



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES (ROTÁMETRO)”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de

INGENIERO QUÍMICO

FAUSTO MARCELO CAIBE YANZAPANTA

RIOBAMBA * ECUADOR**

2012

A Dios y a la Virgen, por haberme dado la oportunidad de permitir empezar y culminar mis estudios universitarios, ya que sin la ayuda y bendiciones recibidas, no hubiese sido posible lograr tan importante y esperado paso en mi vida profesional así como también a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por brindarme la formación profesional, igualmente a los facilitadores que con gran paciencia supieron transmitir sabios conocimientos en las aulas y laboratorios de mi querida Facultad de Ciencias.

Al Ing.- Hannibal Brito Director de Tesis,
Ing.- César Puente Miembro del tribunal por el asesoramiento técnico y facilidades brindadas para el desarrollo de este trabajo de investigación.

El presente trabajo quiero dedicarlo con mucho afecto a mis Queridos Padres, VICTOR y ROSARIO, mi ejemplo, mi alegría, mi fortaleza. “Dios les pague de todo corazón por su amor y estar siempre prestos a darme su valiosa ayuda en los momentos que la precisamos.

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. Cesar Puente.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Tlsp.- Carlos Rodríguez.

DIRECTOR CENTRO DOCUMENTACIÓN

Yo, **FAUSTO CAIBE YANZAPANTA**
soy responsable de las ideas, doctrinas y
resultados expuestos en este trabajo y, el
patrimonio intelectual del mismo pertenece a
la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO.**

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

$T =$	Temperatura del fluido (C).
$P_{atm} =$	Presión atmosférica de Riobamba (mm Hg).
$P_1 =$	Presión en el punto 1 (Pa).
$P_2 =$	Presión en el punto 2 (Pa).
$Q =$	Caudal del fluido en (m^3/s).
$Q_{mim} =$	Caudal del fluido en (m^3/s).
$Q_{max} =$	Caudal del fluido en (m^3/s).
$Z_1 =$	Altura de referencia (m).
$Z_2 =$	Altura de descarga (m).
$\phi_{is} =$	Diámetro Interno de la tubería de succión (m).
$\phi_{id} =$	Diámetro Interno de la tubería descarga (m).
$\rho =$	Densidad del agua (Kg/m^3).
$\gamma =$	Peso específico en (N/m^3).
$\pi =$	3,141516 (adimensional).
$V =$	Volumen de tanque de succión y descarga (m^3).
$K =$	Constante para tanques (adimensional).
$t =$	Tiempo (s).
$e =$	Espesor de las tuberías (m).
$\mu =$	Viscosidad dinámica en ($Kg/m s$).
$\nu =$	Viscosidad cinemática en (m^2/s).
$g =$	Aceleración de gravedad (m/s^2).

$v =$	Velocidad del fluido en (m/s).
$N_{RE} =$	Número de Reynolds (adimensional).
$A_s =$	Área de tubería de succión (m^2).
$A_d =$	Área de tubería de descarga (m^2).
$\varepsilon =$	Rugosidad absoluta experimental (m).
$\varepsilon/\phi_i =$	Rugosidad relativa (adimensional).
$f =$	Factor de fricción (adimensional).
$K =$	Coeficiente fundamental de las pérdidas secundarias (adimensional).
$K_T =$	Coeficiente total de pérdidas secundarias.
$L =$	Largo de la tubería (m).
$Log =$	Logaritmo en base de 10.
$\Sigma_K =$	Sumatoria de "X" elementos.
$H_{fs} =$	Pérdida primarias succión (m).
$H_{fd} =$	Pérdida primarias descarga (m).
$H_{ms} =$	Pérdidas secundarias succión (m).
$H_{md} =$	Pérdidas secundarias descarga (m).
$H_{Ts} =$	Pérdidas totales primarias succión (m).
$H_{Td} =$	Pérdidas totales primarias descarga (m).
$H_{Tsd} =$	Pérdidas totales succión y descarga (m).
$Hp =$	Potencia de la bomba centrífuga (hp).
$E =$	Rendimiento de la bomba centrífuga (%).

TABLA DE CONTENIDOS

Pp:

PORTADA

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

HOJA DE FIRMAS

HOJA DE RESPONSABILIDAD

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ANEXOS

ÍNDICE DE ECUACIONES

RESUMEN..... i

ABSTRACT..... ii

INTRODUCCIÓN..... iii

ANTECEDENTES..... iv

JUSTIFICACIÓN..... v

OBJETIVOS..... vi

CAPITULO I

1.- MARCO TEÓRICO

1.1.- FLUIDOS.....1

1.1.1.- TIPOS DE FLUIDOS1

1.1.2.- FLUIDOS NEWTONIANOS1

1.1.3.-	FLUIDOS NO NEWTONIANOS.....	2
1.1.3.1.-	Fluidos Independientes Del Tiempo De Aplicación	2
1.1.3.2.-	Fluidos Dependientes Del Tiempo De Aplicación	3
1.2.-	MEDIDORES DE CAUDAL.....	4
1.2.1.-	MEDICIÓN DE CAUDAL DE LÍQUIDOS	4
1.2.2.-	TIPOS DE MEDIDORES DE CAUDALES	4
1.2.2.1.-	TUBO VENTURÍMETRO.....	4
1.2.2.2.-	MEDIDOR DE ORIFICIO	5
1.2.2.3.-	TUBO DE PITOT	5
1.2.2.4.-	ROTÁMETROS	6
1.3.-	ACCESORIOS PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS ...	7
1.3.1.1.-	ACCESORIOS.....	7
1.3.1.2.-	BRIDAS	7
1.3.1.3.-	CODOS.....	7
1.3.1.4.-	TES.....	8
1.3.1.5.-	REDUCCIÓN	8
1.3.1.6.-	VÁLVULA DE COMPUERTA	9
1.3.1.7.-	VÁLVULA DE RETENCIÓN	9
1.3.1.8.-	VÁLVULA DE ASIENTOS O GLOBO	10
1.3.1.9.-	BOMBAS	11
1.3.1.9.1.-	BOMBAS ROTATORIAS	11
1.3.1.9.2.-	BOMBAS ALTERNANTES.....	12
1.3.1.9.3.-	BOMBAS CENTRÍFUGAS	13
1.3.1.10.-	CAVITACIÓN.....	13
1.3.1.11.-	CURVA CARACTERÍSTICA, DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA.....	14
1.3.1.12.-	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL POLIPROPILENO.....	15
1.4.-	DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES (ROTÁMETRO).	17
1.4.1.-	PROPIEDADES FÍSICO – QUÍMICAS DEL FLUJO DE FLUIDOS	17

	Pp:
1.4.1.1.- CAUDAL (Q):	17
1.4.1.2.- RAPIDEZ DE FLUJO DE MASA (W)	17
1.4.1.3.- DENSIDAD (ρ):	18
1.4.1.4.- PESO ESPECÍFICO.....	18
1.4.1.5.- VISCOSIDAD	19
1.4.1.5.1.- VISCOSIDAD ABSOLUTA O DINÁMICA (μ):.....	19
1.4.1.5.2.- VISCOSIDAD CINEMÁTICA (V):.....	19
1.4.1.6.- PRESIÓN (P).....	20
1.4.1.6.1.- PRESIÓN HIDROSTÁTICA	20
1.4.1.7.- TEMPERATURA (T)	21
1.4.1.8.- DIÁMETRO INTERNO DE LA TUBERÍA.....	21
1.4.1.9.- ÁREA DE LA TUBERÍA	22
1.4.1.10.- CÁLCULO DE LA VELOCIDAD	22
1.4.1.11.- NÚMERO DE REYNOLDS (N_{Re})	23
1.4.1.11.1.- FLUJO LAMINAR	24
1.4.1.11.2.- FLUJO TURBULENTO	24
1.4.1.11.3.- FLUJO EN TRANSICIÓN.....	24
1.4.2.- HIDRÁULICA EN TUBERÍAS	25
1.4.2.1.- PÉRDIDA DE ENERGÍA	25
1.4.2.2.- DINÁMICA DE FLUIDOS.....	25
1.4.2.3.- ECUACIÓN DE CONTINUIDAD.....	25
1.4.2.4.- ECUACIÓN DE BERNOUILLI.....	26
1.4.2.5.- BALANCE DE ENERGÍA	27
1.4.2.6.- CORRECCIÓN DE LA ECUACIÓN DE BERNOUILLI POR EFECTO DE LA FRICCIÓN	27
1.4.2.7.- ECUACIÓN DE ENERGÍA.....	28
1.4.2.9.- ECUACIÓN MODIFICADA DE COLEBROOK-WHITE	32
1.4.2.10.- CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS SECUNDARIAS	33
1.4.2.11.- CÁLCULO DE PÉRDIDAS TOTALES	34
1.4.2.12.- ECUACIÓN DE LA CARGA O ALTURA.....	35
1.4.2.13.- ECUACIÓN DE LA POTENCIA CONSUMIDA POR LA BOMBA.....	36

1.4.2.14.- ECUACIÓN DE LA EFICIENCIA MECÁNICA DE LA BOMBA CENTRÍFUGA	36
1.4.2.15.- ESQUEMA RESUMIDO PARA EL DISEÑO DE TRANSPORTE DE FLUIDOS	37

CAPITULO II

2.- PARTE EXPERIMENTAL	38
2.1.- PLAN DE MUESTREO	38
2.2.- METODOLOGÍA	38
2.2.1.- MÉTODOS.....	38
2.2.1.1.- INDUCTIVO	39
2.2.1.2.- DEDUCTIVO	39
2.2.1.3.- ANALÍTICO.....	40
2.2.2.- TÉCNICAS.....	40
2.2.2.1.- TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS DEL FLUIDO.....	40
2.2.2.2.- DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO- QUÍMICOS DEL FLUIDO (AGUA).....	41
2.2.2.2.1.- DETERMINACIÓN DEL PH DE AGUA	41
2.2.2.2.2.- DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD DEL AGUA.....	42
2.2.2.2.3.- DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA	43
2.2.2.2.4.- DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AGUA	44
2.2.2.2.5.- DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD DEL AGUA.....	45
2.3.- DATOS EXPERIMENTALES	46
2.3.1.- DIAGNÓSTICO	46
2.3.2.- DATOS.....	47
2.3.2.1.- DATOS EXPERIMENTALES ADICIONALES	47
2.3.2.2.- DATOS ADICIONALES	47
2.3.2.3.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS TUBERÍAS DE POLIPROPILENO.....	48

CAPITULO III

3.-	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES (RÓTAMETRO)...50	
3.1.-	GENERALIDADES.....50	
3.2.-	CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES (RÓTAMETRO).51	
3.2.1.-	DIMENSIONAMIENTO DEL SOPORTE ESTRUCTURAL51	
3.2.2.-	CRITERIOS DE LAS LÍNEAS DE TUBERÍA PARA EL SISTEMA TRANSPORTE DE FLUIDOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES.52	
3.2.3.-	CRITERIOS DE LAS DIMENSIONES DEL TANQUE DE ALIMENTACIÓN, BOMBA Y ROTÁMETRO.52	
3.3.-	BALANCES DE MASA Y ECUACIÓN DE CONTINUIDAD53	
3.4.-	BALANCES DE ENERGÍA54	
3.5.-	CÁLCULOS55	
3.5.1.-	CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL TANQUE DE ALIMENTACIÓN Y DESCARGA.....55	
3.5.2.-	CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD DINÁMICA DEL FLUIDO55	
3.5.3.-	CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL FLUIDO56	
3.5.4.-	CÁLCULO DEL PESO ESPECÍFICO56	
3.5.5.-	CÁLCULO DEL DIÁMETRO INTERNO DE LA TUBERÍA56	
3.5.6.-	CÁLCULO DEL ÁREA DE LA TUBERÍA.....57	
3.5.7.-	CÁLCULO DE LA VELOCIDAD57	
3.5.8.-	CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS.....58	
3.5.9.-	CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGAS PRIMARIAS58	
3.5.10.-	CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS SECUNDARIAS60	

Pp:

3.5.11.-	CÁLCULO DE PÉRDIDAS TOTALES SUCCIÓN.....	60
3.5.12.-	CÁLCULO DE PÉRDIDAS TOTALES DERCARGA	60
3.5.13.-	CÁLCULO DE PÉRDIDAS TOTALES	60
3.5.14.-	CÁLCULO DE LA CARGA O ALTURA	61
3.5.15.-	CÁLCULO DEL FLUJO DE MASA	61
3.5.16.-	CÁLCULO DE LA POTENCIA CONSUMIDA POR LA BOMBA	62
3.5.17.-	CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA CENTRÍFUGA	62
3.6.-	RESULTADOS	63
3.7.-	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	68
3.8.-	PROPUESTA DE DISEÑO	69
3.9.-	DISEÑO DE SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDO PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES (ROTÁMETRO).	70
3.10.-	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE FLUIDOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES	71
3.11.-	ANÁLISIS DE COSTOS.....	76
3.11.1.-	RECURSOS MATERIALES	76
3.11.2.-	RECURSOS TOTALES.....	76
3.11.3.-	ACCESORIOS UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN.....	77
3.12.-	TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.	78
3.12.1.-	TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN.....	78
	- Instalación y Colocación de Tuberías y Válvulas	78
	- Cortar la tubería a la longitud planteada en el plano.	78
	- Realizar el roscado a la tubería mediante el uso de la terraja.....	78
	- Unir con teflón y permatex.....	78
3.12.2.-	FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.	79

CAPÍTULO IV

4.-	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
4.1.-	CONCLUSIONES.....	80
4.2.-	RECOMENDACIONES.....	81
	BIBLIOGRAFÍA.....	82
	BIBLIOGRAFÍA INTERNET.....	82
	WEB.....	84
	ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

FIGURA:		Pp:
1.2.2.1-1.	Medidor tipo Venturí	4
1.2.2.3-1.	Medidor tipo Pitot.....	5
1.2.2.4-1.	Medidor tipo Rotámetro.....	6
1.3.1.5-1.	Accesorios de Polipropileno.....	8
1.3.1.6-1.	Válvulas de Tipo Compuertas	9
1.3.3.7-1.	Válvulas de Retención	10
1.3.3.8-1.	Válvulas de Asiento.....	10
1.3.1.9.1-1.	Bomba Rotatoria.....	11
1.3.1.9.2-1.	Bombas Alternantes.....	12
1.2.2.3-1.	Bomba Centrífuga.....	13
1.3.1.11-1.	Curvas Características de Bomba Centrífuga.....	14
1.2.3.2-1.	Tuberías de Polipropileno Plastigama	16
1.3.1.8-1.	Tipos de flujo en la tubería.....	23
1.4.2.3-1.	Diagrama de un volumen de control.....	26
1.4.2.7-1.	Diagrama esquemático para la ecuación de la energía.....	28
1.4.2.7-2 .	Diagrama de la ecuación de energía aplicada a una Tubería.....	30
1.4.2.8-1.	Diagrama de Moody para coeficiente de rozamiento en función número de Reynolds y rugosidad relativa.....	32
GRÁFICO :		
3.3-1.	Balance de Masa en Tuberías	53
3.4-1.	Balance de Energía en Tuberías	54

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA:		Pp:
1.4.1.8-1.	Condiciones según Reynolds.....	23
2.2.2.1- 1.	Métodos utilizados en el análisis del fluido.....	40
2.2.2.2.1-1.	Potencial de hidrógeno pH	41
2.2.2.2.2-1.	Conductividad.....	42
2.2.2.2.3-1.	Dureza total	43
2.2.2.2.4-1.	Densidad del agua	44
2.2.2.2.5-1.	Determinación de viscosidad del agua.....	45
2.3-1.	Análisis físico - químico del fluido (agua).....	46
2.3.2.1-1.	Datos Experimentales Adicionales	47
2.3.2.2-1.	Datos adicionales para el diseño del sistema de transporte de fluidos para la medición de caudales (Rotámetro).	48
2.3.2.2-2.	Rugosidad absoluta para diferentes materiales.....	48
2.3.2.2-3.	Propiedades físicas del agua, a 1 at.....	49
2.3.2.3-1.	Diámetros de las tuberías de polipropileno.....	49
2.3.2.3-2.	Principios físicos	49
2.3.2.3-3.	Coefficientes para pérdidas en accesorios y codos.....	49
2.3.2.3-4.	Equivalencias de las pérdidas de carga por reducción de diámetros de los tubos.....	49
3.2.2 -1.	Dimensiones recomendadas para el soporte estructural del equipo	51
3.6 -1.	Resultados de sistema de tubería n= 1	63
3.6 – 2.	Resultados de sistema de tubería n= 2	64
3.6 – 3.	Resultados de sistema de tubería n= 3	65
3.6 – 4.	Resultados de sistema de tubería n= 4	66

Pp:

3.6 – 5.	Resultados de sistema de tubería n= 5	67
3.8-1.	Dimensionamiento del equipo de transporte de fluidos.....	69
3.11.1-1.	Recursos materiales	76
3.11.2-1.	Recursos totales	76
3.11.3-1.	Accesorios utilizados para la construcción del equipo de transporte de fluidos para la medición de caudales	77

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		Pp:
1	DIAGRAMA DE MOODY	85
II	INFORME DE ANÁLISIS DEL FLUIDO (AGUA)	86
III	DIMENSIONES DEL SOPORTE DE LA TUBERÍA	87
IV	PROPIEDADES FÍSICAS DEL ROTÁMETRO	88
V	DIMENSIONES DEL SISTEMA DE LA TUBERÍA	89
VI	PLANO FRONTAL DE EQUIPO DE TRANSPORTE DE FLUIDOS	90
VII	PLANOS ISOMÉTRICOS DE EQUIPO DE TRANSPORTE DE FLUIDOS	91
VIII	RESULTADOS DE LA LÍNEA DE TUBERÍA N=1	92
IX	RESULTADOS DE LA LÍNEA DE TUBERÍA N=2	93
X	RESULTADOS DE LA LÍNEA DE TUBERÍA N=3	94
XI	RESULTADOS DE LA LÍNEA DE TUBERÍA N=4	95
XII	RESULTADOS DE LA LÍNEA DE TUBERÍA N=5	96
XIII	EQUIPO DE TRANSPORTE DE FLUIDOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES (Rotámetro)	97
XIV	MEDICIÓN DE PRESIONES Y CAUDAL	98

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN	Pp:
1.4.1.1-1. Caudal	17
1.4.1.2-1. Rapidez de flujo de masa	17
1.4.1.3-1. Densidad	18
1.4.1.4-1. Peso específico	18
1.4.1.5.2-1. Viscosidad cinemática	19
1.4.1.6-1. Presión hidrostática	20
1.4.1.8-1. Diámetro interno de la tubería	21
1.4.1.9-1. Área de la tubería.....	22
1.4.1.10-1. Cálculo de la velocidad	22
1.4.1.11-1. Número de Reynolds	23
1.4.2.3-1. Ecuación de continuidad	25
1.4.2.3-2. Ecuación de continuidad	26
1.4.2.5-1. Balance de energía	27
1.4.2.6-1. Corrección de la ecuación de Bernoulli	27
1.4.2.7-1. Ecuación de energía.....	28
1.4.2.7-2. Ecuación de energía para líquido incomprensible.....	28
1.4.2.7-3. Ecuación de energía para pérdidas de carga.....	29
1.4.2.7-4. Ecuación de energía en dos puntos.....	29
1.4.2.7-5. Ecuación de energía transferida por la bomba.....	30
1.4.2.8-1. Ecuación de Darcy-Weisbach.....	31
1.4.2.8.2. Coeficiente de rugosidad para flujo laminar.....	32

Pp:

1.4.2.10-1.	Ecuación para las pérdidas secundarias.....	34
1.4.2.11-1.	Ecuación para las pérdidas totales.....	34
1.4.2.12-1.	Ecuación de la carga o altura.....	35
1.4.2.13-1.	Ecuación de la potencia consumida por la bomba.....	36
1.4.2.14-1.	Ecuación de la eficiencia de mecánica de la bomba centrífuga.....	36

RESUMEN

Se Diseñó y Construyó un Sistema de Transporte de Fluidos para la Medición de Caudales (Rotámetro), para demostrar experimentalmente la hidráulica en tuberías circulares en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Se inició la investigación con el análisis de proyecto de “Optimización y Estudio del Equipo de Bombeo de Líquidos e Identificación de la Ecuación que Rige este Fenómeno”, con el fin de desarrollar un equipo compacto, dinámico y estructuralmente eficaz; realizando los cálculos y variables de ingeniería. Una vez diseñado se procedió a la construcción del equipo utilizando materiales resistentes a la corrosión por las propiedades físico-químicas del fluido y la creatividad de un sistema de inyección de tinta para demostrar el régimen de flujo en tubería acrílica transparente.

Obteniendo un Sistema de Transporte de Fluidos para la Medición de Caudales para la demostración práctica de Mecánica de Fluidos y Operaciones Unitarias; con características : 2,50 m de largo; 0,50 m de ancho y 1,88 m altura del soporte; 0,0075 m³ de capacidad del tanque, una bomba centrífuga de 0,5 Hp, un Rotámetro con capacidad máxima para medir 4 m³/h y soportar una presión de 1 MPa, tubería para la succión de 2,58 m de longitud y 8,78 m tubería de descarga distribuido en 5 líneas de tubería de diferentes diámetros, con sus respectivos accesorios y manómetro, dando un rendimiento máximo de 29,50 %.

Este Sistema de Transporte permite mayor validez en la toma de valores respecto a los caudales. Por lo que se recomienda la utilización de este equipo, para la realización de prácticas en el laboratorio de Operaciones Unitarias, por ser confiable y seguro.

ABSTRACT

A transport system for measuring fluid flow rate (Rotameter) was constructed to demonstrate hydraulics in the circular tubing in the Unit Operations Laboratory of the Science School of the Polytechnic University of Chimborazo. The research was initiated with the analysts of the OPTIMIZATION AND STUDY OF PUMPING EQUIPMENT FLUID AND IDENTIFICATION OF THE GOVERNING EQUATION project in order to develop compact, dynamic and structurally efficient equipment and to derive engineering calculations and variables. Once designed, the construction of the equipment was made using corrosion resistant material by the physicochemical properties of the fluid and an ink jet system which demonstrated flow rate in a clear acrylic pipe. A transport system for measuring fluid flow rate was obtained for the practical demonstration of Fluid Mechanics and Unit Operation with the following characteristics: 2,50 m long; 0,50 m wide and 1,88 m support height; 0,0075 m³ tank capacity, 0,5 hp centrifugal pump, a rotameter with a maximum capacity to measure 4 m³/h and withstand a pressure of 1 MPa, 2,58 m length suction pipe, and a 8,78 m discharge pipe distributed in 5 pipe lines of different diameters with respective accessories and pressure gauge resulting in a maximum yield of 29,50%. In addition, the system allows for greater accuracy in calculating flow values. The utilization of a transport system is recommended for experimental use for the Science School Operations Laboratory of the Polytechnic University of Chimborazo for its safety and reliability.

INTRODUCCIÓN

Dentro de la formación del Ingeniero Químico, el diseño y construcción de equipos es importante porque permite de aplicar conocimientos teóricos y con la práctica.

Es importante destacar también, las Operaciones Unitarias que son una rama de la Ingeniería Química siendo la base fundamental de un Ingeniero Químico para diseñar y seleccionar equipos que se utilizan en los diferentes procesos industriales

La metodología que se aplicará en la investigación es el método inductivo, el cual busca analizar, observar, calcular y practicar técnicas para la medición de caudales, facilitando el desarrollo práctico de los investigadores.

A continuación se detalla el contenido de este trabajo. En el capítulo I se aplica los conceptos, de los accesorios, válvulas y tipos de bombas, las fórmula y la aplicación que abarca este proyecto, así como también la teoría del transporte de fluidos. El capítulo II se ejecuta técnicas, métodos y análisis al fluido para evitar que no existan daños e incrustaciones en la tubería por la Dureza de CCaO_3 (536,0 mg/L). El capítulo III se realiza paso a paso los cálculos y la aplicación de ecuaciones a seguir para alcanzar los resultados. También se elabora un análisis económico del diseño y construcción del equipo, para determinar el costo total del mismo. En el capítulo IV se analiza los resultados obtenidos, garantizando que el equipo es confiable para la realización de prácticas.

