	0,85	40
Válvula de compuerta medio abierta	4,4	200
Válvula de compuerta abierta (1/2)	5,6	160
Válvula de compuerta abierta (1/4)	20	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
T por salida lateral	1,5	67
T paso derecho	0,4	20
Codo a 90° de radio corto	0,90	41
Codo a 90° de radio normal	0,7	32
Codo a 90° de radio grande	0,40	20
Codo a 45° de radio corto	0,45	-
Codo a 45° de radio normal	0,35	15
Codo a 45° de radio grande	0,35	-
Curvatura de 180°	1,6	75
Válvula de retención de bola	70	3500
Válvula de retención de bisagra	2	100
Medidor de agua, disco	7	350

Internet: [http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_civil/sistemasdetuberias/](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_civil/sistemasdetuberias/)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	Valores del Coeficiente K en Pérdidas Singulares		
	Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/>	Realizado por: Danielita Borja	Lámina	Escala	Fecha
			3 A		12/01/06

## ANEXO IV

### Rugosidad Absoluta de Materiales

Material	$\epsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01
Tubos estirados de acero	0,0024
Tubos de latón o cobre	0,0015
Fundición revestida de cemento	0,0024
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024
Fundición centrifugada	0,003
Fundición asfaltada	0,06-0,18
Fundición	0,12-0,60
Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Hierro forjado	0,03-0,09
Hierro galvanizado	0,06-0,24
Madera	0,18-0,90
Hormigón	0,3-3,0

**Internet:** [http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_civil/sistemasdetuberias/](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_civil/sistemasdetuberias/)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	<b>Rugosidad Absoluta de Materiales</b>		
	Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/>	<b>Realizado por:</b> Danielita Borja	Lámina	Escala	Fecha
			4 A		12/01/06

## ANEXO V

### Coeficiente de Hazen -Williams para Algunos Materiales

Material	C
Acero ondulado	60
Acero con uniones, tubos nuevos	130
Acero con uniones, en servicio	90
Acero galvanizado	125
Acero remachado, tubos nuevos	110
Acero remachado en uso	85
Acero soldado, tubos nuevos	130
Acero soldado con revestimiento especial	130
Acero soldado en uso	90
Plomo	130
Asbesto cemento	140
Cobre	130
Concreto con buena terminación (hormigón)	130
Concreto con terminación común	120
Hierro fundido, nuevo	130
Hierro fundido, después de 15 a 20 años	100
Hierro fundido gastado	90
Hierro con revestimiento de cemento	130
Tubos de barro vitrificado	110
Latón	130
Vidrio	140
Plástico	140
Madera	120
Ladrillo, conductos bien hechos	100

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	<b>Coeficiente de Hazen-Williams para Materiales</b>		
	Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/>	<b>Realizado por:</b> Danielita Borja	Lámina	Escala	Fecha
			5 A		12/01/06

**ANEXO VI  
Costos de Materiales**

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción del Artículo</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
1	Manómetro Diferencial	300	300
1	Bomba centrífuga (½ Hp)	80	80
1	Tanque plástico (60 L)	30	30
1	Válvula Check acero inoxidable (1/2")	28	28
16	Válvulas de Bola acero inoxidable (1/2")	14	224
16	Válvulas de Bola acero inoxidable (1/4")	8	128
2	Válvulas de Bola PVC (1/2")	6	12
1	Válvula de Bola PVC (1")	8	8
1	Válvula de Paso H. G. (1/2")	8.50	8,50
1	Válvula de mariposa acero inox. (1/2")	16	16
3	Tubos acero inoxidable (15.16 m)	25	75
4	Ruedas	5.50	22
10	Manguera transparente (1/4")	0.80	8
5	Manguera transparente (1/2")	1.55	7,75
2	Manguera transparente (1")	2.20	4,40
1	Manguera gruesa (1")	2	2
1	Filtro (1")	6.80	6,80
1	Tubo polipropileno (1/2")	8.20	8,20
1	Tubo polipropileno (1")	9	9
1	Tubo PVC (1/2")	6.80	6,80
1	Tubo PVC (3/4")	7.60	7,60
1	Tubo acero inoxidable (1/2")	28	28
1	Manómetro de presión análogo	12	12
1	Medidor de agua	23	23
1	Interruptor	6	6
2	Uniones	2.50	5
16	Codos PVC (90°)	0.65	10,40
4	Codos acero inoxidable (1/2")	3.50	14
4	Tés PVC (1/2")	0.75	3
16	Tés Acero inoxidable (1/2")	3.95	63,20
4	Uniones universal acero inoxidable (1/2")	2.50	10
4	Uniones universal PVC (1/2")	1.80	7,20
1	Unión universal PVC (1")	2	2
4	Abrazaderas (1")	0.80	3,20
30	Abrazaderas (1/4")	0.30	9
2	Abrazaderas (1/2")	0.60	1,20
4	Reducción – ampliación PVC (1/2" – 1")	0.60	2,40
2	Reducción – ampliación H.G. (1/2" – 3/4")	0.80	1,60
3	Uniones (1/2" -1")	0.75	2,25
2	Uniones (1/2")	0.35	0,70
10	Neplos (1/2")	0.45	4,50
<b>TOTAL</b>			<b>1200,7</b>