Se observa la demostración del experimento de Reynolds, así en la línea 3 un N_{Re} de 24887,66 (Régimen turbulento), y un N_{Re} de 1831,89 (Régimen laminar), alcanzando una altura de carga de 14,32 a 39,38 y un rendimiento máximo de 29,5 %.

ANTECEDENTES

El hombre ha ido adquiriendo y mejorando el legado de sus antecesores, perfeccionando sus técnicas, y efectivizando 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 medio de transporte de fluidos.

Grandes científicos trabajaron en el estudio de transporte de fluidos a mediados del siglo XVII e inicios del siglo XVIII dando grandes aportes a ciencia, y contribuyendo con ecuaciones que forman parte de la Mecánica de Fluidos, las mismas que son reconocidas por sus nombres entre ellos Bernoulli, Jean Louis Marie Poiseuille, Darcy-Weisbach, Reynolds, Moody. En la actualidad se ha perfeccionado estas ecuaciones, conservando la misma base científica, el presente proyecto utilizará estas ecuaciones y principios ayudando a la eficacia de una excelente construcción del equipo.

Existen proyectos anteriormente realizados como el de “Optimización y estudio del equipo de Bombeo de Líquidos e Identificación de la Ecuación que rige el fenómeno”, con una optimización del 157,23% y una eficiencia del 5,58%, los mismos que deben ser superados por este nuevo proyecto, así como también el equipo de Película Descendente que fueron la base para la realización de esta tesis.

Las instalaciones industriales actuales exigen la aplicación de medidores dentro de los procesos productivos, que ayudaran a controlar y mantener constantes varias magnitudes; y el estudiante tiene la necesidad adquirir el conocimiento práctico de los instrumentos, es la razón por la cual nuestra Escuela de Ingeniería Química quiere ir a la par con el avance tecnológico en la enseñanza aprendizaje de sus estudiantes.

JUSTIFICACIÓN

En toda industria existe la necesidad de mover un fluido desde un punto hasta otro a través de sistemas de conducción. Por este motivo esta operación es de continuo interés de aprendizaje, tanto en el empleo de métodos de Cálculos Básicos, Mecánica De Fluidos y Operaciones Unitarias.

La falta de equipos en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y siendo una de las futuras personas que se involucrará en la industria, se ha visto la necesidad de la realización del presente estudio de investigación buscando la manera de ampliar los conocimientos que implica un sistema de transporte de fluidos empleados comúnmente en la industria.

El estudio busca la necesidad de analizar, observar, calcular y diseñar un sistema de transporte de fluidos y proponer una alternativa para el control de mediciones de caudales por medio de un rotámetro y con esto garantizar el aprendizaje práctico de los estudiantes de la escuela de Ingeniería Química en las cátedras antes mencionadas.

El diseño y construcción facilita comprobar de manera práctica el transporte de fluidos a nivel de laboratorio, siendo utilizado como base para procesos a nivel industrial, equipo que servirá también para el avance y desarrollo práctico, productivo y científico del intelecto de los alumnos de Ingeniería Química en los laboratorios de Ciencias, mejorando en la parte académica los conocimientos de tipo práctico.

Complementando el conocimiento teórico con la práctica de los estudiantes de nuestra escuela.

OBJETIVOS

GENERALES

- Realizar el diseño y construcción de un sistema de transporte de fluidos para la medición de caudales (Rotámetro).

ESPECÍFICOS

- Determinar las diferentes variables del proceso de transporte de fluidos.
- Efectuar los cálculos de ingeniería para el diseño de un sistema de transporte de fluidos y su respectivo dimensionamiento.
- Construir el equipo para un funcionamiento a nivel de laboratorio.
- Evaluar el rendimiento en cada una de las líneas de tubería.
- Conocer la factibilidad económica del equipo.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.- MARCO TEÓRICO

1.1.- FLUIDOS

“Un fluido se define como una sustancia que se deforma continuamente bajo la aplicación de esfuerzos cortantes.”

1.1.1.- TIPOS DE FLUIDOS

Existen 3 tipos de fluidos:

TIPOS DE FLUIDOS

❖ NEWTONIANOS

❖ NO NEWTONIANOS

- Independientes del Tiempo
- Sin Esfuerzo Umbral
 - Pseudo plástico
 - Dilatantes
- Con Esfuerzo Umbral
 - Plásticos
- Dependientes del Tiempo
 - Tixotrópicos
 - Reopéticos

❖ VISCOELÁSTICO

1.1.2.- FLUIDOS NEWTONIANOS

Un fluido newtoniano se caracteriza por cumplir la Ley de Newton, es decir, que existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación. Si por ejemplo se triplica el esfuerzo cortante, la velocidad de deformación se va a triplicar también. Esto es debido a que el término viscosidad es constante para este tipo de fluidos y no depende del esfuerzo cortante aplicado. Hay que tener en cuenta también que la viscosidad de un fluido newtoniano no depende del tiempo de aplicación del esfuerzo, aunque sí puede depender tanto de la temperatura como de la presión a la que se encuentre.

1.1.3.- FLUIDOS NO NEWTONIANOS

Los fluidos no newtonianos son aquellos en los que la relación entre esfuerzo cortante y la velocidad de deformación no es lineal. Estos fluidos a su vez se diferencian en *dependientes e independientes del tiempo*.

1.1.3.1.- Fluidos Independientes Del Tiempo De Aplicación

Estos fluidos se pueden clasificar dependiendo de si tienen o no esfuerzo umbral, es decir, si necesitan un mínimo valor de esfuerzo cortante para que el fluido se ponga en movimiento.

❖ Fluidos Sin Esfuerzo Umbral

✓ *Fluidos Pseudo plásticos: (shear-thinning)*

Este tipo de fluidos se caracterizan por una disminución de su viscosidad, y de su esfuerzo cortante, con la velocidad de deformación.

Ejemplos de fluidos Pseudo plásticos son: algunos tipos de ketchup, mostaza, algunas clases de pinturas, suspensiones acuosas de arcilla, etc.

✓ *Fluidos Dilatantes: (shear-thickening)*

Los fluidos Dilatantes son suspensiones en las que se produce un aumento de la viscosidad con la velocidad de deformación, es decir, un aumento del esfuerzo cortante con dicha velocidad.

Ejemplos de este tipo de fluidos son: la harina de maíz, las disoluciones de almidón muy concentradas, la arena mojada, dióxido de titanio, etc.

❖ Fluidos con esfuerzo umbral, (viscoplastic)

✓ Fluidos Plásticos

Este tipo de fluido se comporta como un sólido hasta que sobrepasa un esfuerzo cortante mínimo (esfuerzo umbral) y a partir de dicho valor se comporta como un líquido. Algunos ejemplos son el chocolate, la arcilla, la mantequilla, la mayonesa, la pasta de dientes, las emulsiones, las espumas, etc.

1.1.3.2.- Fluidos Dependientes Del Tiempo De Aplicación

Este tipo de fluidos se clasifican en dos tipos: los fluidos *tixotrópicos*, en los que su viscosidad disminuye al aumentar el tiempo de aplicación del esfuerzo cortante, recuperando su estado inicial después de un reposo prolongado, y los fluidos *reopéticos*, en los cuales su viscosidad aumenta con el tiempo de aplicación de la fuerza y vuelven a su estado anterior tras un tiempo de reposo.

❖ Fluidos Tixotrópicos

Los fluidos tixotrópicos se caracterizan por un cambio de su estructura interna al aplicar un esfuerzo. Esto produce la rotura de las largas cadenas que forman sus moléculas. Ejemplos típicos de fluidos tixotrópicos son: las pinturas, el yogurt, las tintas de impresión, la salsa de tomate, algunos aceites del petróleo, el nylon, etc.

❖ Fluidos Reopéticos

Los fluidos reopéticos, se caracterizan por tener un comportamiento contrario a los tixotrópicos, es decir, que su viscosidad aumenta con el tiempo y con la velocidad de deformación aplicada. Algunos *ejemplos* son: el yeso, la arcilla, entre otros. (1)

¹Fluidos,
<http://descom.jmc.utfsm.cl/jcarmi/procesos2/documentos/apuntes/procesosII%20%20pdf/05-%20Transporte%20de%20fluidos.pdf>

1.2.- MEDIDORES DE CAUDAL

1.2.1.- MEDICIÓN DE CAUDAL DE LÍQUIDOS

Medir el caudal de líquidos es una necesidad crítica en muchas plantas industriales.

La capacidad de realizar mediciones precisas del caudal es tan importante que puede hacer la diferencia entre obtener beneficios o tener pérdidas.

Con la mayoría de los instrumentos de medición de caudal de líquidos o también llamados caudalímetros, el caudal se determina mediante la medición de la velocidad del líquido o mediante el cambio en la energía cinética. La velocidad depende de la presión diferencial que está obligando a que el líquido circule a través de un tubo o conducto. Otros factores que afectan el caudal del líquido son la viscosidad y la densidad, y la fricción del líquido en contacto con la tubería.⁽²⁾

1.2.2.- TIPOS DE MEDIDORES DE CAUDALES

1.2.2.1.- TUBO VENTURÍMETRO

“Es un tipo de boquilla especial, seguido de un cono que se ensancha gradualmente, accesorio que evita en gran parte la pérdida de energía cinética debido al rozamiento. Es por principio un medidor de área constante y de caída de presión variable. Se utilizan con líquidos viscosos, sucios y limpios.”

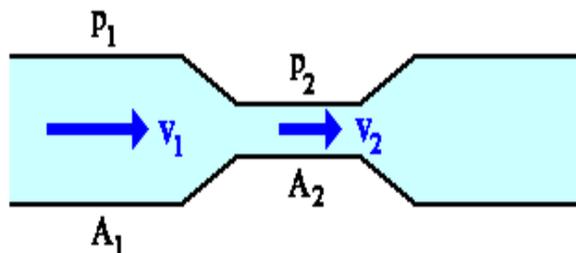


Fig. 1.2.2.1-1. Medidor tipo Venturí

² Medición de Caudales de Líquidos,
<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/conceptosbasicosmfluidos/clasificaciondel flujo /clasificaciondel flujo.html>

1.2.2.2.- MEDIDOR DE ORIFICIO

El medidor de Orificio es un elemento más simple, consiste en un agujero cortado en el centro de una placa intercalada en la tubería. El paso del fluido a través del orificio, cuya área es constante y menor que la sección transversal del conducto cerrado, se realiza con un aumento apreciable de la velocidad (energía cinética) a expensa de una disminución de la presión estática (caída de presión). Por esta razón se le clasifica como un medidor de área constante y caída de presión variable.

1.2.2.3.- TUBO DE PITOT

Es uno de los medidores más exactos para medir la velocidad de un fluido dentro de una tubería.

El Tubo de Pitot mide las presiones dinámicas y con ésta se puede encontrar la velocidad del fluido, hay que anotar que con este equipo se puede verificar la variación de la velocidad del fluido con respecto al radio de la tubería (perfil de velocidad del fluido dentro de la tubería). Se utiliza en tuberías de grandes diámetros con líquidos limpios. Son muy limitados en la industria debido a la facilidad que tienen para ser obstruidos.” (3)

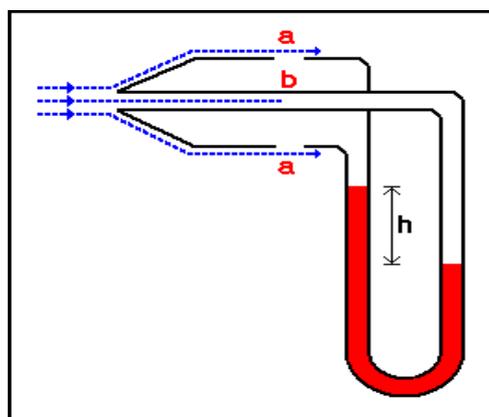


Fig. 1.2.2.3-1. Medidor tipo Pitot

³Medición de Caudales de Líquidos,
<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/medidores/medidoresdeqentuberias/medidoresdeqentuberias.html>

1.2.2.4.- ROTÁMETROS

“Es un medidor de caudal en tuberías de área variable, de caída de presión constante. El Rotámetro consiste de un flotador (indicador) que se mueve libremente dentro de un tubo vertical ligeramente cónico.

El fluido entra por la parte inferior del tubo y hace que el flotador suba hasta que el área anular entre él y la pared del tubo sea tal, que la caída de presión de este estrechamiento sea lo suficientemente para equilibrar el peso del flotador.

El tubo es de vidrio y lleva grabado una escala lineal, sobre la cual la posición del flotador indica el caudal.

Se los utiliza para medir líquidos limpios de bajos caudales en tuberías de diámetros pequeños. Se los encuentra en la industria química, alimenticia, farmacéutica, etc.” (4).



Fig. 1.2.2.4-1. Medidor tipo Rotámetro

⁴Rotámetros.
<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/medidoresflujo/rotametro%tuberias.pdf>

1.3.- ACCESORIOS PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

1.3.1.1.- ACCESORIOS

“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. Entre los tipos de accesorios más comunes se puede mencionar:

- ❖ Bridas
- ❖ Codos
- ❖ Empacaduras
- ❖ Tés
- ❖ Reducciones
- ❖ Válvulas

1.3.1.2.- 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.

1.3.1.3.- 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.

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° :

1.3.1.4.- TES

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

1.3.1.5.- REDUCCIÓN

Son accesorios de forma cónica, fabricadas de diversos materiales y aleaciones. Se utilizan para disminuir el volumen del fluido a través de las líneas de tuberías. Para conectar cañerías de diferentes diámetros.

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. (5)



Fig. 1.3.1.5-1 Accesorios de Polipropileno

⁵ Accesorios Para Sistemas De Tuberías, MOTT R., Mecánica de Fluidos Aplicada, 4. Edición, México, Prentice – Hall Hispanoamericana S.A., 1996. Pp.

1.3.1.6.- VÁLVULA DE COMPUERTA

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.



<http://jonezkerro.blogspot.com/2011/05/valvulas-i.html>

Fig. 1.3.1.6-1. Válvulas de Tipo Compuertas

1.3.1.7.- VÁLVULA DE RETENCIÓN

Una válvula de retención con componente de sacrificio deja pasar uno o más líquidos, pero corta el paso a uno indeseado.

Una válvula de retención, instalada al revés en un tubo se mantiene abierta con un alambre o una placa de sacrificio que se disuelve con rapidez en el líquido indeseado. Cuando ocurre una mezcla de líquidos, se disuelve el componente de sacrificio, permite que se cierre la válvula de retención y se impida la contaminación corriente abajo. Un

componente de sacrificio se disuelve en el líquido indeseado, cierra la válvula de retención y corta el flujo. En donde pueden ocurrir mezclas, esta válvula brinda un margen de seguridad adicional.



<http://www.ballvalve.es/products/Swing-Check-Valve-Class-200-60.html>

Fig. 1.3.3.7-1. Válvulas de Tipo Retención

1.3.1.8.- VÁLVULA DE ASIENTOS O GLOBO

El uso principal de la válvula de globo es para estrangulación porque puede producir una caída repetible de presión en una amplia gama de presiones y temperaturas. Sin embargo, tiene baja capacidad y duración limitada del asiento debido a la turbulencia.

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.



Fig. 1.3.3.8-1. Válvulas de Tipo Asiento

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. (6)

1.3.1.9.- BOMBAS

La mayoría de las bombas pueden clasificarse como rotatorias, alternantes y centrífugas

1.3.1.9.1.- BOMBAS ROTATORIAS

Las bombas rotatorias incluyen aquellas bombas que combinan el movimiento de rotación de las partes con un desplazamiento positivo. Las partes giratorias se mueven en una caja de la bomba creando un espacio que primero se agranda succionando el fluido, después se sella, reduciéndose en volumen haciendo que el fluido pase a través de la compuerta de descarga a una presión más alta.



Fig. 1.3.1.9.1-1 Bomba Rotatoria

El tipo más común de este tipo de bombas es la bomba de engranajes, la cual es excelente para líquidos viscosos, no es recomendada para líquidos que tengan en suspensión material abrasivo. Estas bombas no poseen válvulas de retención.

⁶ Válvulas, www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/sistoleo/.../05-Valvulas.pdf

1.3.1.9.2.-BOMBAS ALTERNANTES

Estas bombas desarrollan una presión más alta por la acción directa o indirecta de un pistón sobre el fluido que se encuentra confinado en un cilindro forzando el fluido a través de las válvulas de descarga.

Estas bombas son mayoritariamente accionadas en forma neumática y en el caso de las bombas de acción directa el cilindro está en contacto directo con el fluido imprimiéndole a éste una presión elevada. Una bomba de un solo pistón dará un flujo pulsante, pero con una bomba de dos pistones el flujo puede ser suavizado. Estas bombas no son recomendadas para líquidos demasiado viscosos o que contengan material abrasivo en suspensión. Dentro de las bombas alternantes tenemos las bombas de diafragma, en las cuales el contacto con el fluido es indirecto a través de un diafragma flexible de caucho. El movimiento es transmitido por aire o por transmisión hidráulica.

Estas bombas al carecer de partes móviles, excepto el diafragma, son adecuadas para el transporte de líquidos corrosivos y con material sólido en suspensión. (7)



Fig. 1.3.1.9.2-1. Bombas Alternantes

⁷ Bombas Hidráulicas, BRITO, H. Texto Básico de Mecánica de Fluidos, Riobamba-Ecuador 2006. Pp.70-72

1.3.1.9.3.- BOMBAS CENTRÍFUGAS

Son las más comunes debido a su bajo costo, flujo uniforme, bajo costo de mantención y capacidad de manejar sólidos en suspensión.

Básicamente, la bomba centrífuga consiste en un impulsor que gira dentro de una caja, el líquido entra por el centro del impulsor y las aspas del impulsor empujan el líquido hacia fuera imprimiéndole una fuerza centrífuga”. (8)



Fig. 1.2.2.3-1. Bomba Centrífuga

1.3.1.10.- CAVITACIÓN

La cavitación es un fenómeno que consiste en la formación de burbujas de aire en la tubería que transporta el fluido debido a cambio de dirección del flujo (codos, válvulas, etc.). Se produce al ser forzada una corriente a cambiar de dirección, donde la reducción en la presión interna hace que los gases disueltos se expandan y se generen presiones negativas, formando una cavidad entre las superficie aguas abajo de un cuerpo móvil y el líquido con el cual está en contacto. La cavitación generalmente causa el desgaste de la estructura hidráulica afectada. La cavitación ocurre cuando la presión en la corriente del flujo alcanza la presión de vapor de agua. (9)

⁸ Bombas Centrífugas, <http://areamecanica.wordpress.com/Ingenieria-mecanica-curvas-caracteristicas-de-una-bomba-centrifuga.pdf>

⁹ Cavitación, <http://www.mch.cl/documentos/pdf/cavita.pdf>

1.3.1.11.- CURVA CARACTERÍSTICA, DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA

Se expresan mediante una curva construida sobre los ejes Q-H de caudal y altura. Los puntos de dicha curva son obtenidos en fábrica mediante el estrangulamiento de una válvula colocada a la salida de la bomba que simula un cerramiento paulatino de grifos hasta llegar al cierre total.

Los caudales y alturas correspondientes a distintas posiciones de la válvula son obtenidos mediante caudalímetros y manómetros, respectivamente. Por ejemplo en la curva Q-H de la figura 1.3.1-11-1 la bomba impulsando un caudal de 5 L/seg.

Lo eleva a 20 m de altura pero si, por estrangulamiento de la válvula de prueba, reducimos el caudal a 2 L/seg, Se elevará a 50 m y si la cerramos completamente el manómetro nos señalará 57 m de altura.

El rendimiento es el cociente entre dos potencias que conocemos y que son función del caudal Q, por tanto, estamos en disposición de trazar una curva, la del rendimiento en función del caudal Q. Tiene la forma mostrada en la siguiente figura. (10)

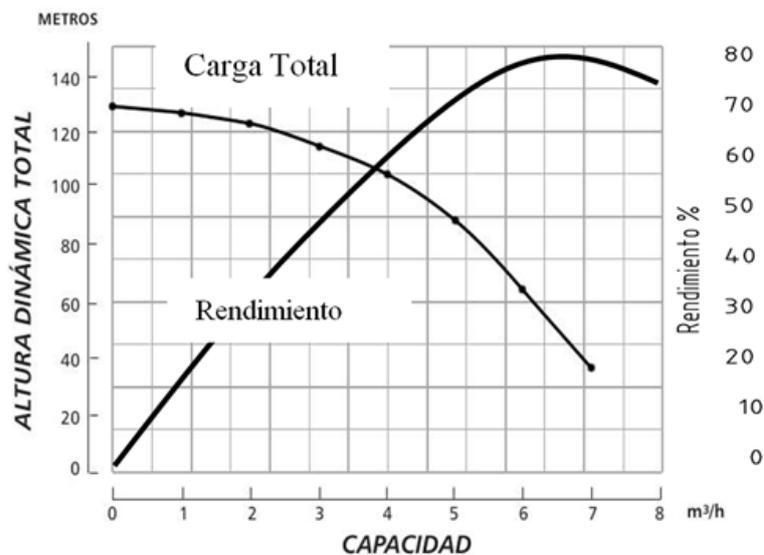


Fig. 1.3.1.11-1. Curvas Características de Bomba Centrífuga

¹⁰ Curva característica de una Bomba Centrífuga, http://www.unioviado.es/Areas/Mecanica.Fluidos/investigacion/_publicaciones/pdfs_libros/PDF_SistemasdeBombeo2.pdf

1.3.1.12.- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL POLIPROPILENO

El polipropileno surge comercialmente hablando como una alternativa de mercado, aparece abruptamente y en poco tiempo logra desplazar a materiales que, hasta entonces, dominaban el segmento que nos ocupa y por sus características comenzó a desplazar a las *tuberías metálicas* como el plomo, galvanizado, cobre, etc.

Proviene del petróleo, específicamente de la nafta o del gas de refinería, a partir de los cuales se obtiene otro gas que se llama propeno.

Desde ahí y en adelante, mediante la utilización de catalizadores especiales y dentro de un complejo circuito químico, se obtiene el polipropileno.

Visualmente tiene el tamaño de una lenteja y el color del arroz crudo.

La creadora del proceso de polimerización en fase gaseosa para polipropileno fue la BASF, puesta en marcha en el año 1967.

Podemos destacar en el polipropileno un correcto equilibrio entre sus propiedades químicas, físicas y ecológicas y por sobre todo el menor costo.

– CARACTERÍSTICAS

- Proceso simple
- Resistente a temperaturas elevadas
- Atoxicidad total
- Es inerte químicamente
- No absorbe ni condensa humedad
- Resistencia a la torsión
- Balance entre rigidez. Resistencia al impacto y abrasión

- Especificaciones Técnicas De Las Tuberías De Polipropileno

A continuación se detalla una serie de cuadros haciendo referencia a las especificaciones técnicas de la tubería utilizada en la presente tesis.

- Principios Físicos

Los tubos soportan una presión nominal (presión máxima a la que puede ser sometida un tubo a 30 C durante 50 años sin que se produzcan fallas) de 10 Kg/cm².

Su presión de rotura se encuentra en los 125 Kg/cm². (11)



Fig. 1.2.3.2-1. Tuberías de Polipropileno Plastigama

¹¹ Polipropileno ,<http://www.canalconstruccion.com/polipropileno-usos-y-caracteristicas.html>

1.4.- DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES (Rotámetro).

1.4.1.- PROPIEDADES FÍSICO – QUÍMICAS DEL FLUJO DE FLUIDOS

1.4.1.1.- CAUDAL (Q):

Es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Se pueden relacionar el caudal (Q), con la velocidad (v), a través del área transversal de flujo (A).

$$Q = A * v$$

Ec. 1.4.1.1-1

Dónde:

Q = Caudal (m^3/s).

A = Es el área (m^2).

V = Es la velocidad lineal promedio (m/s).

Su aplicación es muy importante para saber cuántos metros cúbicos de fluido están pasando en un segundo. Y poder determinar el tiempo necesario, en que se llenaran los tanques de almacenamiento de fluido.

1.4.1.2.- RAPIDEZ DE FLUJO DE MASA (W)

Es el peso del fluido que fluye por una sección por unidad de tiempo.

$$W = \rho * Q$$

Ec. 1.4.1.2-1

Donde:

W = Rapidez de flujo de peso (Kg/s).

ρ = Densidad del fluido (Kg/m^3).

Q = Caudal (m^3/s).

Su aplicación es para saber cuánta cantidad de masa esta transportándose en un segundo para realizar los cálculos relacionados al rendimiento de la bomba centrífuga.

1.4.1.3.- DENSIDAD (ρ):

Es una propiedad directamente relacionada con la masa y el volumen.

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

Ec.1.4.1.3-1

Donde:

ρ = Densidad (Kg/m³).

m= Masa (Kg).

V= Volumen (m³).

Su aplicación es importante porque es una cualidad física de cada sustancia, se puede aprovechar para separar sustancias.

1.4.1.4.- PESO ESPECÍFICO

Es una propiedad directamente relacionada con la densidad. Se define como:

$$\gamma = \rho * g$$

Ec.1.4.1.4-1

Donde:

γ = peso específico (N/m³).

ρ = Densidad (Kg/m³).

g = es la gravedad local (m/s²).

Su aplicación está relacionada con el peso que tiene un cuerpo con el volumen que este ocupa.

1.4.1.5.- VISCOSIDAD

Expresa la facilidad que tiene un fluido para fluir cuando se le aplica una fuerza externa.

La viscosidad absoluta de un fluido, es una medida de su resistencia al deslizamiento o a sufrir deformaciones internas, por lo tanto esta propiedad desempeña un rol primordial en la generación de la turbulencia de un fluido. Se pueden describir dos tipos de viscosidad:

1.4.1.5.1.- VISCOSIDAD ABSOLUTA O DINÁMICA (μ):

Su unidad en el Sistema Internacional (SI) es el newton segundo por metro cuadrado (N s/m^2), o sea kilogramo por metro segundo (Kg/m.s). El poise es la unidad correspondiente en el sistema CGS de unidades. El submúltiplo centipoise (cP), 10^{-2} poise, es la unidad más utilizada para expresar este tipo de viscosidad.

1.4.1.5.2.- VISCOSIDAD CINEMÁTICA (ν):

Es el cociente entre la viscosidad absoluta y la densidad. En el Sistema Internacional su unidad es el metro cuadrado por segundo (m^2/s). La unidad CGS correspondiente es el stoke (St), con dimensiones de centímetro cuadrado por segundo y el centistoke (cSt), 10^{-2} stoke, que es el submúltiplo más utilizado.

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

Ec.1.4.1.5.2-1

Donde:

ν = Viscosidad Cinemática

μ = Viscosidad Dinámica

ρ = Densidad (Kg/m^3).

1.4.1.6.- PRESIÓN (P)

1.4.1.6.1.-PRESIÓN HIDROSTÁTICA

La presión hidrostática es la presión debida al peso de un fluido en reposo. En un fluido en reposo la única presión existente es la presión hidrostática, en un fluido en movimiento además puede aparecer una presión hidrodinámica relacionada con la velocidad del fluido.

Un fluido pesa y ejerce presión sobre las paredes, sobre el fondo del recipiente que lo contiene y sobre la superficie de cualquier objeto sumergido en él. Esta presión, llamada presión hidrostática provoca, en fluidos en reposo, una fuerza perpendicular a las paredes del recipiente o a la superficie del objeto sumergido sin importar la orientación que adopten las caras.

Si el líquido fluyera, las fuerzas resultantes de las presiones ya no serían necesariamente perpendiculares a las superficies. Esta presión depende de la densidad del líquido en cuestión y de la altura a la que esté sumergido el cuerpo y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P = \rho * g * h + P_o$$

Ec.1.4.1.6-1

Dónde:

P = es la presión hidrostática (Pa).

ρ =es la densidad del líquido (Kg/m^3).

g = es la aceleración de la gravedad (mL/s^2).

h =es la altura del fluido (m).

P_o = es la presión atmosférica (Pa). (12)

Su aplicación se da mediante manómetro que son los dispositivos que determinan el gradiente de presión de un fluido, para el caso de medir gradientes de presión pequeños se utiliza manómetros diferenciales en forma de U (tubo capilar), uno de los extremos se conecta al fluido y el otro abierto a la atmósfera.

1.4.1.7.- TEMPERATURA (*T*)

Se define la temperatura como la capacidad de un sistema para transferir calor. Existen escalas de temperatura relativas, que toman como referencia propiedades y estados de sustancias, entre ellas la escala Centígrada o Celsius (°C) y la Farenheit (°F), en las que el punto de solidificación del agua a *1 atm*, corresponde a 0 °C y 32 °F, y el punto de ebullición del agua a *1 atm*, corresponde a 100 °C y 212 °F.

1.4.1.8.- DIÁMETRO INTERNO DE LA TUBERÍA

Es el diámetro del interior de la tubería por donde se va a transportar el fluido, se calcula restando el diámetro externo menos los espesores del material.

$$\phi_i = \phi_e - 2 * e$$

Ec. 1.4.1.8-1

Dónde:

ϕ_i = Diámetro interno de la tubería (m).

ϕ_e = Diámetro externo de la tubería (m).

e= Espesor de la tubería (m).

Su aplicación es esencial para calcular el área de la tubería.

Las tuberías se clasifican de acuerdo a su diámetro que comúnmente está normalizada en pulgadas.

1.4.1.9.- ÁREA DE LA TUBERÍA

Para el área de las tuberías se obtiene mediante el cociente entre el valor de π por el diámetro interno sobre el número cuatro.

$$A = \frac{\pi \phi_i^2}{4}$$

Ec. 1.4.1.9-1

Dónde:

A=Área de la tubería (m²).

ϕ_i = Diámetro interno de la tubería (m).

Su aplicación es esencial para calcular la velocidad del fluido.

1.4.1.10.- CÁLCULO DE LA VELOCIDAD

La velocidad es una magnitud física de carácter vectorial que expresa la distancia recorrida por el fluido por unidad de tiempo.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi \phi_i^2}$$

Ec. 1.4.1.10-1

Dónde:

v= velocidad del fluido (m/s).

Q= caudal del fluido (m³/s).

A= Área de la tubería (m²).

ϕ_i = Diámetro interno de la tubería (m).

Su aplicación es fundamental en el transporte de fluido a mayor velocidad habrá un mayor desgaste del espesor de la tubería, también existirá un desgaste en codos y otros accesorios debido al cambio de dirección del fluido.

1.4.1.11.- NÚMERO DE REYNOLDS (N_{Re})

Permite caracterizar la naturaleza del escurrimiento, es decir, si se trata de un flujo laminar o de un flujo turbulento; además, indica la importancia relativa de la tendencia del flujo hacia un régimen turbulento respecto a uno laminar y la posición relativa de este estado de cosas a lo largo de determinada longitud:

$$N_{RE} = \frac{\rho^* v^* \phi_i}{\mu}$$

Ec.-1.4.1.11-1

Dónde:

d = Diámetro de tubería (m).

v = Velocidad media (m/s).

u = Viscosidad dinámica (Kg/m.s).

ρ = Densidad (Kg/m³).

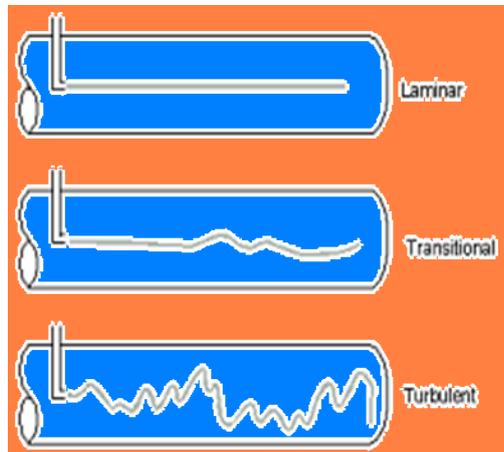


Fig. 1.3.1.8-1. Tipos de flujo en la tubería

Tabla 1.4.1.8-1
Condiciones según Reynolds

Tipo de flujo	Re
Flujo laminar	$Re \leq 2000$
Flujo transicional	$2000 > Re > 4000$
Flujo turbulento	$Re > 4000$

Fuente: Juan Saldarriaga, *Hidráulica de Tuberías*, pp. 8.

1.4.1.11.1.- FLUJO LAMINAR

“En el flujo laminar las partículas del fluido solo se mezclan a escala molecular, de modo que, durante el movimiento, dichas partículas se desplazan según trayectorias paralelas bajo la acción de la viscosidad. En la práctica, el flujo laminar se produce cuando el número de Reynolds no excede los valores de 1500 a 2000.

Es esencialmente ordenado, las líneas de corriente (capas) son paralelas entre sí.

1.4.1.11.2.- FLUJO TURBULENTO

En el flujo turbulento las partículas del fluido se mezclan a escala molar, de modo que durante el movimiento se produce un intercambio de cantidad de movimiento entre partículas adyacentes, ocasionando una rápida y continua agitación y mezcla en el seno del fluido. En la práctica el flujo turbulento se produce para números de Reynolds por encima de valores entre 6000 a 10000.

Es esencialmente caótico, las líneas de corriente se entrecruzan entre si y tienen formas diferentes.

1.4.1.11.3.- FLUJO EN TRANSICIÓN

Cuando el filamento de tinta empieza a hacerse inestable, con una serie de ondulaciones manifiestas. El caudal para el cual este fenómeno empieza a ocurrir depende de las condiciones del experimento; por ejemplo, si la turbulencia remanente en el tanque de entrada es baja, la transición demora en presentarse.

Su aplicación es importante para el diseño de equipos es el transporte de fluidos.

Mediante la determinación del flujo laminar y el flujo turbulento se puede determinar la pérdida de energía que se da en las tuberías.

1.4.2.- HIDRÁULICA EN TUBERÍAS

1.4.2.1.- PÉRDIDA DE ENERGÍA

También es llamada pérdida de carga, y es la pérdida de energía que experimentan los líquidos que fluyen en tuberías y canales abiertos. La energía necesaria para vencer los efectos del rozamiento en el flujo turbulento es la pérdida de carga. Las pérdidas de energía localizadas en las turbulencias incluidas por las piezas especiales y los accesorios que se utilizan en tuberías y canales son también pérdidas de carga. La pérdida de carga se representa habitualmente por el símbolo h_f o h_m .

1.4.2.2.- DINÁMICA DE FLUIDOS

Estudia las fuerzas que se desarrollan en un fluido en movimiento. Los conceptos fundamentales se utilizan en la derivación de las ecuaciones del movimiento de los fluidos. Estos son el Principio de Conservación de la Masa y las leyes de Newton.

1.4.2.3.- ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

La ecuación de continuidad expresa la conservación de la masa del fluido a través de las distintas secciones de un tubo de corriente, como muestra la figura 1.4.2.3-1. Con arreglo al principio de conservación de la masa, ésta no se crea ni se destruye entre las secciones A_1 y A_2 . Por lo tanto, la ecuación de continuidad será:

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = \rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2$$

Ec. 1.4.2.3 - 1

Dónde:

ρ = Densidad del fluido (kg/m^3).

A = Área de la sección transversal (m^2).

V = Velocidad (m/s).

Q = Caudal (m³/s).

Si el fluido es incompresible $\rho_1 = \rho_2$ entonces:

$$A_1V_1 = A_2V_2 = Q_1 = Q_2$$

Ec. 1.4.2.3-2

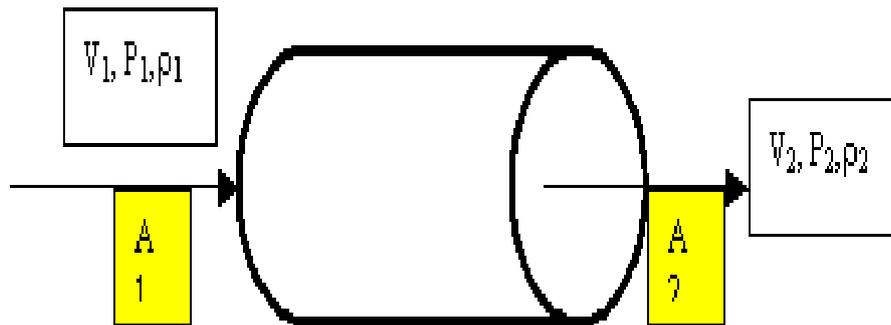


Fig. 1.4.2.3-1. Diagrama de un volumen de control

1.4.2.4.- ECUACIÓN DE BERNOULLI

Un fluido que fluye a través de cualquier tipo de conducto, como una tubería, contiene energía que consiste en los siguientes componentes: interna, potencial, de presión y cinética.

- **Energía interna:** la energía interna es la observación macroscópica de las energías moleculares, atómicas y subatómicas de las especies que entran y salen de un sistema.
- **Energía potencial:** es la energía que posee una masa de fluido en relación con un plano de referencia arbitrario.
- **Energía de presión:** esta energía es una medida del trabajo requerido para introducir el fluido en el sistema.
- **Energía cinética:** esta es la energía asociada con el movimiento.

1.4.2.5.- BALANCE DE ENERGÍA

“El balance de energía de un fluido que fluye en un ducto desde un punto 1 a un punto 2 está dado por la ecuación de BERNOUILLI.

$$\frac{Pa}{p} + \frac{gZ_a}{g_c} + \frac{V_a^2}{2g_c} = \frac{Pb}{p} + \frac{gZ_b}{g_c} + \frac{V_b^2}{2g_c}$$

Ec. 1.4.2.5-1

1.4.2.6.- CORRECCIÓN DE LA ECUACIÓN DE BERNOUILLI POR EFECTO DE LA FRICCIÓN

La fricción se manifiesta por la desaparición de energía mecánica. La fricción de un fluido, se puede definir como la conversión de energía mecánica en calor que tiene lugar en el flujo de una corriente. Para fluidos no compresibles, la ecuación de Bernoulli se corrige para tener en cuenta la fricción.

Se introducen los factores de corrección a a y a b para la energía cinética h f para la fricción.

La ecuación anterior se transforma en.

$$\frac{Pa}{p} + \frac{gZ_a}{g_c} + \frac{a_a V_a^2}{2g_c} = \frac{Pb}{p} + \frac{gZ_b}{g_c} + \frac{a_b V_b^2}{2g_c} + h_f$$

Ec. 1.4.2.6-1

h_f representa toda la fricción que se produce por unidad de masa de fluido, que tiene lugar para todos los puntos entre las posiciones a y b. Los demás términos de la ecuación representan las condiciones para posiciones específicas, es decir los puntos de entrada y salida. Cada uno de los términos de la ecuación tiene dimensiones de longitud.

1.4.2.7.- ECUACIÓN DE ENERGÍA

Un fluido en movimiento puede tener cuatro clases de energía: energía estática o de presión E_p , energía cinética E_v , energía potencial E_q y energía interna o térmica E_i . Si E_m representa la energía mecánica transferida al fluido (+) o desde él (-), por ejemplo mediante una bomba, ventilador o turbina, y E_h representa la energía térmica transferida al fluido (+) o desde él (-), la aplicación de la ley de conservación de energía entre los puntos 1 y 2 de la figura 1.4.2.7-1 da la siguiente ecuación:

$$(E_p + E_v + E_q + E_i)_1 \pm E_m \pm E_h = (E_p + E_v + E_q + E_i)_2 + \text{Perdidas}$$

Ec. 1.4.2.7-1

Las pérdidas en la ecuación 1.3.2.7-1 representan la energía no recuperable, por tratarse de formas de energía irreversibles causadas por rozamiento (por ejemplo, energía disipada en forma de calor o ruido).

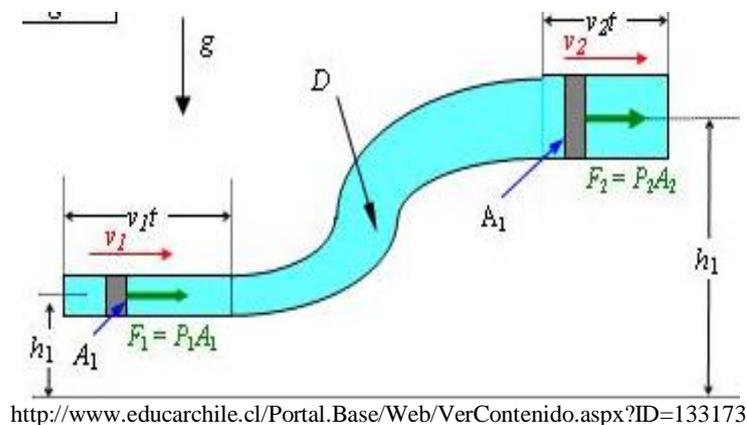


Fig. 1.4.2.7-1. Diagrama esquemático para la ecuación de la energía

Para un líquido incompresible, la expresión general anterior puede escribirse en la forma:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 \pm E_m \pm E_h = \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L$$

Ec. 1.4.2.7-2

Donde

P_1, P_2 = presión, (kN/m²).

γ = peso específico, (kN/m³).

g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).

Z_1, Z_2 = altura de elevación sobre el plano de referencia, (m).

K_L = pérdida de carga, (m).

El término pérdida de carga, h_L , representa las pérdidas y la variación de energía interna E_i

En el caso de un fluido ideal (sin rozamiento) y si no hay transferencia de energía mecánica, ni térmica, Ec. 1.4.2.7-2 se reduce a:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

Ec. 1.4.2.7-3

Que es la expresión más habitual de la ecuación de Bernoulli para un fluido incompresible.

En la figura 1.4.2.7-2 se muestra la aplicación de la ecuación de la energía o ecuación de Bernoulli al flujo en una tubería alimentada desde un depósito. La ecuación de la energía entre los puntos 1 y 2 será:

$$H = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + h_{en} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_{en} + h_{f1-2}$$

Ec. 1.4.2.7-4

Dónde:

H = carga total, m.

h_{en} = pérdida de carga en la embocadura, m.

h_{f1-2} = pérdida de carga por rozamiento en la tubería, entre los puntos 1 y 2, m.

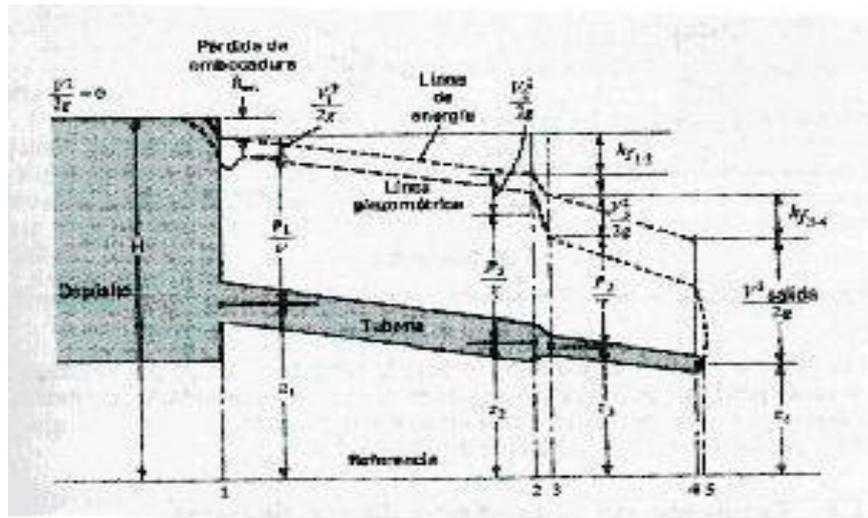


Fig.- 1.4.2.7-2 . Diagrama de la ecuación de energía aplicada a una tubería

Las bombas ofrecen otro ejemplo de aplicación de la energía, como se ve en la figura 1.4.2.7-2. En este caso, la ecuación de la energía entre los puntos 1 y 2 es:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + E_p = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

Ec. 1.4.2.7-5

El término pérdida de carga h_L está implícito en todas las aplicaciones de la ecuación de la energía al flujo de fluidos. En el caso de la ecuación 1.4.2.7-5, E_p representa la energía neta transferida por la bomba, una vez deducidas las pérdidas de carga que se ocasionan dentro de la misma. Se pueden utilizar varias ecuaciones para determinar h_L en función de consideraciones geométricas, características del fluido y caudal (tanto para flujo en canales abiertos como en tuberías).

El término pérdida de carga h_L incluye la pérdida de carga por rozamiento h_f y otras pérdidas de carga que ocurren en las discontinuidades geométricas del flujo (por ejemplo, estrechamientos, codos), y que se llaman *pérdidas secundarias*”.

La aplicación de 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.

1.4.2.8.- ECUACIÓN DE DARCY-WEISBACH

Alrededor de 1850, Darcy, Weisbach y otros dedujeron una fórmula para determinar la pérdida de carga por rozamiento en conducciones a partir de los resultados de experimentos efectuados con diversas tuberías. La fórmula ahora conocida como ecuación de Darcy-Weisbach para tuberías circulares es:

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

Ec. 1.4.2.8-1

Dónde :

- 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/s²).
- Q = caudal, (m³/s).

Se ha comprobado que el valor de f varía con el número de Reynolds N_{RE} , la rugosidad y tamaño de la tubería y otros factores.

Si se conoce o puede estimarse el valor de ϵ , puede obtenerse el valor correcto de f para flujo totalmente turbulento mediante las figuras 1.4.2.8-1 o Anexos I.

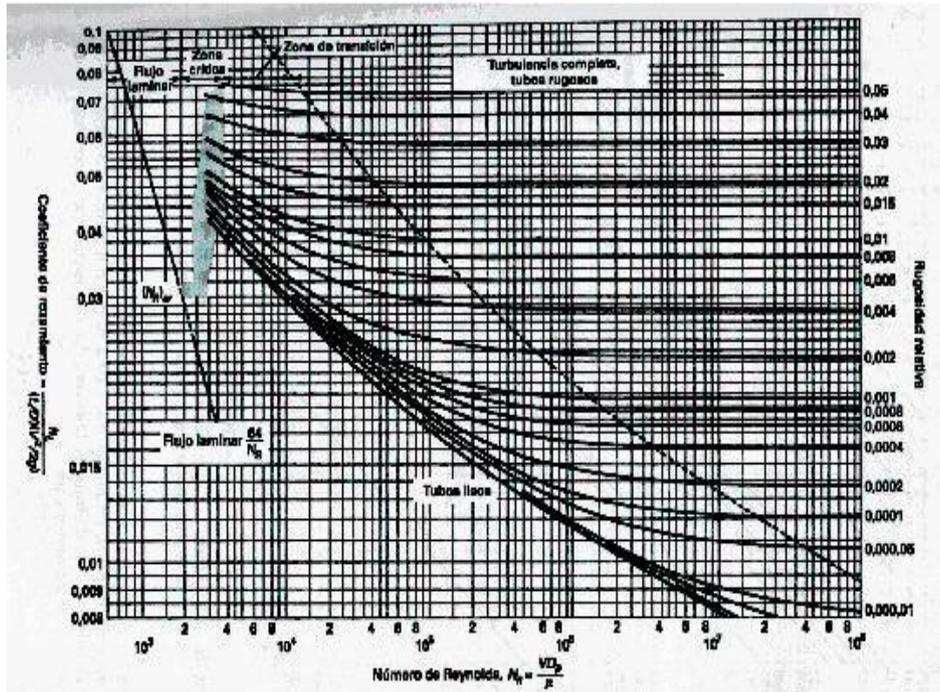


Fig. 1.4.2.8-1. Diagrama de Moody para coeficiente de rozamiento en función número de Reynolds y rugosidad relativa.

Si el flujo es laminar, la rugosidad no interviene y puede demostrarse teóricamente que:

$$f = 64/N_{RE}$$

Ec. 1.4.2.8.2

Donde:

f = Coeficiente de rugosidad Fanning.

N_{RE} = Número de Reynould.

1.4.2.9.- ECUACIÓN MODIFICADA DE COLEBROOK-WHITE

Se propuso en 1995 la ecuación modificada de Colebrook-White, para el cálculo del coeficiente de pérdidas en flujos turbulentos. Ésta es explícita, y los resultados obtenidos

con ella se ajustan suficientemente bien a los calculados con la fórmula implícita de Colebrook-White.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,7\phi_i} + \frac{5,74}{N_{Re}^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Ec. 1.4.2.9-1

Donde:

f = Factor de rugosidad Fanning.

ε = Rugosidad Relativa.

ϕ_i = Diámetro Interno de la tubería (m).