*Fuente: Daniela Borja*

<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/>	<b>ESPOCH</b> FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA  <b>Realizado por:</b> Danielita Borja	<b>Costos de Materiales</b>		
			<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			6 A		12/01/06

## ANEXO VII

### Resultados de Dureza del Agua que Abastece al Laboratorio de Operaciones Unitarias



**LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Srta. Danielita Borja  
 Fecha de Análisis: 22 de marzo del 2011  
 Fecha de Entrega de Resultados: 22 de marzo de 2011  
 Tipo de muestras: Agua de pozo  
 Localidad: ESPOCH Riobamba

**Agua de cisterna**

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Dureza Total expresada como CaCO <sub>3</sub>	mg/L	2340-C	300	378.0
Dureza Cálcica expresada como CaCO <sub>3</sub>	mg/L	2340		56.0
Dureza Magnésica expresada como CaCO <sub>3</sub>	mg/L	2340		322

**Agua de abastecimiento al laboratorio de Química Industrial**

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Dureza Total expresada como CaCO <sub>3</sub>	mg/L	2340-C	300	478.0
Dureza Cálcica expresada como CaCO <sub>3</sub>	mg/L	2340		200.0
Dureza Magnésica expresada como CaCO <sub>3</sub>	mg/L	2340		278.0

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULAS TABLA 11. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

*Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias*

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	Dureza del Agua		
			Lámina	Escala	Fecha
	Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/>	Realizado por: Danielita Borja	7 A		12/01/06

## ANEXO VIII

### Construcción de la Estructura Externa e Interna del Equipo

(a)



(b)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	Sistema de Tuberías en Paralelo para la Medición de las Constantes de Accesorios		
(a) Estructura Externa	Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/>	<b>FACULTAD DE CIENCIAS                      ESCUELA DE INGENIERÍA                      QUÍMICA</b>  Realizado por: Danielita Borja	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
(b) Estructura Interna			8 A		12/01/06

## ANEXO IX

### Sistema de Tuberías en Paralelo para la Medición de las Constantes de Accesorios

(a)



(b)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	Sistema de Tuberías en Paralelo para la Medición de las Constantes de Accesorios		
(a) Vista Frontal del Equipo	Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/>	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  Realizado por: Danielita Borja	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
(b) Vista Posterior del Equipo			9 A		12/01/06

## ANEXO X

### Accesorios Conectados al Manómetro Diferencial de Presión por Medio de Mangueras

(a)



(b)(c)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	Sistema de Tuberías en Paralelo para la Medición de las Constantes de Accesorios		
<b>(a) Accesorios conectados al Manómetro Dif. de Presión</b> <b>(b) Flauta de Entrada (P<sub>1</sub>)</b> <b>(c) Flauta de Salida (P<sub>2</sub>)</b>	Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/>	<b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA</b> <b>QUÍMICA</b>  Realizado por: Danielita Borja	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			10 A		12/01/06