N_{RE} = Número de Reynould.

Su aplicación esta dentro del intervalo de rugosidad relativa, ε comprendido entre 1000 y 1×10^6 , y para números de Reynolds que van de 5×10^8 . Esta es virtualmente la zona de turbulencia completa del Diagrama de Moody.

También permiten calcular el factor de pérdidas por cortante en regímenes laminar, de transición y turbulento, de forma tal que al hacer los cálculos para el diseño de redes no existen problemas de convergencia y tuberías rugosas.

1.4.2.10.- CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS SECUNDARIAS

Las pérdidas de energía son proporcionales a la cabeza de velocidad del fluido al fluir este alrededor de un codo o a través de una válvula.

A estas pérdidas también se le conocen como secundarias o puntuales y se las puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$h_m = K * \frac{v^2}{2g}$$

Ec. 1.4.2.10-1

Dónde :

h_f = pérdida de carga secundarias

K = constante de accesorios

v = velocidad media

g = aceleración de la gravedad (9,81 m/s²).

Se aplicación permite determinar las pérdidas de energía que existirá al instalar un número determinado de accesorios, y que según sus valores se los podría reducir o rediseñar la trayectoria de la línea de tubería.

1.4.2.11.- CÁLCULO DE PÉRDIDAS TOTALES

En los sistemas de reales de transporte de fluidos contienen varias perdidas, así como perdidas de energía debido a la fricción y a la perdida por accesorios, conforme el fluido es entregado de un punto a otro.

$$h_T = h_l + h_m$$

Ec. 1.4.2.11-1

Dónde :

h_T = pérdidas totales

h_f = pérdida de carga primarias

h_f = pérdida de carga secundarias

1.4.2.12.- ECUACIÓN DE LA CARGA O ALTURA

Es la ecuación general de la energía, que es una expansión de la ecuación de Bernoulli, que hace posible resolver problemas de transporte de fluidos en los que se presentan pérdidas y adiciones de energía.

Para un sistema de flujo es necesario tomar dos puntos de referencia 1 y 2, de esta manera la ecuación se define de la siguiente manera:

$$H_T = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \Sigma H_{Tsd}$$

Ec. 1.4.2.12-1

Dónde :

H= altura

v_1 = velocidad en el punto de referencia 1 (m).

v_2 = velocidad en el punto de referencia 2 (m).

g = aceleración de la gravedad (9,81 m/s²).

Z_1, Z_2 = altura de elevación sobre el plano de referencia (m).

P_1, P_2 = presión en los puntos de referencia 1 y 2 (Pa).

h_T = pérdidas totales (m).

γ = peso específico (N/m³).

La aplicación de esta ecuación permite calcular el rendimiento de una bomba, también determina la altura a la cual puede llegar a descargar el fluido.

También permite seleccionar el tipo de bomba esto tiende a optimizar el rendimiento de la bomba, minimizando el consumo de energía.

Permite también graficar la curva de la bomba a diferentes caudales.

1.4.2.13.- ECUACIÓN DE LA POTENCIA CONSUMIDA POR LA BOMBA

La potencia se define como la rapidez con que se realiza un trabajo. En mecánica de fluidos es la rapidez con que la energía está siendo transferida.

$$H_p = \frac{H_T * W}{75 * \varepsilon} \quad \text{Ec. 1.4.2.13-1}$$

Dónde:

H_p = Potencia consumida por la bomba (Hp).

H_T = Altura o carga de la bomba (m).

W = Flujo de Peso (Kg/s).

ε = Rendimiento (0,75).

Su aplicación es para saber con exactitud qué tipo de bomba se va a utilizar y cuál va ser su potencia pues las mismas están clasificadas de acuerdo a la potencia añadida al fluido.

1.4.2.14.- ECUACIÓN DE LA EFICIENCIA MECÁNICA DE LA BOMBA CENTRÍFUGA

La eficiencia se utiliza para denotar el cociente de la potencia transmitida por la bomba al fluido entre la potencia suministrada a la bomba, ya que no toda la potencia suministrada a la bomba es transmitida al fluido, entonces para calcular la eficiencia tenemos:

$$E = \frac{H_p}{0,5} * 100 \quad \text{Ec. 1.4.2.14-1}$$

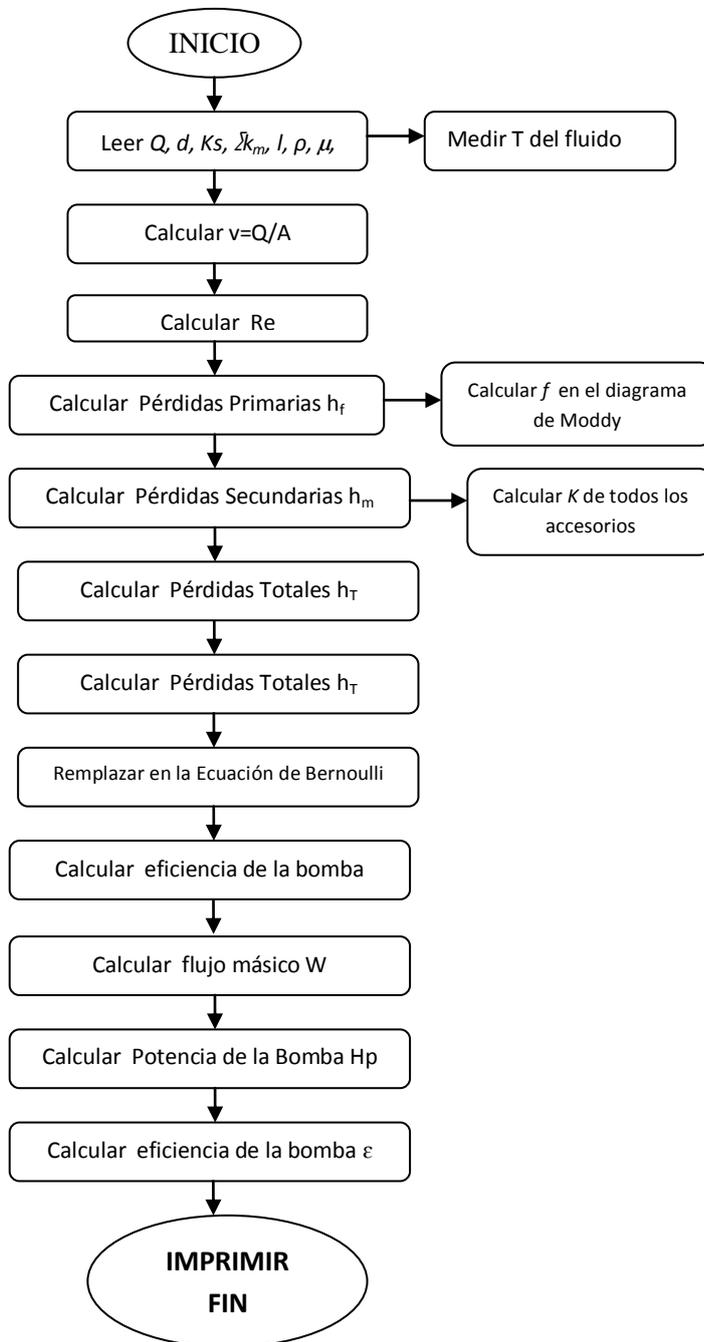
Dónde:

E = Rendimiento de la Bomba centrífuga (%).

H_p = Potencia consumida por la bomba (Hp).

Su aplicación permite conocer cuanta energía se está transfiriendo al fluido así como la energía que se está perdiendo.

1.4.2.15.- ESQUEMA RESUMIDO PARA EL DISEÑO DE TRANSPORTE DE FLUIDOS



CAPITULO II

PARTE

EXPERIMENTAL

2.- PARTE EXPERIMENTAL

En el estudio se emprendió los respectivos análisis de laboratorio del fluido y equipos realizados con anterioridad para establecer los parámetros de partida, de esta forma encontrar las condiciones óptimas y necesarias que nos ayudaran para el mejor dimensionamiento del equipo (Sistema de transporte de fluidos), el mismo que presenta características ejemplares y empleara como fuente de energía una bomba centrífuga, y así poder obtener una medición eficiente de caudales mediante la utilización del Rotámetro.

2.1.- PLAN DE MUESTREO

Para el muestreo correspondiente se procedió a fijar las condiciones de operación del equipo como el nivel del fluido presente en el tanque de descarga y las alturas de carga que fueron constantes.

El plan de muestreo a utilizar es simple de cada prueba aleatoria se tomó dos datos que fueron de presión y de caudal, con una frecuencia de 2 veces por día con un intervalo de caudal de 0,20 m³/h y su respectivo valor de presión.

Con un total de 8 datos para caudales y presión en cada una de las línea de tubería.

2.2.- METODOLOGÍA

2.2.1.- MÉTODOS

El presente estudio utilizó recursos teóricos como experimentales para obtener apropiadamente la metodología adecuada a través de la implementación del proyecto de diseño, selección y aplicación de todos los accesorios y componentes necesarios para el transporte de fluido en respuesta a las posibles interrogantes que se puedan presentar en el transcurso de la construcción del sistema de transporte de fluidos.

2.2.1.1.- INDUCTIVO

Tras una primera etapa de observación, análisis, y cálculo de ingeniería realizado en el “Equipo de Optimización y Estudio del Equipo de Bombeo de Líquido e Identificación de la Ecuación que rige este Fenómeno”, se observó que dicho equipo contenía 5 líneas de tuberías, accesorios, válvulas de P.V.C., y hierro galvanizado, en condiciones de desgaste. Se realizó la toma de datos: diámetros de la tubería correspondiente a 1 plg; $\frac{3}{4}$ plg y $\frac{1}{2}$ plg , longitud de la tubería de 1,15 m de entrada y descarga de 3,54 m. Así como las dimensiones del tablero de 2 m de ancho por 1,5 m de alto.

También se realizó como punto de partida los cálculos de ingeniería dando una eficiencia promedio de 5,6 %. Así también se analizó los accesorios que presentaban un desgaste y deterioro, las propiedades físicas del fluido, y las variables indicadoras; temperatura, densidad.

Generalizando estudios y experimentos actuales se utilizó materiales de calidad que involucre una buena transportación del fluido y facilite la aplicación de cálculos de mecánica de fluidos para una mayor trazabilidad en los resultados. Facilitando las mejores condiciones para el diseño en base a estos datos.

2.2.1.2.- DEDUCTIVO

Mediante la aplicación de este método se hizo factible llevar al equipo a la comprobación y demostración de principios de Cálculos Básicos, Leyes Mecánica de Fluidos y Operaciones Unitarias.

El equipo de Transporte de Fluidos cuenta con materiales resistentes a la corrosión e incrustaciones, de acuerdo a los resultados físico-químicos del fluido. Y el dimensionamiento del soporte estructural de Acero inoxidable cuyas dimensiones son 2,50 m de largo; 1,80 m de alto y 0,50 m de ancho, compacto y flexible para su traslado.

Con la validación del equipo, presenta una eficiencia máxima del 29,6 %, y un caudal óptimo $3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$, permitiendo realizar los cálculos de ingeniería y obteniendo pérdidas de 0,081 m a 4,062 m por fricción que es fácilmente apreciada en los manómetros de las líneas de tuberías. Permitiendo obtener la curva característica de la bomba centrífuga.

2.2.1.3.- ANALÍTICO

Los análisis de esta investigación a nivel de laboratorio son: Determinación del pH, conductividad, dureza, temperatura, densidad, y viscosidad dinámica del fluido así como el análisis de los diferentes diámetros de la tubería.

De manera que todos estos datos son obtenidos a nivel de laboratorio, para la evaluación y construcción del equipo.

2.2.2.- TÉCNICAS

La técnica a utilizar para determinar la dureza del agua con la que trabajaremos consta con los siguientes procedimientos.

2.2.2.1.- TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS DEL FLUIDO

Los métodos que se utilizaron están adaptados al manual “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater” (Métodos Normalizados para el análisis de Aguas Potables y Residuales).

TABLA 2.2.2.1- 1

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS DEL FLUIDO

pH Electrométrico	Electrométrico	En este ensayo se hace uso del electrodo de cristal
DUREZA	Volumétrico	Tomar 50 mL de muestra + 1 mL de buffer de dureza + una porción de negro de ericromo T en polvo, valoramos con EDTA (mL valorados x 20).
CONDUCTIVIDAD	Electrométrico	Tomar el dato luego de la lectura con el conductímetro.

FUENTE: CAIBE F., LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICO, FACULTAD DE CIENCIAS, ESPOCH, 2011

2.2.2.2.- DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO- QUÍMICOS DEL FLUIDO (AGUA)

2.2.2.2.1.- DETERMINACIÓN DEL PH DE AGUA

TABLA 2.2.2.2.1 – 1

POTENCIAL DE HIDRÓGENO pH

SATANDARD METHODS* 4500-HB

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
El pH es el parámetro que nos indica la alcalinidad o acidez del agua, en un escala numérica de 1 a 14. Si el agua es ácida el pH es menor a 7, si es básica mayor a 7, si es igual a 7 es neutro.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ pHmetro digital. ➤ Un vaso de precipitación de 250mL. 	Soluciones buffer pH 4 y pH 7 y pH 10	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Verificar que el pHmetro este calibrado utilizando las soluciones buffer (el siguiente orden 4,7 y 10 de pH) estas que se encargan de realizar pequeños cambios de su potencial de estado y mantener a este. ➤ Colar el electrodo dentro del vaso. ➤ Leer directamente el valor en el equipo. 	Lectura directa

*STANDARD METHODS 2550 Edición 17.

2.2.2.2.- DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD DEL AGUA

TABLA 2.2.2.2 – 1
CONDUCTIVIDAD

STANDARD METHODS* 2510

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
<p>Es la capacidad de una solución para transportar corriente eléctrica, depende de la presencia de iones y su concentración total, de su movilidad valencia y sus concentraciones relativas así como de la temperatura.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conductimetro ➤ Vaso de precipitado de 250mL 		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Colocar la muestra problema en un vaso de precipitación y vertimos en el recipiente que trae el conductimetro. ➤ Tomar la lectura en el conductimetro el cual trae tres diferentes escalas (0-1, 0-10, 0-100 NTU) 	<p>Lectura directa</p>

*STANDARD METHODS 2550 Edición 17.

2.2.2.2.3.-DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA

TABLA 2.2.2.2.3 – 1

DUREZA TOTAL

STANDARD METHODS* 2340-C

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
<p>La dureza total mide la capacidad del agua para consumir jabón. Las aguas duras son usualmente menos corrosivas que las blandas.</p> <p>Contienen sales de calcio y magnesio que están disueltos generalmente en forma de carbonatos que por calentamiento pueden formar bicarbonatos que son la causa de incrustación en los sistemas de transporte de agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Probeta de 100mL. ➤ Pipeta de 1mL. ➤ Vaso de precipitado de 250mL. ➤ Agitador ➤ Magnético. ➤ Magnetor 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Muestra problema ➤ Buffer de dureza ➤ Negro de deriocromo T. ➤ Solución de EDTA 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tomar 50mL de agua. ➤ Adicionar 1mL de buffer de dureza. ➤ Agregar una pequeña porción de negro deriocromo T. ➤ Valorar con la solución de EDTA. ➤ Leer el valor de Titulación. 	<p>mL valorados por 20</p>

*STANDARD METHODS 2340 Edición 17.

2.2.2.2.4.- DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AGUA

TABLA 2.2.2.2.4 - 1

DENSIDAD DEL AGUA

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
<p>La densidad de los líquidos se mide de una manera similar a como se midió la densidad de los sólidos. En este caso también se emplearán el método: del <i>picnómetro</i>. Esto permite determinar la densidad de un fluido, en referencia a un fluido de densidad conocida como el agua. Sirve para medir la densidad de líquidos no viscosos</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza ➤ Picnómetro 10ml ➤ Probeta 20ml 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tomar 10 ml de muestra de aceite vegetal usado en una probeta. ➤ Colocar el picnómetro vacío en la balanza y anotar su peso (P1). ➤ Añadir la muestra de aceite al picnómetro y tapanlo. ➤ Colocar el picnómetro con muestra en la balanza y anotar su peso (P2). Realizar la diferencia de pesos y dividir por la capacidad del picnómetro. 	$\rho = \frac{(P1 - P2)}{Vp}$ <p>Donde: d = densidad (g/ml) P1 = picnómetro vacío (g) P2 = picnómetro con muestra (g) Vp = volumen del picnómetro (ml)</p>

2.2.2.2.5.- DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD DEL AGUA

**TABLA 2.2.2.2.5 - 1
DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD DEL AGUA**

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
<p>La medida de la viscosidad de un fluido representa la resistencia que presentan al fluir.</p> <p>Antes de ejecutar la medida se debe realizar algunas medidas con distintos instrumentos:</p> <p>El diámetro de una bola que tiene forma esférica con un calibre o con un micrómetro. Emplear una probeta de volumen especificado. Finalmente, con un cronómetro se mide el tiempo que tarda la pequeña esfera en recorrer una distancia dada en el interior de la probeta vertical que contiene el fluido.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Probeta de 25 ml ➤ Bola metálica ➤ Cronometro ➤ Flexómetro ➤ Calibrador pie de rey ➤ Balanza 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Colocar la bola metálica en la balanza y anotar su peso. ➤ Determinar el diámetro de la bola metálica con un calibrador. ➤ Añadir agua (10 ml) a la probeta e introducir la bola y observar el aumento de volumen en la probeta. ➤ Añadir aceite vegetal (10 ml) a la probeta y con el flexómetro determinar la distancia a recorrer. ➤ Introducir la bola a la probeta y con un cronometro determinar el tiempo que se demora en recorrer la bola una distancia dada en la probeta. ➤ Repetir el mismo procedimiento varias veces hasta obtener un valor constante. 	$\mu = \frac{2g(\rho_{sol} - \rho_{liq})r^2}{9v}$ <p>Dónde:</p> <p>V_l= velocidad limite (cm/s) g = gravedad especifica (m/s²) d = densidad del sólido y liquido (g/ml) μ = viscosidad dinámica (g/cm.s) r = radio de la bola metálica</p>

2.3.- DATOS EXPERIMENTALES

TABLA 2.3 - 1

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DEL FLUIDO (Agua)

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS
pH	Und.	7,54
Conductividad	μ Siems/cm	1245,0
Dureza (CaCO ₃)	mg/L	536,0
Densidad	Kg/m ³	997,5
Viscosidad Dinámica	Kg/m.seg	1,17*10 ⁻³

Fuente: LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICO, FACULTAD DE CIENCIAS, ESPOCH, 2011

2.3.1.- DIAGNÓSTICO

El análisis se lo realizó con la finalidad de determinar la calidad del fluido con la que va a circular por Sistema de Transporte de Fluidos, para lo cual, se construyó con los mejores materiales y para que no exista mayor desgaste en los mismos.

De acuerdo al análisis físico - químico del fluido que se presenta en la Tabla 2.3 – 1 y en el Anexo III se consideró que el agua de laboratorio es muy dura ocasionando a un futuro incrustaciones en los equipo que funcionan con fluidos como el agua, por tal motivo y para la conservación del Equipo de Transporte de fluidos para la Medición de Caudales (Rotámetro) se considerará que los materiales deben ser de alta resistencia a la corrosión galvánica, química, bacteriana y atmosférica.

2.3.2.- DATOS

2.3.2.1.- DATOS EXPERIMENTALES

TABLA 2.3.2.1-1
DATOS EXPERIMENTALES

PARÁMETRO	VALOR
Altura del nivel de líquido	0,80 m
Longitud de tubería de succión	1,15 m
Diámetro de tubería de descarga	0,0452 m
Longitud de tubería de succión	3,54m
Diámetro de tubería de descarga	0,0127 m
Largo de soporte de tubería	2 m
Altura de soporte de tubería	1,5 m
Eficiencia del Equipo	19,6 %

Fuente: Tesis “Equipo de Optimización y Estudio del Equipo de Bombeo de Líquido e Identificación de la Ecuación que rige este Fenómeno”

2.3.2.2.- DATOS ADICIONALES

TABLA 2.3.2.2 - 1

DATOS ADICIONALES PARA EL DISEÑO DE SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES (ROTÁMETRO).

PARÁMETRO	VALOR
Densidad del Fluido; ρ	998,2 Kg/m ³
Peso Específico del Agua ; γ	9,80 kN/m ³
Viscosidad Cinemática del Fluido; ν	1,2 *10-6 m ² /s

Fuente: CAIBE F., 2012

TABLA 2.3.2.2 - 2

RUGOSIDAD ABSOLUTA PARA DIFERENTES MATERIALES

Rugosidad absoluta (ϵ) para diferentes materiales de tuberías	
Material	ϵ (mm)
Vidrio	0,0003
PVC, CPVC	0,0015
TUBERÍA DE POLIPROPILENO	0,0015
GRP	0,03
Asbesto cemento	0,03
Acero	0,046
Hierro forjado	0,06
Hierro fundido asfaltado	0,12
Hierro galvanizado	0,15
Hierro fundido	0,15
Hierro dúctil	0,25

Fuente: Juan Saldarriaga, Hidráulica de Tubería.

TABLA 2.3.2.2 - 3

Propiedades físicas del Agua, a 1 at

$t, ^\circ\text{C}$	ρ Kg/m ³	μ 10 ⁻³ Kg/ m·seg	C_p Kcal/ Kg·°C	k Kcal/ mh·°C	β 10 ⁻⁴ °C ⁻¹	λ Kcal/Kg	ν 10 ⁻⁶ m ² /seg	α 10 ⁻⁷ m ² /seg	$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$	$\frac{g}{\alpha \nu^3}$ 10 ¹² m ⁻³
0	999,8	1,794	1,008	0,491	—	596,4	1,794	1,35	12,2	40,4
10	999,7	1,310	1,002	0,504	0,88	590,9	1,310	1,40	9,4	53,5
20	998,2	1,009	0,9995	0,517	2,07	585,5	1,011	1,44	7,02	67,4
30	995,7	0,800	0,9986	0,530	3,04	580,0	0,803	1,48	5,43	82,4
40	992,2	0,654	0,9987	0,543	3,85	574,5	0,659	1,52	4,33	97,7
50	988,1	0,549	0,9982	0,555	4,60	568,9	0,556	1,56	3,56	113,0
60	983,2	0,470	1,000	0,567	5,21	563,2	0,478	1,60	2,98	228,1
70	977,8	0,407	1,001	0,580	5,86	557,3	0,416	1,65	2,53	143,2
80	971,8	0,357	1,003	0,592	6,41	551,3	0,367	1,69	2,18	158,2
90	965,3	0,317	1,005	0,604	7,00	545,3	0,328	1,73	1,90	172,6
100	958,4	0,284	1,008	0,616	7,48	539,0	0,296	1,77	1,67	186,9
110	951,0	0,256	1,011	0,628	7,9	532,6	0,269	1,81	1,48	201
120	943,4	0,232	1,014	0,640	8,4	525,9	0,246	1,86	1,32	215
130	935,2	0,212	1,017	0,652	9,0	519,0	0,227	1,90	1,19	227
140	926,4	0,196	1,020	0,664	9,7	511,9	0,212	1,95	1,08	236
150	917,3	0,184	1,024	0,676	10,4	504,5	0,201	2,00	1,00	245
160	907,5	0,174	1,027	0,688	11,0	496,9	0,192	2,05	0,935	250

2.3.2.3.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS TUBERÍAS DE POLIPROPILENO

A continuación se detalla una serie de cuadros haciendo referencia a las especificaciones técnicas de la tubería utilizada en la presente tesis.

TABLA 2.3.2.3 - 1

DIÁMETROS DE LAS TUBERÍAS DE POLIPROPILENO

Diámetro Nominal en Pulgadas	Diámetro Externo en mm	Espesor de pared en mm	Sección de Paso en cm ²	Presión Nominal Kg/cm ²
1/2	21,36	3,40	1,66	10
3/4	26,90	3,90	2,87	10
1	33,70	4,90	4,48	10

Fuente: Manual técnico de Productos Plastigama.

TABLA 2.3.2.3 - 2

PRINCIPIOS FÍSICOS

Valores de rugosidad (mm)	0,007
Coefficiente de fricción	0,0147474
Presión de rotura (Kg/cm ²)	125

Fuente: Manual técnico de Productos Plastigama.

TABLA 2.3.2.3 - 3

COEFICIENTES PARA PÉRDIDAS EN ACCESORIOS Y CODOS

Diámetro Nominal en pulgadas	Codo a 90°	Codo a 45°	Curvas a 90°	TEE a 90° paso recto	TEE a 90° salida	Válvula de Compuerta	Válvula Esférica
1/2	0,60	0,40	0,25	0,20	0,90	0,21	0,25
3/4	0,75	0,45	0,35	0,25	1,20	0,15	0,25
1	0,90	0,55	0,35	0,27	1,50	0,20	0,25
1 1/4	1,20	0,80	0,45	0,40	1,80	0,25	0,25

Fuente: Manual técnico de Productos Plastigama.

TABLA 2.3.2.3 - 4

EQUIVALENCIAS DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA POR REDUCCIÓN DE DIÁMETROS DE LOS TUBOS

Reducción	4"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1 1/4"	1"	3/4"
1/2	0,38	0,34	0,32	0,31	0,24	0,21	0,18	0,10
3/4	0,36	0,33	0,32	0,30	0,25	0,20	0,12	
1	0,35	0,32	0,28	0,26	0,23	0,17		

Fuente: Manual técnico de Productos Plastigama.

CAPITULO III

DISEÑO

3.- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES (RÓTAMETRO).

3.1.- GENERALIDADES

Para el diseño de un sistema de transporte de fluidos para la medición de caudales se debe tener en cuenta las propiedades físico-químicas del fluido para utilizar los mejores materiales que ayudaran a la preservación del mismo.

Para conseguir mejores resultados necesitaremos un tanque de succión y descarga que contenga un volumen de fluido necesario para evitar cavitación en la bomba.

Las líneas de tubería tendrán una longitud mínima que permita la una excelente toma de datos con el mínimo consumo de energía en la bomba centrífuga.

El cálculo principal en el diseño del equipo es la altura de carga, en función del caudal, aunque existen otros parámetros importantes, los caudales para determinar el tipo de flujo (laminar o turbulento), pérdidas de presión por fricción y accesorios.

Para calcular todos estos datos se comenzó con los parámetros conocidos: las condiciones de presión y temperatura (P y T), alturas (z), longitud (l) y diámetro de las tuberías (d).

3.2.- CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES (RÓTAMETRO).

3.2.1.- DIMENSIONAMIENTO DEL SOPORTE ESTRUCTURAL

La mejor forma permitirá observar todos los instrumentos, accesorios y manipularlos, además en la parte intermedia derecha se colocara la bomba y en la parte intermedia izquierda estará el tanque de descarga y succión.

Las dimensiones del soporte estructural son: la base de 250 cm, la altura de 175 cm y el ancho de 50 cm y altura a la parte derecha e izquierda será de 55 cm.

TABLA 3.2.2 -1

DIMENSIONES RECOMENDADAS PARA EL SOPORTE ESTRUCTURAL DEL EQUIPO

Estructura	Dimensiones
Largo	250 cm
Altura	175 cm
Ancho	50 cm
Altura a la parte derecha e izquierda	55 cm

Fuente: CAIBE F., 2012

En el Anexo III se observa las vistas isométricas, las dimensiones y otras características de la manera más detallada.

3.2.2.- CRITERIOS DE LAS LÍNEAS DE TUBERÍA PARA EL SISTEMA TRANSPORTE DE FLUIDOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES.

Cada elemento; como el tanque (alimentación y descarga), la tubería de succión, la tubería de descarga fluido tiene un función importante en la operación exitosa de un bomba centrífuga.

La tubería de succión debe ser corta y nunca tener un diámetro menor en la succión de la bomba.

La descarga del líquido sobre la superficie del tanque de alimentación puede causar que se transporte aire a la entrada a la bomba.

3.2.3.- CRITERIOS DE LAS DIMENSIONES DEL TANQUE DE ALIMENTACIÓN, BOMBA Y ROTÁMETRO.

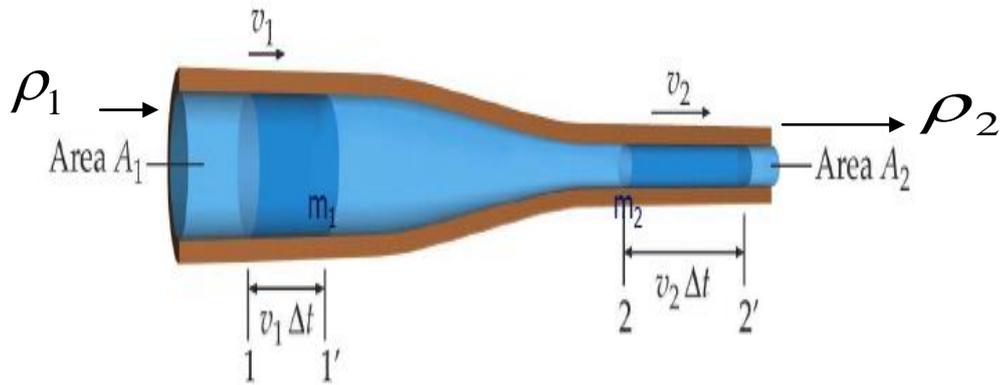
El tanque de alimentación y descarga debe ser de material con una alta resistencia a la tracción, material duro y muy resistente a los golpes.

La bomba centrífuga presentará la más calidad en resistencia y rendimiento, junto con características que impidan la corrosión de la misma.

El rotámetro también será de la más calidad en resistencia y rendimiento para garantizar la trazabilidad de los datos de caudal.

3.3.- BALANCES DE MASA Y ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

$$\text{Entrada} = \text{Salidas} + \text{Acumulación}$$



Gráf.- 3.3-1. Balance de Masa en Tuberías

En el transporte de fluidos se trabaja con velocidades de flujo y casi siempre con estado estable, la velocidad de acumulación es cero y se obtiene:

$$\text{Velocidad de entrada (Succión)} = \text{Velocidad de Salida (Descarga)}$$

En la figura 3.3-1 es una representación del sistema de flujo en donde el fluido entra a las Sec.1 con una velocidad promedio v_1 de 0,991 m/s y una densidad ρ_1 de 998,2 Kg/m³. El área de la sección transversal es A_1 igual a 0,00045 m², el fluido sale por la Sec. 2 que tiene un área A_2 de 0,00029 m² con una velocidad promedio v_2 de 1,551 m/s.

El balance de masa es:

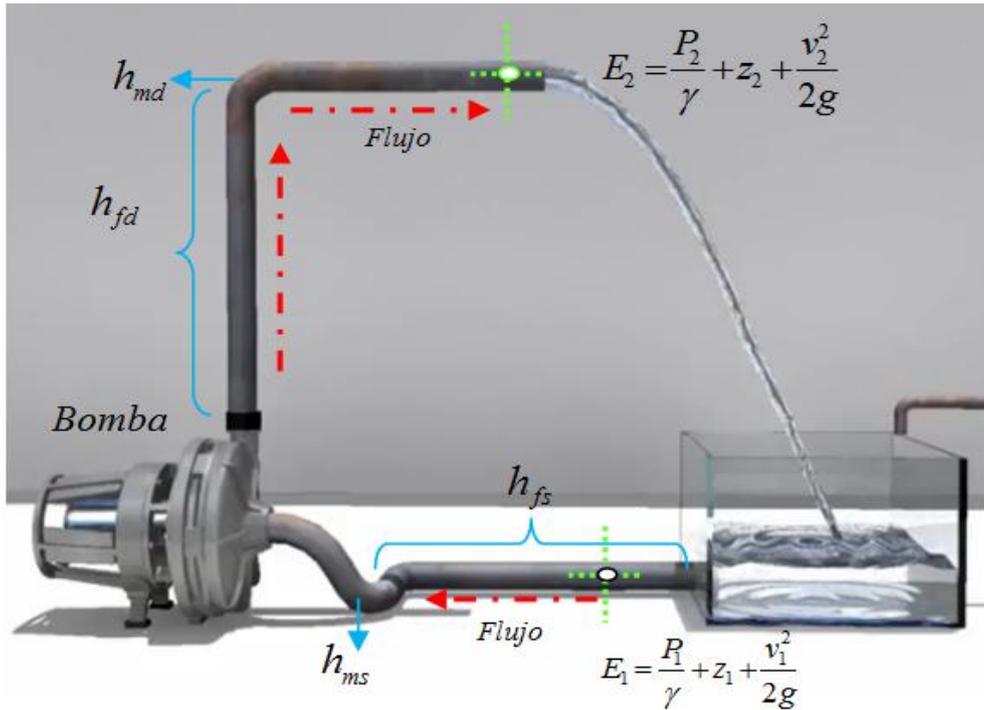
$$m = 998,2 * 0,00045 * 0,991 = 998,2 * 0,00029 * 1,551$$

3.4.- BALANCES DE ENERGÍA

Es una expansión de la ecuación de Bernoulli, permite resolver los cálculos en los que presentan pérdidas y adiciones de energía.

La Conservación de la energía es:

$$E_1 + h_A + h_R + h_L = E_2$$



Gráf.- 3.4-1. Balance de Energía en Tuberías

$$E = \frac{\rho}{\gamma} + z + \frac{v^2}{2g}$$

$$E = \frac{998,2}{9782,36} + 1,18 + \frac{1,551^2}{2 * 9,8}$$

$$E = 1,34 \text{ m}$$

$$\frac{141901,57}{9782,36} + 1,182 + \frac{0,991^2}{2 * 9,8} + 0,360 + 0,225 = \frac{72954,0}{9782,36} + 0 + \frac{1,551^2}{2 * 9,8}$$

$$16,32 \text{ m} = 16,32 \text{ m}$$

3.5.- CÁLCULOS

3.5.1.- CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL TANQUE DE ALIMENTACIÓN Y DESCARGA

Para determinar el volumen del tanque tomamos el caudal máximo de la bomba y el tiempo de un minuto multiplicado por un factor (factor que sirve para dar la inmersión adecuada de la tubería).

De la Ecuación 1.3.2.2 – 2 se tiene:

$$Q_{\max} = 0,04m^3 / \text{min}$$

$$K = 1,875$$

$$V = K * Q_{\max} * t$$

$$V = 1,875 * 0,04$$

$$V = 0,075 m^3$$

Las medidas del tanque están especificadas en la tabla 3.8-1.

La altura del tanque hay que aumentar debido a que el agua va estar en movimiento continuo para evitar que se derrame quedando la altura total de 0,48 m.

3.5.2.- CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD DINÁMICA DEL FLUIDO

De la Ecuación 1.4.1.5-1 se tiene:

$$\mu = \frac{2g(\rho_{sol} - \rho_{liq})r^2}{9v}$$

$$\mu = 1 * 10^{-3} \text{ kg/m*s}$$

3.5.3.- CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL FLUIDO

De la Ecuación 1.4.1.3-1 se tiene:

$$\rho = \frac{(P_1 - P_2)}{V_p}$$

$$\rho = \frac{(P_1 - P_2)}{V_p}$$

$$\rho = 998,2 \text{ Kg}/m^3$$

3.5.4.- CÁLCULO DEL PESO ESPECÍFICO

De la Ecuación 1.4.1.4-1 se tiene:

$$\gamma = \rho * g$$

$$\gamma = 998,2 * 9,8$$

$$\gamma = 9782,36 \text{ N}/m^3$$

3.5.5.- CÁLCULO DEL DIÁMETRO INTERNO DE LA TUBERÍA

De la Ecuación 1.4.1.8-1 se tiene:

Diámetro interno de succión:

$$\phi_{is} = \phi_e - 2e$$

$$\phi_{is} = 0,0254 - 2 * 0,0007$$

$$\phi_{is} = 0,024 \text{ m}$$

Diámetro interno descarga:

$$\phi_{id} = \phi_e - 2e$$

$$\phi_{id} = 0,0195 - 2 * 0,0007$$

$$\phi_{id} = 0,019 \text{ m}$$

3.5.6.- CÁLCULO DEL ÁREA DE LA TUBERÍA

De la Ecuación 1.4.1.9-1 se tiene:

Área de Succión:

$$A_s = \frac{\pi * \phi_i^2}{4}$$

$$A_s = \frac{\pi * 0,024^2}{4}$$

$$A_s = 0,00045 \text{ m}^2$$

Área de Descarga:

$$A_s = \frac{\pi * 0,019^2}{4}$$

$$A_s = 0,00029 \text{ m}^2$$

3.5.7.- CÁLCULO DE LA VELOCIDAD

De la Ecuación 1.4.1.10-1 se tiene:

Velocidad de Succión:

$$v_s = \frac{Q}{A} = \frac{4 * Q}{\pi * \phi_i^2}$$

$$v_s = \frac{0,00044}{0,00045}$$

$$v_s = 0,991 \text{ m/s}$$

Velocidad Descarga:

$$v_s = \frac{0,00044}{0,00029}$$

$$v_s = 1,551 \text{ m/s}$$

3.5.8.- CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS

De la Ecuación 1.4.1.11-1 se tiene:

Reynolds Succión:

$$N_{Re} = \frac{\rho * v * \phi_i}{\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{998,2 * 0,991 * 0,024}{1,009 * 10^{-3}}$$

$$N_{Re} = 23423,68$$

Reynolds Descarga:

$$N_{RE} = \frac{998,2 * 1,551 * 0,019}{1,009 * 10^{-3}}$$

$$N_{RE} = 29310,26$$

3.5.9.- CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGAS PRIMARIAS

De la Ecuación 1.4.2.8-1 se tiene:

Pérdidas Primarias Succión:

$$h_{fs} = f * \frac{L * v^2}{\phi_{is}^2 * g}$$

$$h_{fs} = 0,024 * \frac{2,580 * 0,991^2}{0,024^2 * 9,8}$$

$$h_{fs} = 0,135 \text{ m}$$

Fanning Succión:

De la Ecuación 1.3.2-9 se tiene:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,7\phi_i} + \frac{5,74}{N_{Re}^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{0,0000015}{3,7 * 0,0191} + \frac{5,74}{29310,26^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,024$$

Pérdidas Primarias Descarga:

$$h_{fd} = f \frac{L * v^2}{\phi_{id}^2 * g}$$

$$h_{fd} = 0,025 * \frac{8,785 * 1,551^2}{0,019^2 * 9,8}$$

$$h_{fd} = 1,341 \text{ m}$$

Fanning Descarga:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{0,0000015}{3,7 * 0,0239} + \frac{5,74}{23423,68^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,025$$

3.5.10.- CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS SECUNDARIAS

De la Ecuación 1.4.2.10 se tiene:

Pérdidas secundarias Succión:

$$h_{ms} = K * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{ms} = 4,5 * \frac{0,991^2}{2 * 9,8}$$

$$h_{ms} = 0,225 \text{ m}$$

Pérdidas secundarias Descarga:

$$h_{md} = 19,23 * \frac{1,551^2}{2 * 9,8}$$

$$h_{md} = 2,361 \text{ m}$$

3.5.11.- CÁLCULO DE PÉRDIDAS TOTALES SUCCIÓN

$$h_{Ts} = h_{fs} + h_{ms}$$

$$h_{Ts} = 0,135 + 0,225$$

$$h_{Ts} = 0,360 \text{ m}$$

3.5.12.- CÁLCULO DE PÉRDIDAS TOTALES DERCARGA

$$h_{Td} = h_{fd} + h_{md}$$

$$h_{Td} = 1,341 + 2,361$$

$$h_{Ts} = 3,701 \text{ m}$$

3.5.13.- CÁLCULO DE PÉRDIDAS TOTALES

$$h_{Tsd} = h_{Ts} + h_{Td}$$

$$h_{Tsd} = 0,360 + 3,701$$

$$h_{Tsd} = 4,062 \text{ m}$$

3.5.14.- CÁLCULO DE LA CARGA O ALTURA

Ecuación que rige el fenómeno:

$$H_T = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + h_{Tsd}$$

Donde:

$$P_{abs} = P_{manométrica} + P_{atmosférica}$$

$$P_{abs} = 68947,57 + 72954$$

$$P_{abs} = 141901,57 \text{ Pa}$$

$$P_{atmosférica} = 10,58 \text{ psi} = 72954 \text{ Pa}$$

$$P_{manométrica} = 10 \text{ psi} = 68947,57 \text{ Pa}$$

$$H_T = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + h_{Tsd}$$

$$H_T = \frac{1,551^2}{2 \cdot 9,8} + (1,182 - 0) + \frac{141901,57 - 72954,0}{9782,36} + 4,062$$

$$H_T = 12,41 \text{ m}$$

3.5.15.- CÁLCULO DEL FLUJO DE MASA

De la Ecuación 1.4.1.2-1 se tiene:

$$W = \rho \cdot Q$$

$$W = 998,2 \cdot 4,44E - 04$$

$$W = 0,44 \text{ Kg / s}$$

3.5.16.- CÁLCULO DE LA POTENCIA CONSUMIDA POR LA BOMBA

De la Ecuación 1.3.2-14 se tiene:

$$Hp = \frac{H_r * W}{75 * \varepsilon}$$

$$Hp = \frac{12,41 * 0,44}{75 * 0,75}$$

$$Hp = 0,098$$

3.5.17.- CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA CENTRÍFUGA

De la Ecuación 1.3.2-15 se tiene:

$$E = \frac{Hp}{0,5} * 100$$

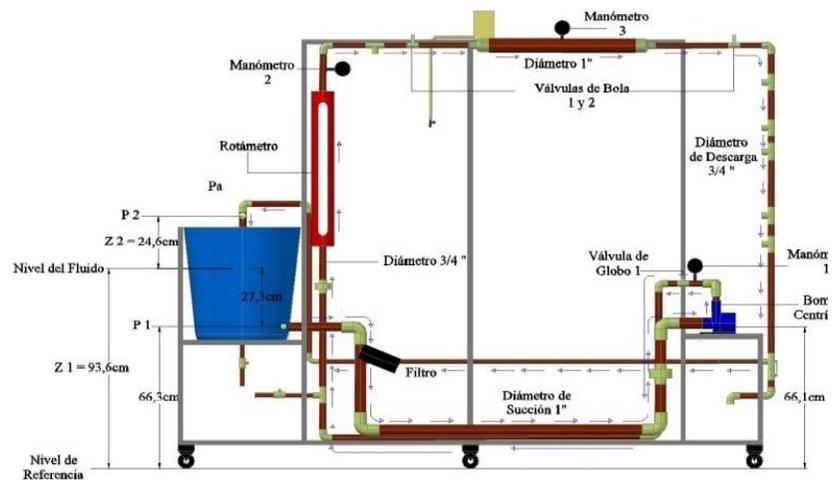
$$E = \frac{0,098}{0,50} * 100$$

$$E = 19,6 \%$$

3.6.- RESULTADOS

TABLA 3.6 -1

RESULTADOS DE SISTEMA DE TUBERÍA N= 1



CAUDALES	Q (m ³ /s)	H _T (m)	ε (%)
Q1	0,00044	12,41	19,6
Q2	0,00039	15,70	21,7
Q3	0,00033	19,81	23,4
Q4	0,00028	24,03	23,7
Q5	0,00022	28,37	22,4
Q6	0,00017	32,14	19,0
Q7	0,00011	35,31	13,9
Q8	0,00006	39,33	7,8

Fuente: CAIBE F., 2012

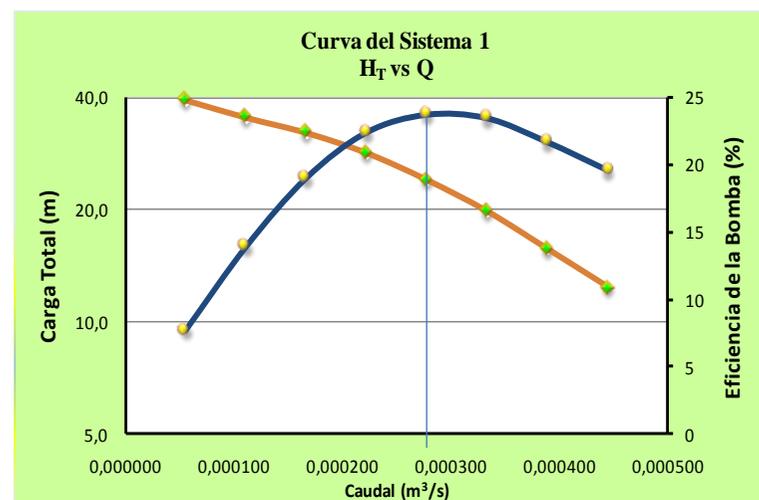
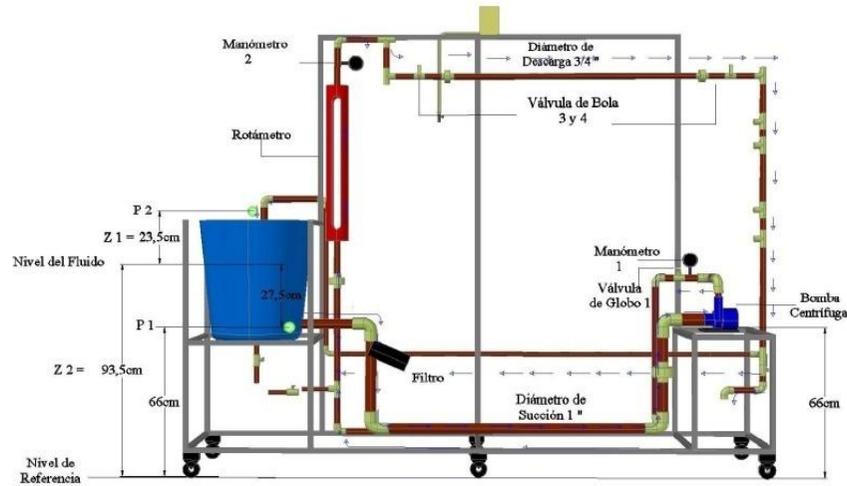


TABLA 3.6 – 2

RESULTADOS DE SISTEMA DE TUBERÍA N= 2



CAUDALES	Q (m ³ /s)	H _T (m)	ε (%)
Q1	0,00033	19,16	22,7
Q2	0,00028	22,66	22,3
Q3	0,00022	26,99	21,3
Q4	0,00017	30,04	17,8
Q5	0,00011	33,21	13,1
Q6	0,00006	35,10	6,9

Fuente: CAIBE F., 2012

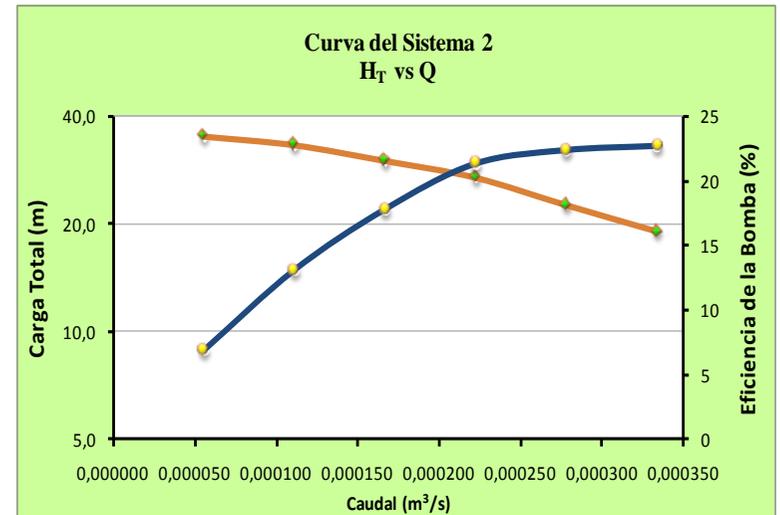
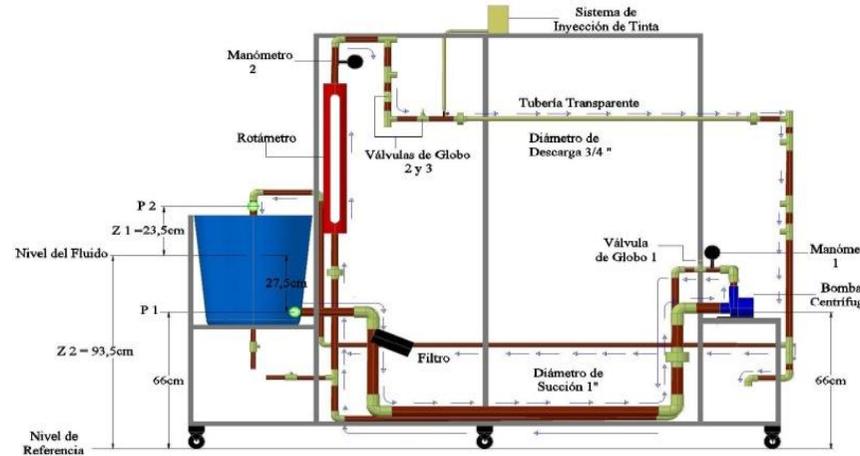


TABLA 3.6 – 3

RESULTADOS DE SISTEMA DE TUBERÍA N= 3



CAUDALES	Q (m ³ /s)	H _T (m)	ε (%)
Q1	0,00047	14,32	24,0
Q2	0,00039	18,50	25,5
Q3	0,00033	21,20	25,1
Q4	0,00028	24,02	23,7
Q5	0,00022	28,36	22,4
Q6	0,00017	30,01	17,8
Q7	0,00011	33,90	13,4
Q8	0,00006	36,50	7,2
Q9	0,00004	37,88	5,6
Q10	0,00003	39,26	3,9

Fuente: CAIBE F., 2012

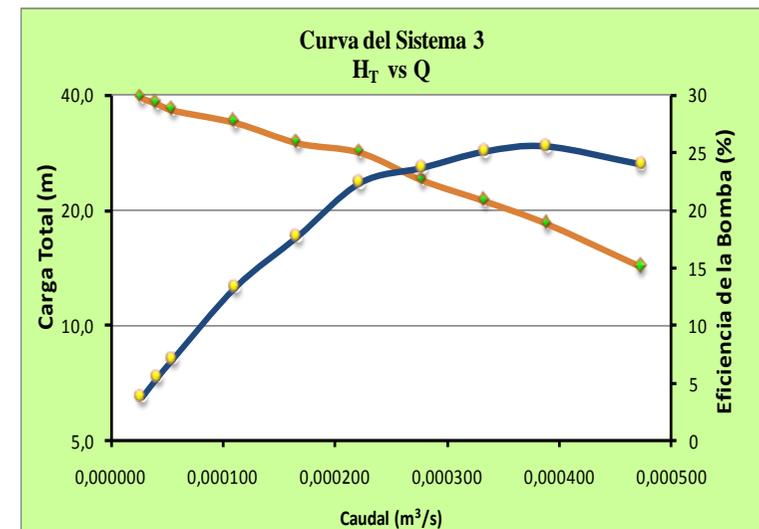
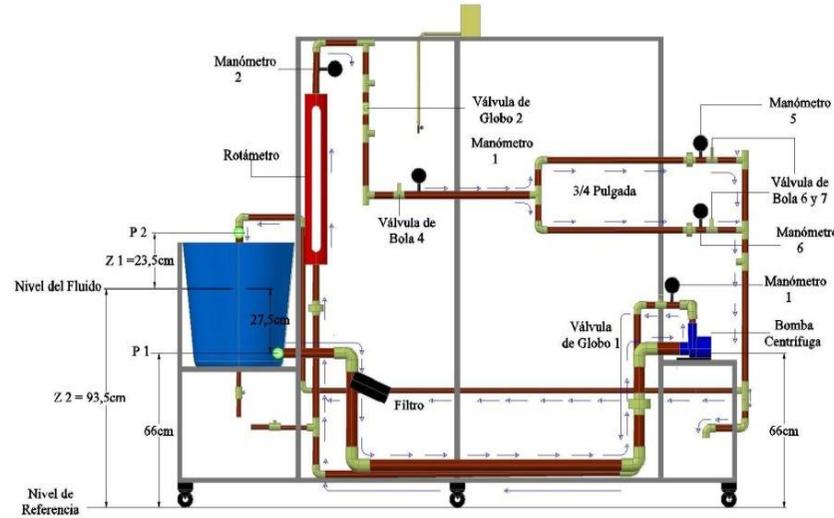


TABLA 3.6 – 4

RESULTADOS DE SISTEMA DE TUBERÍA N= 4



CAUDALES	Q (m ³ /s)	H _T (m)	ε (%)
Q1	0,00044	14,48	22,8
Q2	0,00039	16,20	22,4
Q3	0,00033	19,47	23,0
Q4	0,00028	29,92	29,5
Q5	0,00022	27,83	21,9
Q6	0,00017	30,11	17,8
Q7	0,00011	33,24	13,1
Q8	0,00006	36,51	7,2

Fuente: CAIBE F., 2012

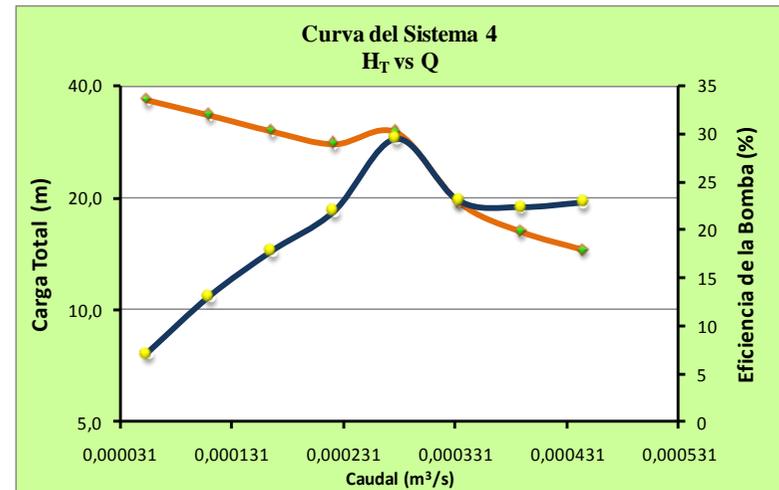
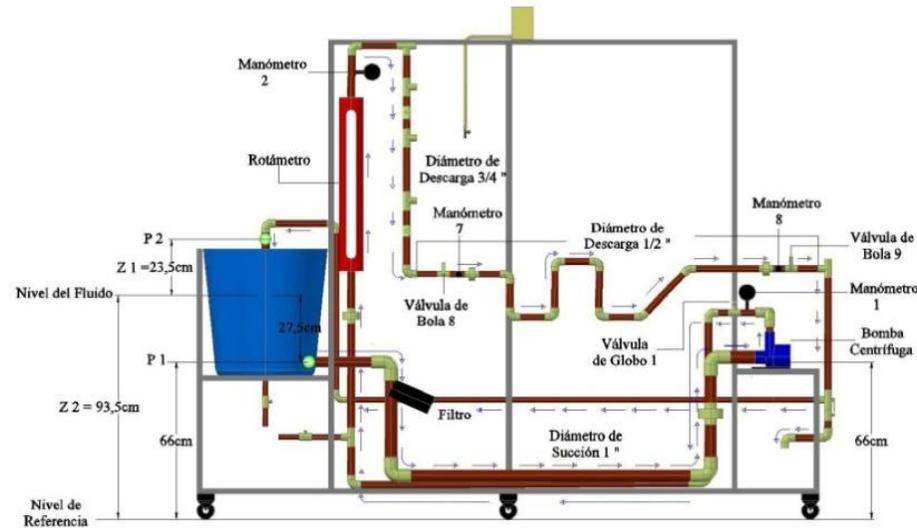


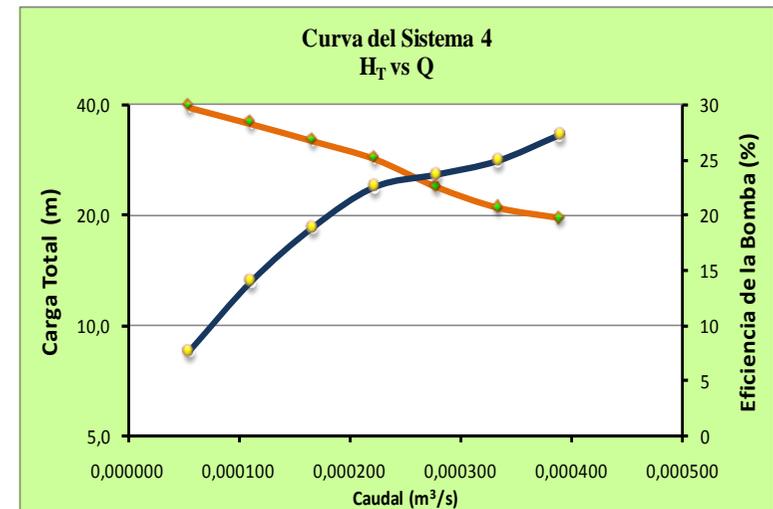
TABLA 3.6 – 5

RESULTADOS DE SISTEMA DE TUBERÍA N= 5



CAUDALES	Q (m ³ /s)	H _T (m)	ε (%)
Q1	0,00039	19,71	27,2
Q2	0,00033	21,02	24,9
Q3	0,00028	23,97	23,6
Q4	0,00022	28,54	22,5
Q5	0,00017	31,93	18,9
Q6	0,00011	35,54	14,0
Q7	0,00006	39,38	7,8

Fuente: CAIBE F., 2012



3.7.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a los resultados de Dureza CaCO_3 de 536,0 mg/L, y Conductividad de 1245,0 $\mu\text{Siems/cm}$, valores sumamente altos, para lo cual, los materiales a emplearse cumplirán estándares de calidad, porque ayudarán a contrarrestar corrosión del mismo.

Analizando el rendimiento en cada una de las líneas de tubería, el mayor rendimiento está presente en línea número 4 con un valor de 29,5% y un caudal óptimo de 0,00028 m^3/s , el cual, se ve afectado por que la capacidad de la bomba es mucho mayor (40 L/min) y el ϕ_i de la tubería no permite que todo este flujo circule, por esta razón se pierde en su rendimiento.

Se evidencia la pérdida de energía de 5,74 m (línea 5), porque existe mayor cantidad de accesorios, por lo cual, las pérdidas secundarias son más relevantes que las primarias.

Existe un flujo turbulento muy alto en la línea 5, con un Número de Reynold de 33551,21, esto se da porque, a menor diámetro la velocidad es mayor presentando un flujo sumamente caótico.

Interpretando cada una de las curvas, se aprecia que a un Q_{\min} de 0,2 m^3/h (6,66 L/min), existe una altura de carga alta 39,38 m y aproximadamente constante que a medida que el Q aumenta la H_T desciende a 12,41 m.

Los gráficos obtenidos demuestran que la curva de la bomba centrífuga es aceptable por tienen la misma proyección que establece la teoría y manuales, demostrando buen funcionamiento del equipo, garantizando que se puede realizar las prácticas en el mismo.

3.8.- PROPUESTA DE DISEÑO

TABLA 3.8-1

DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

DESCRIPCIÓN	VARIABLE	INDICADOR
ESTRUCTURA DE SOPORTE		
Material	Acero AISI 304	---
Altura	1,88	m
Ancho	0,50	m
Largo	2,50	m
TANQUE DE ALIMENTACIÓN		
Material del Tanque	Plástico	--
Diámetro del Tanque	0,45	m
Altura del Tanque	0,48	m
Base del Tanque	0,5	m
BOMBA CENTRÍFUGA		
Capacidad Máxima	40,0	L/min
Cabeza de Descarga	40,0	m
Potencia	0,50	Hp
Peso Neto	5,3	Kg
Diámetro de Succión	1	pulgada
Diámetro de Descarga	1	pulgada
Dimensiones Generales	265 x 120 x 155	mm
ROTÁMETRO		
Capacidad Máxima	4,0	m ³ /h
Capacidad Mínima	0,4	m ³ /h
Material	Plástico	--
Temperatura de trabajo	0 - 60	C
TUBERÍA ACRÍLICA		
Diámetro Externo	26,90	mm

Fuente: CAIBE F., 2012

3.9.- DISEÑO DE SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDO PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES (Rotámetro).

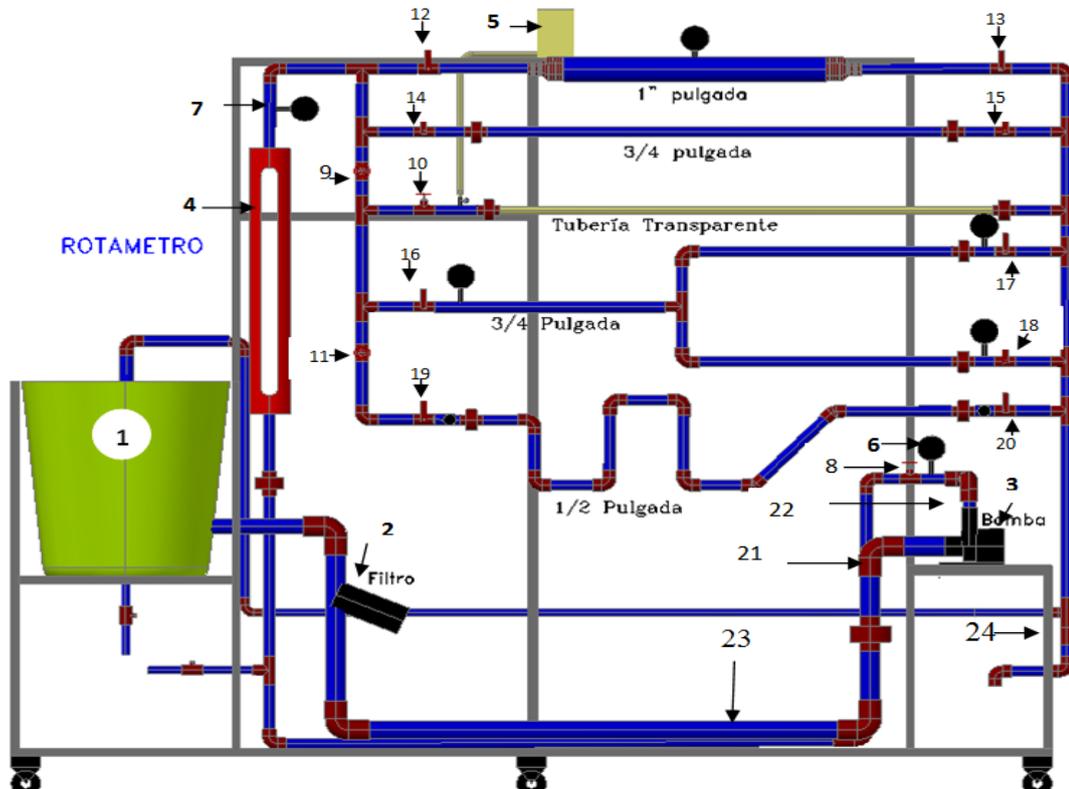


TABLA 3.9-1
LISTA DE ACCESORIOS DEL EQUIPO DE TRANSPORTE DE FLUIDOS
PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES

1.- Tanque de Alimentación	13.- Válvula de Bola 2 de 3/4
2.- Filtro	14.- Válvula de Bola 3 de 3/4
3.- Bomba Centrífuga	15.- Válvula de Bola 4 de 3/4
4.- Rotámetro	16.- Válvula de Bola 5 de 3/4
5.- Sistema de Inyección de Tinta	17.- Válvula de Bola 6 de 3/4
6.- Manómetro 1	18.- Válvula de Bola 7 de 3/4
7.- Manómetro 2	19.- Válvula de Bola 9 de 1/2
8.- Válvula de Globo 1 de 3/4	20.- Válvula de Bola 10 de 1/2
9.- Válvula de Globo 2 de 3/4	21.- Tubería de Succión de 1
10.- Válvula de Globo 3 de 3/4	22.- Tubería de Descarga 3/4
11.- Válvula de Globo 4 de 3/4	23.- Válvula Check 3/4
12.- Válvula de Bola 1 de 3/4	24.- Válvula de Bola 11 de 4/3

Fuente: CAIBE F., 2012

3.10.- CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE FLUIDOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES

❖ Estructura del Soporte de la Tubería

Una vez analizadas las dimensiones que tendrá el equipo se puso en marcha primero la construcción del soporte de la tubería. Debido a las características físico-químicas del fluido y para evitar su desgaste se utilizó Acero Inoxidable.

Para la construcción del soporte se compró tres tubos de Acero Inoxidable ANSI 304 de 1 x 1 pulgada. También un metro cuadrado de Tol en Acero Inoxidables brillante ANSI 304 de 0,3 mm de espesor para las bases de soporte de la bomba y del tanque de alimentación.

Se colocó también cuatro garruchas que facilitara el traslado del equipo para su utilización.

❖ Tanque de Alimentación y descarga

El tanque de alimentación y descarga es de plástico el mismo que tienen una resistencia a la tracción, es un material duro y muy resistente a los golpes.

❖ Filtro

La bomba y las líneas de transporte de fluidos necesitan de un filtro, para poder funcionar en óptimas condiciones y que no provoquen obstrucciones por las partículas que existen en el agua. El filtro será de malla plástica, para un caudal de 40 L/min y un área filtrante de 100 cm².

❖ **Bomba Centrífuga**

Realizado el análisis de acuerdo a las bombas que existen en el mercado se seleccionó la que garantice un mejor funcionamiento y duración, para lo cual, se adquirió la bomba centrífuga PAOLO modelo PKM60-1 que será la ideal para este sistema.

Esta bomba centrífuga se colocó a la misma altura del tanque de alimentación y descarga. Adicionará energía mecánica al fluido con un flujo volumétrico de 40 L/min.

❖ **Rotámetro**

Para la medición de caudales en el sistema de transporte de fluidos se empleó un rotámetro de la marca Cibas Meter, modelo LZS1 el mismo que fue importado desde USA, será de acrílico para tener una mejor visibilidad directa del caudal que fluye a través del sensor de caudal.

XBcon montaje vertical. En el Anexo IV se observa las propiedades físicas.

❖ **Tubería Acrílica**

En la línea número 3 se demostrará el Número De Reynolds, para lo cual se empleará una tubería acrílica, compacta y resistente a la presión hidrostática que existirá en su interior.

Para la demostración del Régimen de laminar o turbulento las dimensiones de la tubería acrílica es de $\frac{3}{4}$ de pulgada y de 1,10 metros de longitud.

Debidamente enroscada al sistema y que soporte la presión en su interior también se adaptará a esta tubería el sistema de inyección de tinta.

❖ **Manómetros**

Se instaló un manómetro a la salida de la bomba con el fin de indicar la diferencia de presión en la misma. En cada una de las líneas de tubería también fueron instalados manómetros de diferente escala. Los manómetros tienen un rango de 0 hasta 100 psi y una resolución de 2 psi.

❖ **Sistema de Inyección de Tinta**

Analizando las condiciones de diseño se estableció que el equipo para la inyección de tinta sea el que se utilizaba para la limpieza de parabrisas de automóviles, demostrando de una manera técnica el Régimen de Flujo.

El cual utiliza un sistema electrónico que controlara la inyección de tinta dentro del fluido fluyendo en la tubería acrílica transparente y permitirá observar prácticamente el número de Reynolds.

❖ **Selección de Tubería y Accesorios**

El tipo de tubería y accesorios que se utilizó es de material de Polipropileno de la marca Plastigama, garantizando de esta manera calidad y durabilidad.

La selección del diámetro de tubería para el sistema de transporte de fluidos será de 1 plg para la succión, y de $\frac{3}{4}$ plg para la descarga, y de $\frac{1}{2}$ para la línea número 5.

Válvula de retención (check) es usada para evitar el flujo invertido de la circulación.

Válvula de compuerta 1 controlara el flujo volumétrico para la obtención de datos, las demás controlaran el flujo en las demás líneas.

❖ Sistema de Tubería N= 1

Para el sistema de tubería número 1 se instaló una línea de succión de 1 plg, una línea de descarga de $\frac{3}{4}$ de plg y una línea media de 1 plg con la finalidad de observar la caída de presión en dicha punto.

Este sistema cuenta también con tres manómetros de 0 a 100 psi de presión.

❖ Sistema de Tubería N= 2

Para el sistema de tubería número 2 se instaló una línea de succión de 1 plg, una línea de descarga de $\frac{3}{4}$ de plg, esta línea contiene dos diferentes diámetro.

Este sistema cuenta también con dos manómetros de 0 a 100 psi de presión.

❖ Sistema de Tubería N= 3

Para el sistema de tubería número 3 se instaló una línea de succión de 1 plg, una línea de descarga de $\frac{3}{4}$ de plg.

En este sistema se instaló la línea que demuestra un flujo laminar o turbulento, mediante la instalación de un tubo acrílico transparente enroscado a sus accesorios.

La línea 3 contiene el sistema de inyección de tinta.

Contiene también dos manómetros de 0 a 100 psi, tres válvulas de compuerta que reduce el flujo volumétrico para observar un flujo laminar.

❖ Sistema de Tubería N= 4

Para el sistema de tubería número 4 se instaló una línea de succión de 1 plg, una línea de descarga de $\frac{3}{4}$ de plg.

En este sistema se instaló una línea de tubería en paralelo enroscado a sus accesorios con la finalidad de demostrar experimentalmente la disminución de presión que existe en línea en paralelo.

Contiene también 5 manómetros de 0 a 100 psi, dos válvulas de compuerta y 3 válvulas de bola.

❖ Sistema de Tubería N= 5

Para el sistema de tubería número 5 se instaló una línea de succión de 1 plg, una línea de descarga de $\frac{3}{4}$ de plg y una línea media encrucijada de $\frac{1}{2}$ plg con 6 codos de 90° y 2 codos de 45° con la finalidad de observar experimentalmente la caída de presión por accesorios.

Contiene también 2 manómetros de 0 a 100 psi, 2 manómetros de 0 a 50 psi, 2 válvulas de compuerta y 2 válvulas de bola de $\frac{1}{2}$ plg.

En el Anexo V y VI se muestran las vistas isométricas de equipo.

3.11.- ANÁLISIS DE COSTOS

3.11.1.- RECURSOS MATERIALES

TABLA 3.11.1-1

RECURSOS MATERIALES

DENOMINACIÓN	COSTO (Dólares)
Materiales y Suministros de Oficina	200,00
Análisis Físico-Químico del Fluido	10,00
Estructura de Soporte	350,00
Materiales para construcción del Equipo	1043,44
Varios	50,00
TOTAL	1653,44

Fuente: CAIBE F., 2012

3.11.2.- RECURSOS TOTALES

TABLA 3.11.2-1

RECURSOS TOTALES

DENOMINACIÓN	COSTO (Dólares)
Recursos Materiales	1653,44
Subtotal	1653,44
Imprevistos 10%	165,34
TOTAL	1818,78

Fuente: CAIBE F., 2012

3.11.3.- ACCESORIOS UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

TABLA 3.11.3-1

ACCESORIOS UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO DE TRANSPORTE DE FLUIDOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES

MATERIALES	DIMENSIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
TUBERÍA	1"	1	13,50	13,50
	3/4"	2	11,50	23,00
	1/2"	1	12,30	12,30
TEES	3/4"	10	0,85	8,50
	3/4" a 1/2"	5	1,34	6,70
CODOS	1" de (90°)	4	1,25	5,00
	3/4" de (90°)	12	0,55	6,60
	1/2" de (90°)	6	0,38	2,28
	1" a 3/4"	2	0,95	1,90
	3/4" a 1/2"	1	1,30	1,30
	1/2" de (45°)	2	0,60	1,20
NEPLOS	1/2" x 10 cm	8	0,27	2,16
	3/4" x 6 cm	10	0,26	2,60
	3/4" x 10 cm	11	0,32	3,52
	3/4" x 15 cm	4	0,78	3,12
UNIÓN UNIVERSAL	1"	2	3,84	7,68
	3/4"	9	1,75	15,75
	1/2"	2	0,40	0,80
UNIÓN R.R.	1"	1	0,90	0,90
	1/2"	2	1,00	2,00
	2"	2	2,20	4,40
UNIÓN REDUCTORA	1"x3/4"	2	1,20	2,40
VÁLVULA DE BOLA	3/4"	9	0,85	7,65
	1/2"	4	1,30	5,20
MANÓMETROS	0- 150 PSI	2	3,90	7,80
	0 - 100PSI	6	3,60	21,60
	0 - 15 PSI	1	35,00	35,00
ADAPTADOR H.G.	1/2" a 3/4"	2	1,95	3,90
ADAPTADOR PARA TANQUE	1"	1	4,00	4,00
ACOPLES PARA MANÓMETROS	1/8 a 1/4	8	0,90	7,20
BUSHING REDUCTOR	2" a 3/4"	2	3,50	7,00
VÁLVULA CHEK	3/4"	1	2,60	2,60
VÁLVULA DE COMPUERTA	3/4"	4	4,00	16,00
FILTRO	1"	1	8,23	8,23
ROTÁMETRO	0,4 A 4 m3/H	1	300,00	300,00
BOMBA CENTRÍFUGA	0,5 Hp	1	45,00	45,00
ESTRUCTURA DEL SISTEMA		1	375,00	375,00
TANQUE DE DESCARGA Y SUCCIÓN	-	1	9,90	9,90
TEFLÓN		10	0,30	3,00
PERMATEX		3	1,25	3,75
BOTONERA SWITCH		1	4,50	4,50
CABLE GEMELO		1	1,00	1,00
TANQUE DE TINTA		1	20,00	20,00
TRANSFORMADOR DE 12 VOLTIOS		1	7,50	7,50
VARIOS		1	20,00	20,00
			TOTAL	1043,44

Fuente: CAIBE F.2012

3.12.- TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.

3.12.1.- TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN.

❖ Tuberías, materiales y accesorios

Adquirir todas las tuberías, materiales y accesorios de acuerdo a los diámetros establecidos.

Comprobar que se ha adquirido todos los materiales que formarán parte de la instalación.

❖ Instalación y Colocación de Tuberías y Válvulas

Cortar la tubería a la longitud planteada en el plano.

Realizar el roscado a la tubería mediante el uso de la terraja.

Unir con teflón y permatex.

Dejar que se compacte y seque el pegamento en los enroscados.

❖ Inspeccionar

Diámetros según planos.

Situación accesible para llaves de paso.

Fijaciones de tuberías, se realizo mediante enroscamiento.

❖ Mantenimiento

Trabajo de mantenimiento y limpieza de residuos de fluido.

3.12.2.- FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.

- Realizar una inspección previa a su utilización para garantizar q no exista fugas de fluido y abrir las válvulas de las líneas por donde quiere realizar la práctica.
- Llenar el tanque de almacenamiento y descarga con líquido.
- Conectar la bomba a una fuente de energía de 110 V.
- Encender la bomba.
- Abrir totalmente la válvula de compuerta 1 para obtener en máximo caudal.
- Leer la presión del manómetro 1 y de los manómetros presentes en cada línea.
- Nivelar el caudal mediante la válvula de compuerta 1 y observar su presión.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES

4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1.- CONCLUSIONES.

- ❖ Las variables de operación determinadas son temperatura de operación de 20 C y un flujo máximo de 1,6 m³/h (26,66 L/min), un flujo mínimo de 0,2 m³/h (3,33 L/min).
- ❖ El tipo de material que se utilizó es Acero Inoxidable ANSI 306, tubería y accesorios de Polipropileno por la dureza del fluido (536,0 mg/L) y Conductividad (1245,0 USiems/cm) evitando la corrosión e incrustaciones.
- ❖ La línea de tubería número 3 permite demostrar un flujo Turbulento con valores desde los 3663,78 a 24887,66; flujo de Transición de 2195,97 y un flujo Laminar de 1463,98 a 1831,89, de acuerdo al número de Reynolds.
- ❖ Se evidencia la pérdida de energía de 5,74 m (línea 5), porque existe mayor cantidad de accesorios, por lo cual, las pérdidas secundarias son más relevantes que las primarias.
- ❖ Existe un flujo turbulento muy alto en la línea 5, con un Número de Reynold de 33551,21, esto se da porqué, a menor diámetro la velocidad es mayor presentando un flujo sumamente caótico.
- ❖ El rendimiento máximo de la bomba es de 29,50 % que se presenta en la línea de tubería número 4, aumentando la eficiencia de equipos anteriores en un 10 %.
- ❖ Para la factibilidad de los costos, se realizó un estudio económico previo, disminuyendo el costo tentativo de la construcción del equipo de transporte de fluidos, dando un costo total de 1818,78 dólares.

4.2.- RECOMENDACIONES.

- ❖ No utilizar fluidos espesos, podrían dañar el rotámetro y la tubería acrílica.
- ❖ Antes de proceder a encender la bomba, las válvula de cada línea deben estar abiertas para prevenir daños a la bomba; además las válvulas de las otras líneas deben estar cerradas para evitar que el fluido pase por las otras líneas de tubería.
- ❖ Al profesor guía o asistente debe tomar las debidas precauciones ya que el Equipo de Transporte de Fluido trabaja con agua y electricidad, debe revisar las conexiones cuidadosamente para evitar descargas eléctricas.
- ❖ Revisar y asegurar que la fuente de energía a utilizar corresponda a 110 voltios, para evitar daños en la bomba y equipo de inyección de tinta.
- ❖ Realizar periódicamente el cambio de agua del tanque de alimentación y descarga, para tener el agua en condiciones aptas.
- ❖ En el Laboratorio es necesario implementar tomas de agua y desagües para facilitar al estudiante en el llenado y vaciado del tanque de alimentación y descarga.
- ❖ Para un buen desempeño del equipo darle el respectivo mantenimiento luego de cada práctica realizada.

BIBLIOGRAFÍA

- ❖ BRITO H., Texto Básico de Mecánica de Fluidos, Riobamba-Ecuador, Xerox, 2000, p.p.70,72.

- ❖ GEANKOPLIS C., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, 3a. ed, México, Continental, 2003. p.p.74.

- ❖ MOTT R., Mecánica de Fluidos Aplicada, 4a. ed, México, Prentice – Hall Hispanoamericana, 1996. p.p.23.

- ❖ SALDARRIAGA J., Hidráulica de Tuberías, México, Alfahomega, 2007. p.p.103.

- ❖ STREETER V. "Mecánica de Fluidos" ,9a. ed, Santafé de Bogotá-Colombia, 2000 McGraw-Hill. p.p.36.

BIBLIOGRAFÍA INTERNET

BOMBAS CENTRÍFUGAS.

<http://areamecanica.wordpress.com/ingenieria-mecanica-curvas-caracteristicas-de-una-bomba-centrifuga-i.htm>

20 /11/2011

CAVITACIÓN.

<http://www.mch.cl/documentos/pdf/cavita.pdf>

20 /11/2011

CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA.

http://www.unioviedo.es/Areas/Mecanica.Fluidos/investigacion/_publicaciones/pdfs_libros/PDF_SistemasdeBombeo2.pdf

20 /11/2011

FLUIDOS.

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

20 /11/2011

MEDICIÓN DE CAUDALES DE LÍQUIDOS.

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/es/conceptosbasicosmfluidos/clasificaciondelflujo/clasificaciondelflujo.html>

20 /11/2011

MEDIDORES DE CAUDAL.

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/es/medidores/medidoresdeqentuberias/medidoresdeqentuberias.html>

20 /11/2011

POLIPROPILENO.

<http://www.canalconstruccion.com/polipropileno-usos-y-caracteristicas.html>

20 /11/2011

ROTÁMETROS.

<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/medidoresflujo/rotametro%tuberias.pdf>

20 /11/2011

VÁLVULAS.

www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/sistoleo/.../05-Valvulas.pdf

20 /11/2011

WEB

- **TRANSPORTE DE FLUIDOS**

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

28/11/2011

- **MECÁNICA DE FLUIDOS**

<http://descom.jmc.utfsm.cl/ccontreras/capitulo6-1.pdf>

28/11/2011

http://www.systemsbiology.cl/archivos/Libro_OOUUIv2.pdf

28/11/2011

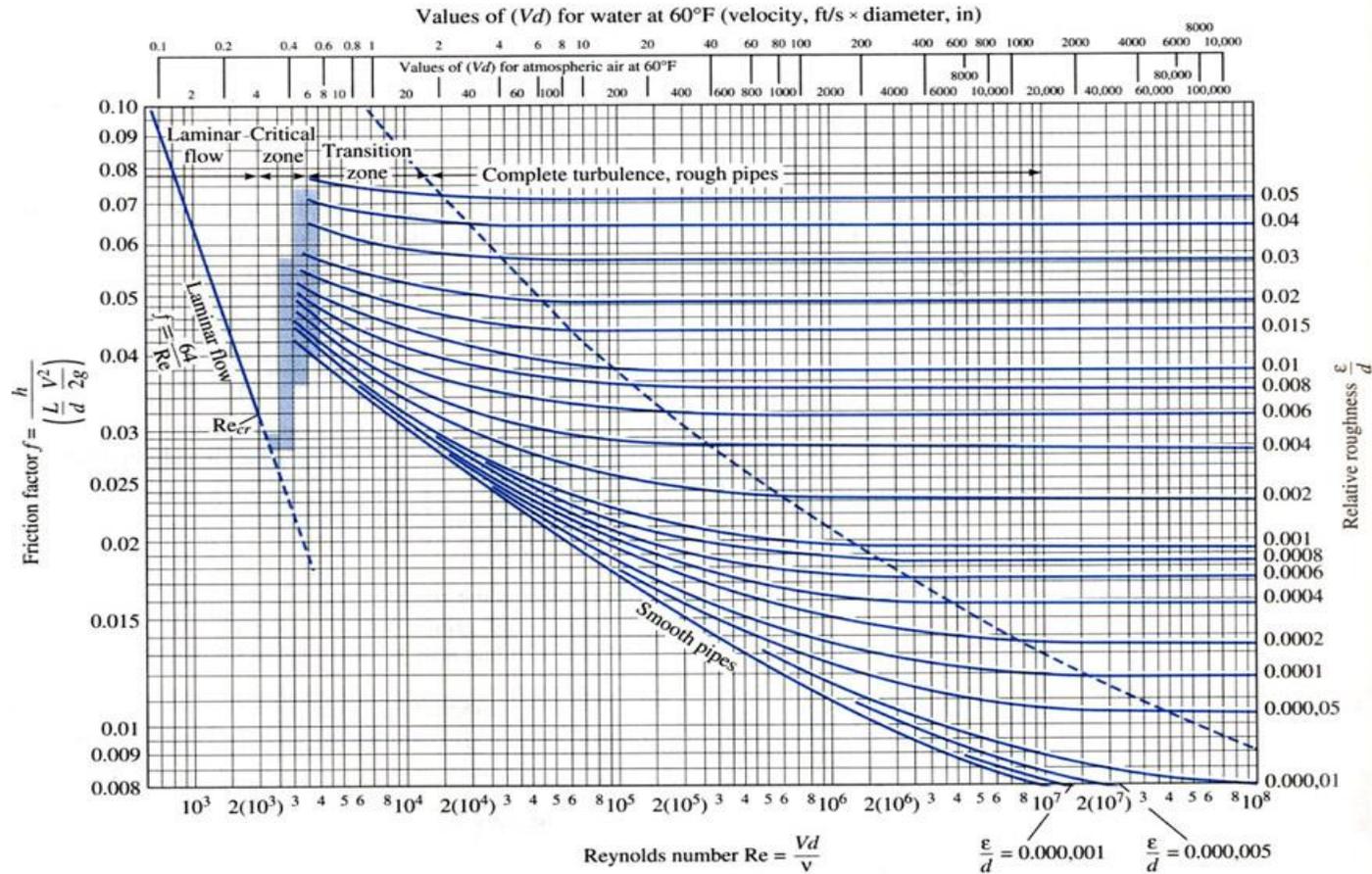
<http://es.scribd.com/doc/8977567/mecanica-de-fluidos>

28/11/2011

ANEXOS

ANEXO 1

DIAGRAMA DE MOODY



NOTA

Diagrama de Moody

Categoría Del Diagrama

- Certificado Para Eliminar
- Por Aprobar Para Información
- Aprobado Para Calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Realizado Por: FAUSTO CAIBE

DIAGRAMA DE MOODY

Lámina	Escala	Fecha
1	X:1 Y:1	05/05/2012

ANEXO II

INFORME DE ANÁLISIS DEL FLUIDO (AGUA)



**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: Sr. Fausto Caibe

Fecha de Análisis: 25 de mayo del 2011

Fecha de Entrega de Resultados: 6 de junio de 2011

Tipo de muestras: Agua subterránea. Pozo de abastecimiento ESPOCH

Localidad: ESPOCH Riobamba

Código LAT/150-11

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	7.54
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1245.0
Dureza CaCO ₃	mg/L	2340-C	536.0

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

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.



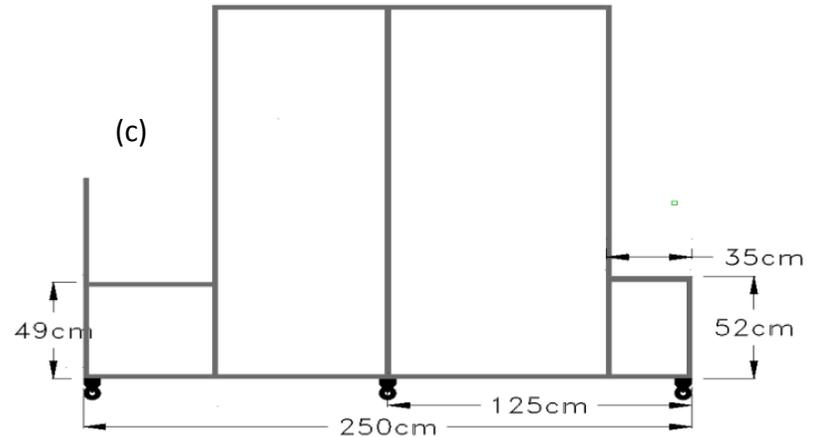
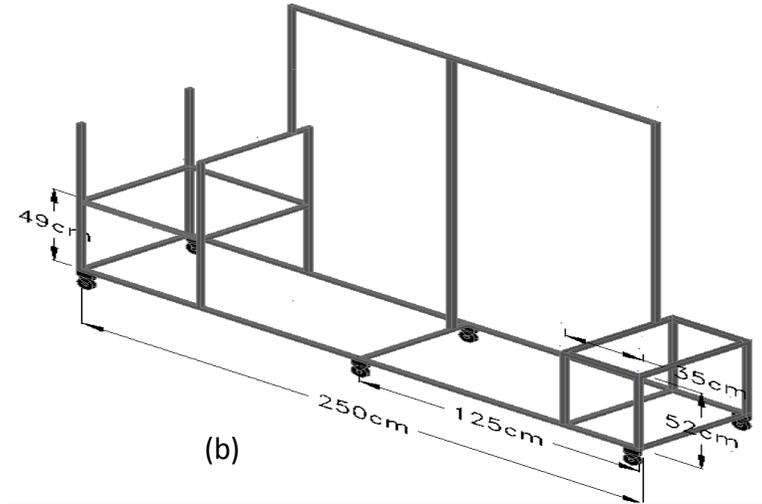
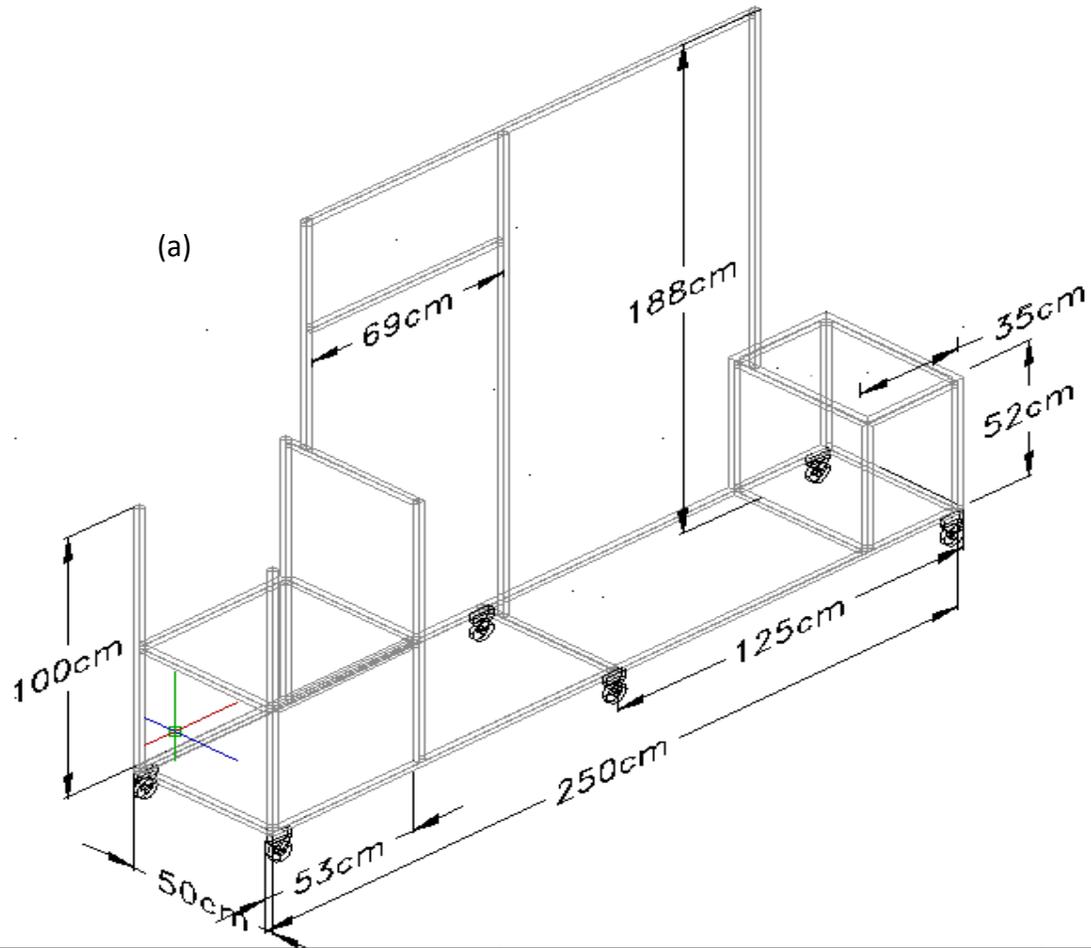
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

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

NOTA	Categoría Del Diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	INFORME DE ANÁLISIS DEL FLUIDO (AGUA)	
Informe de Análisis del Fluido (Agua)	Certificado <input type="checkbox"/> Para Eliminar <input type="checkbox"/>	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	Realizado Por: FAUSTO CAIBE	
	Por Aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información <input type="checkbox"/>			
	Aprobado <input type="checkbox"/> Para Calificar <input type="checkbox"/>		Lámina	Escala
			2	X:1 Y:1
				Fecha
				05/05/2012

ANEXO III

DIMENSIONES DEL SOPORTE DE LA TUBERÍA



NOTA

Categoría Del Diagrama

- (a).- Vista Isométrica Plano SO
- (b).- Vista Isométrica Plano SE
- (c).- Vista Frontal

Certificado	<input type="checkbox"/>	Para Eliminar	<input type="checkbox"/>
Por Aprobar	<input checked="" type="checkbox"/>	Para Información	<input type="checkbox"/>
Aprobado	<input type="checkbox"/>	Para Calificar	<input type="checkbox"/>

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
Realizado Por: FAUSTO CAIBE

DIMENSIONES DEL SOPORTE DE LA TUBERÍA

Lámina	Escala	Fecha
3	X:1 Y:1	05/05/2012

ANEXO IV

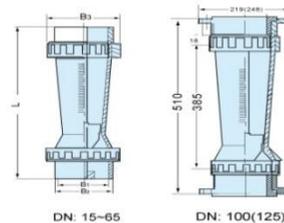
PROPIEDADES FÍSICAS DEL ROTÁMETRO



- Working Pressure: ≤ Mpa
- Working Temperature: 0-60 °C
- Accuracy: ± 5%

DATA SHEET

DN (mm)	Model	Range m ³ /h	Socket Joint	Male	Female	Elbow
15	LZS-15	10~100 L/h	Ø20	1/2"NPT	G1/2"	G1/2"
		16~160 L/h				
		25~250 L/h				
		40~400 L/h				
		60~600 L/h				
100~1000 L/h						
25	LZS-25	0.1~1 0.16~1.6 0.25~2.5	Ø32	3/4"NPT	G3/4"	G3/4"
32	LZS-32	0.4~4 0.6~6	Ø40	1"NPT	G1"	G1"
50	LZS-50	0.4~4 0.6~6 1~10 1.6~16	Ø63	2"NPT	G2"	G2"
65	LZS-65	5~25 8~40 12~60	Ø75		G2½"	
100	LZS-100	12~60 18~90 20~120	Ø110	Center Distance 180mm		
125	LZS-125	25~150 30~180	Ø110	Center Distance 210mm		
150	LZS-150	12~60 18~90 20~120 25~150 30~180	Ø110	Center Distance 240mm		



DN(mm)	(mm)			
	L	B ₁	B ₂	B ₃
15	220	20	26	51
25	230	32	39	60
32	290	40	49	72
50	350	63	73	98
65	420	75	88	122
100	547	Center Distance 180mm		
125	547	Center Distance 210mm		
150	547	Center Distance 240mm		

NOTA

Categoría Del Diagrama

Propiedades Físicas del Rotámetro

- | | | | |
|-------------|-------------------------------------|------------------|--------------------------|
| Certificado | <input type="checkbox"/> | Para Eliminar | <input type="checkbox"/> |
| Por Aprobar | <input checked="" type="checkbox"/> | Para Información | <input type="checkbox"/> |
| Aprobado | <input type="checkbox"/> | Para Calificar | <input type="checkbox"/> |

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

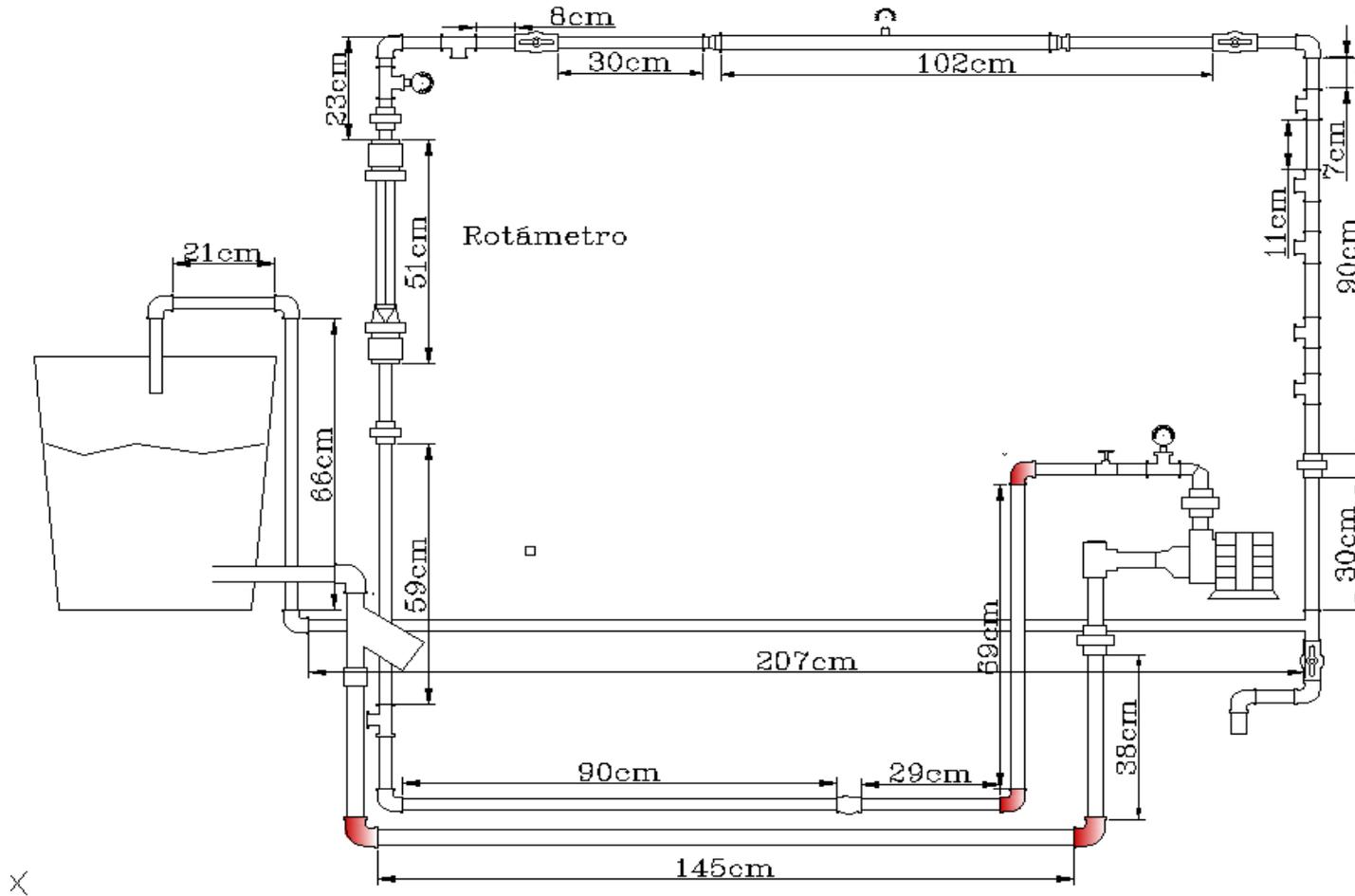
Realizado Por: FAUSTO CAIBE

**PROPIEDADES FÍSICAS DEL
ROTÁMETRO**

Lámina	Escala	Fecha
4	X:1 Y:1	05/05/2012

ANEXO V

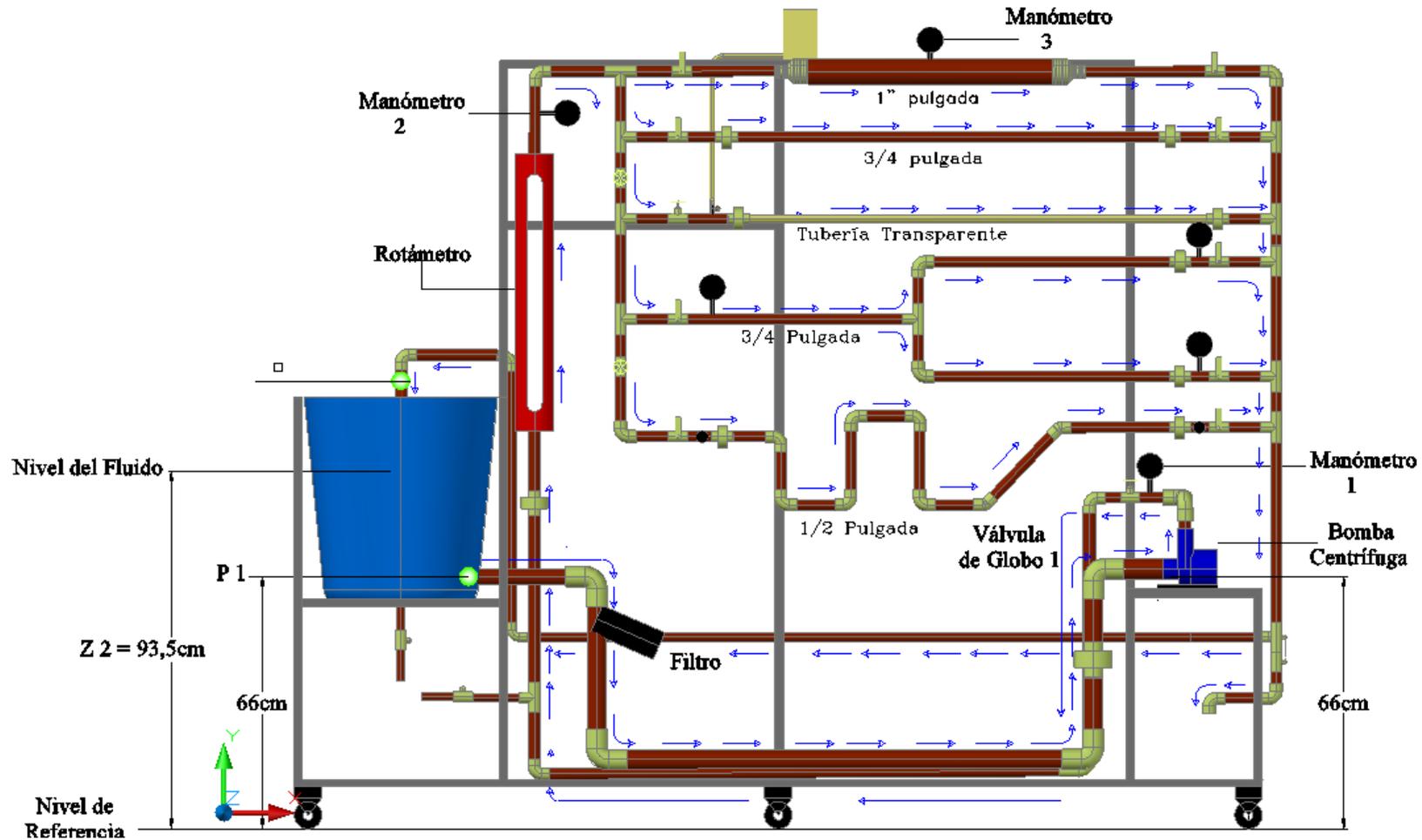
DIMENSIONES DEL SISTEMA DE TUBERÍAS



NOTA	Categoría Del Diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	DIMENSIONES DEL SISTEMA DE LA TUBERÍA	
Dimensiones Del Sistema de Tuberías	Certificado <input type="checkbox"/>	Para Eliminar <input type="checkbox"/>	Realizado Por: FAUSTO CAIBE	
	Por Aprobar <input checked="" type="checkbox"/>	Para Información <input type="checkbox"/>		
	Aprobado <input type="checkbox"/>	Para Calificar <input type="checkbox"/>	Lámina	Escala
			5	X:1 Y:1
				Fecha
				05/05/2012

ANEXO VI

PLANO FRONTAL DE EQUIPO DE TRANSPORTE DE FLUIDOS



NOTA

Plano Frontal De Equipo De Transporte De Fluidos

Categoría Del Diagrama

Certificado	<input type="checkbox"/>	Para Eliminar	<input type="checkbox"/>
Por Aprobar	<input checked="" type="checkbox"/>	Para Información	<input type="checkbox"/>
Aprobado	<input type="checkbox"/>	Para Calificar	<input type="checkbox"/>

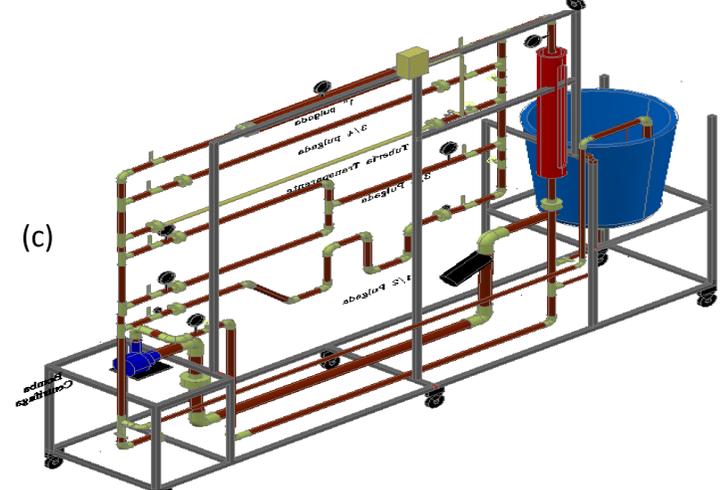
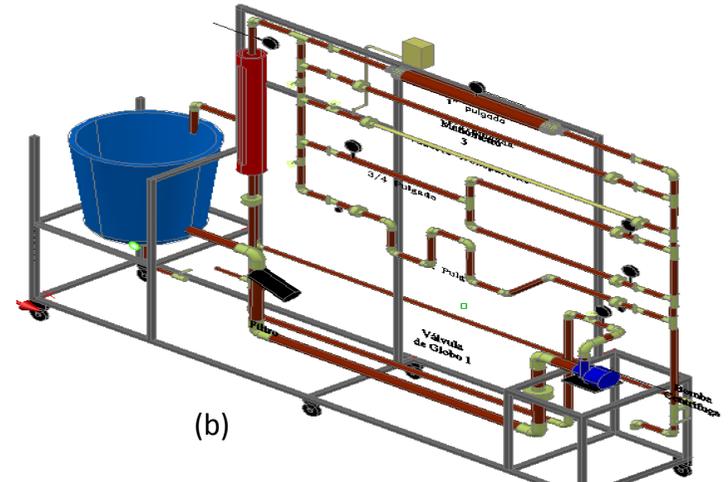
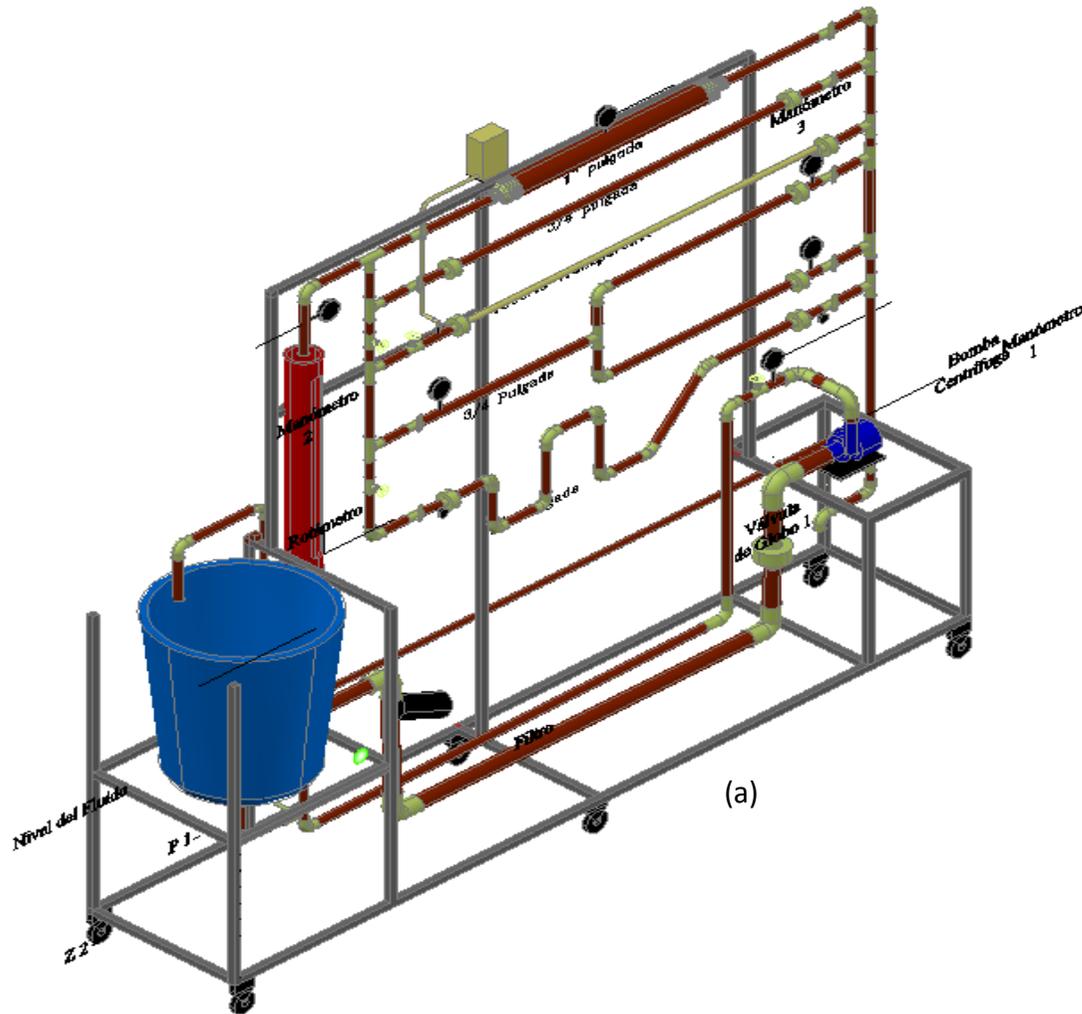
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
 ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 Realizado Por: FAUSTO CAIBE

PLANO FRONTAL DE EQUIPO DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Lámina	Escala	Fecha
6	X:1 Y:1	05/05/2012

ANEXO VII

PLANOS ISOMÉTRICOS DE EQUIPO DE TRANSPORTE DE FLUIDOS



NOTA

- (a).-Vista Isométrica Sudoeste
- (b).-Vista Isométrica Sudeste
- (c).-Vista Isométrica Nordeste

Categoría Del Diagrama

- | | | | |
|-------------|-------------------------------------|------------------|--------------------------|
| Certificado | <input type="checkbox"/> | Para Eliminar | <input type="checkbox"/> |
| Por Aprobar | <input checked="" type="checkbox"/> | Para Información | <input type="checkbox"/> |
| Aprobado | <input type="checkbox"/> | Para Calificar | <input type="checkbox"/> |

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
Realizado Por: FAUSTO CAIBE

**PLANOS ISOMÉTRICOS DE EQUIPO
DE TRANSPORTE DE FLUIDOS
PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES
(Rotámetro)**

Lámina	Escala	Fecha
7	X:1 Y:1	05/05/2012

ANEXO VIII

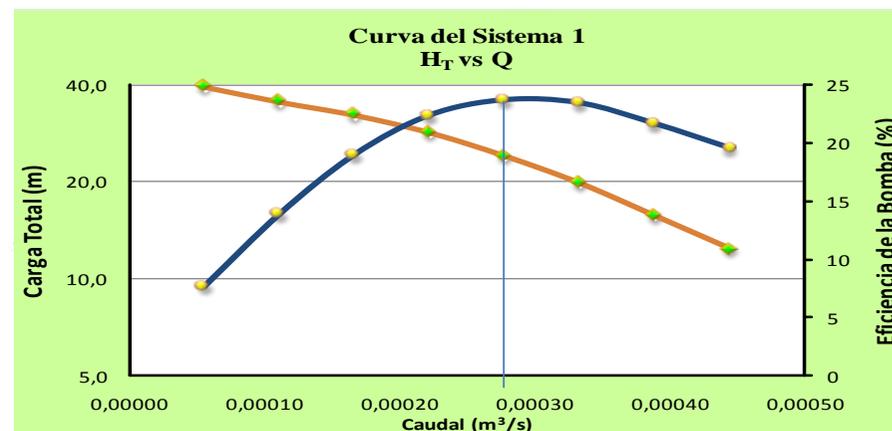
RESULTADOS DE LA LÍNEA DE TUBERÍA N=1

DATOS GENERALES					
Temperatura	20	C	Rugosidad Absoluta Tubería	0,0015	mm
Densidad	998,2	Kg/m ³	Gravedad	9,8	m/s ²
Viscosidad dinámica	1,01E-03	Kg/m.s	Velocidad 1	0	m/s
Presión Atmosférica	72954,0	Pa	Altura 1	0	m
Presión Punto 1 (suc)	72954,00	Pa	Altura 2	1,182	m
Presión Punto 2 (des)		Pa	Potencia de Bomba	0,5	Hp
Longitud de Succión	2,58	m			
Longitud de Descarga	8,785	m			

Accesorios Succión	K
3 Codos de 90	2,7
1 Tee	1,5
1 Unión Universal	0,3
Total	4,5

Accesorios Descarga	K	Accesorios Descarga	K
4 Unión Universal	1,2	1 Codo reductor	0,9
10 Codos de 90	9	1 Valvula Check	2,5
9 Tee paso recto	2,25	1 Tee de 90 salida	1,2
3 Valvulas esferica	0,75	2 Reduccion de 1 a 3	0,26
1 Valvula compuerta	0,15	2 Reduccion de 2 a 3	0,52
2 Valvula de Bola	0,5	Total	19,23

(b)



CAUDALES		Q (m³/h)	# Manómetro	P (PSI)	P (Pa)	P ₂ (Pa)	Q (m³/s)	φ _i (m)	A (m²)	v (m/s)	Nre	ε (m)	f Fanning	L (m)	h _f (m)	Σ K	h _m (m)	h _T (m)	h _{TD} (m)	(v ₂ ² - v ₁ ²) / 2g	(Z ₂ - Z ₁) (m)	(P ₂ - P ₁) / γ	H _T (m)	W (Kg/s)	Hp	ε (%)
Q1	Succión	1,60	m ₁	10	68947,6	141901,57	4,44E-04	0,0239	0,0004486	0,991	23423,68	1,50E-06	0,025	2,580	0,14	4,5	0,23	0,36	4,062	0,123	1,182	7,048	12,41	0,44	0,098	19,58
	Descarga	1,60	m ₂	6	41368,5	114322,54	4,44E-04	0,0191	0,0002865	1,551	29310,26	1,50E-06	0,024	8,785	1,34	19,23	2,36	3,70								
Q2	Succión	1,40	m ₁	16	110316	183270,11	3,89E-04	0,0239	0,0004486	0,867	20495,72	1,50E-06	0,026	2,580	0,11	4,5	0,17	0,28	3,146	0,094	1,182	11,277	15,70	0,39	0,108	21,67
	Descarga	1,40	m ₂	2	13789,5	86743,51	3,89E-04	0,0191	0,0002865	1,357	25646,47	1,50E-06	0,024	8,785	1,06	19,23	1,81	2,87								
Q3	Succión	1,20	m ₁	23	158579	231533,41	3,33E-04	0,0239	0,0004486	0,743	17567,76	1,50E-06	0,027	2,580	0,08	4,5	0,13	0,21	2,344	0,069	1,182	16,211	19,81	0,33	0,117	23,43
	Descarga	1,20	m ₂	1	6894,76	79848,76	3,33E-04	0,0191	0,0002865	1,163	21982,69	1,50E-06	0,025	8,785	0,81	19,23	1,33	2,14								
Q4	Succión	1,00	m ₁	30	206843	279796,71	2,78E-04	0,0239	0,0004486	0,619	14639,80	1,50E-06	0,028	2,580	0,06	4,5	0,09	0,15	1,656	0,048	1,182	21,144	24,03	0,28	0,118	23,69
	Descarga	1,00	m ₂	0	0	72954,00	2,78E-04	0,0191	0,0002865	0,969	18318,91	1,50E-06	0,027	8,785	0,59	19,23	0,92	1,51								
Q5	Succión	0,80	m ₁	37	255106	328060,01	2,22E-04	0,0239	0,0004486	0,495	11711,84	1,50E-06	0,030	2,580	0,04	4,5	0,06	0,10	1,084	0,031	1,182	26,078	28,37	0,22	0,112	22,38
	Descarga	0,80	m ₂	0	0	72954,00	2,22E-04	0,0191	0,0002865	0,776	14655,13	1,50E-06	0,028	8,785	0,40	19,23	0,59	0,99								
Q6	Succión	0,60	m ₁	43	296475	369428,55	1,67E-04	0,0239	0,0004486	0,372	8783,88	1,50E-06	0,032	2,580	0,02	4,5	0,03	0,06	0,629	0,017	1,182	30,307	32,14	0,17	0,095	19,01
	Descarga	0,60	m ₂	0	0	72954,00	1,67E-04	0,0191	0,0002865	0,582	10991,35	1,50E-06	0,030	8,785	0,24	19,23	0,33	0,57								
Q7	Succión	0,40	m ₁	48	330948	403902,34	1,11E-04	0,0239	0,0004486	0,248	5855,92	1,50E-06	0,036	2,580	0,01	4,5	0,01	0,03	0,294	0,008	1,182	33,831	35,31	0,11	0,070	13,93
	Descarga	0,40	m ₂	0	0	72954,00	1,11E-04	0,0191	0,0002865	0,388	7327,56	1,50E-06	0,034	8,785	0,12	19,23	0,15	0,27								
Q8	Succión	0,20	m ₁	54	372317	445270,88	5,56E-05	0,0239	0,0004486	0,124	2927,96	1,50E-06	0,045	2,580	0,00	4,5	0,00	0,01	0,081	0,002	1,182	38,060	39,33	0,06	0,039	7,75
	Descarga	0,20	m ₂	0	0	72954,00	5,56E-05	0,0191	0,0002865	0,194	3663,78	1,50E-06	0,042	8,785	0,04	19,23	0,04	0,07								

(a)

NOTA

Categoría Del Diagrama

(a).- Resultados de Altura Total y Eficiencia la línea N=1

(b).- Gráfica de los resultados

Certificado Para Eliminar
 Por Aprobar Para Información
 Aprobado Para Calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
 ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 Realizado Por: FAUSTO CAIBE

RESULTADOS DE LA LÍNEA DE TUBERÍA N=1

Lámina	Escala	Fecha
8	X:1 Y:1	05/05/2012

ANEXO IX

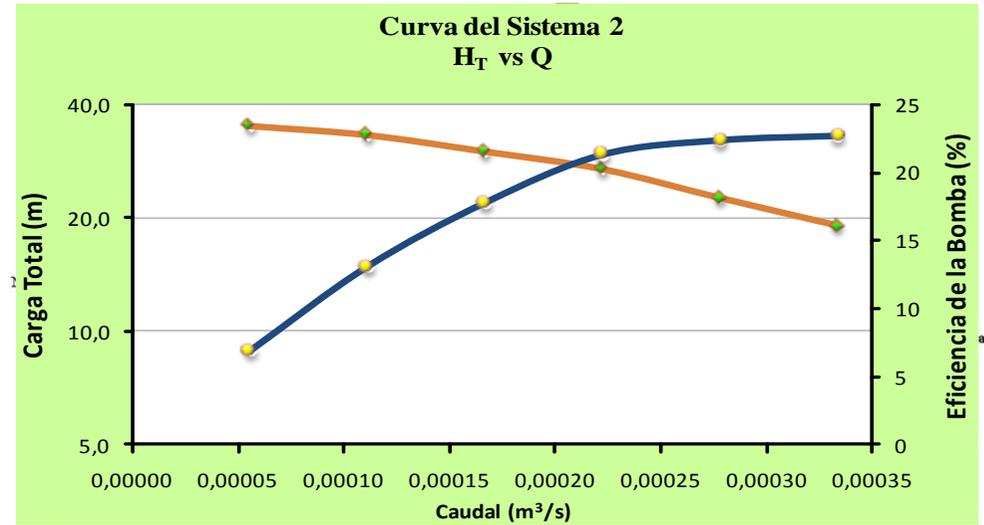
RESULTADOS DE LA LÍNEA DE TUBERÍA N=2

DATOS GENERALES					
Temperatura	20	C	Rugosidad Absoluta Tubería	0,0015	mm
Densidad	998,2	Kg/m ³	Gravedad	9,8	m/s ²
Viscosidad dinámica	1,009E-03	Kg/ms	Velocidad 1	0	m/s
Presión Atmosférica	72954,0	Pa	Altura 1	0	m
Presión Punto 1 (succión)	72954,00	Pa	Potencia de Bomba	0,5	Hp
Presión Punto 2 (descarga)		Pa			
Longitud de Succión	2,58	m			
Longitud de Descarga	8,715	m			
Peso Especifico	9782,36				

Accesorios Succión	K
3 Codos de 90	2,7
1 Te	1,5
1 Unión Universal	0,3
Total	4,5

Accesorios Descarga	K	Accesorios Descarga	K
6 Unión Universal	1,8	1 Codo reductor	0,9
9 Codos de 90	8,1	1 Valvula Check	2,5
7 Tee paso recto	1,75	4 Tee de 90° salida	4,8
3 Valvulas boka	0,75		
1 Valvula compuerta	0,15		
2 Reduccion de 2 a 3/4	0,26	Total	20,17

(b)



CAUDALES	Q (m ³ /h)	# Manómetro	P (PSI)	P (Pa)	P ₂ (Pa)	Q (m ³ /s)	φ _i (m)	A (m ²)	v (m/s)	Nre	ε (m)	f Fanning	L (m)	h _r (m)	Σ K	h _m (m)	h _r (m)	h _{rds} (m)	(v ₂ ² - v ₁ ²) / 2g	(Z2 - Z1) (m)	(P2 - P1) / γ	H _T (m)	W (Kg/s)	Hp	ε (%)	
Q1	Succión	1,20	m ₁	22	151684,654	224638,65	3,33E-04	0,0239	0,0004486	0,743	17567,76	1,50E-06	0,027	2,580	0,08	4,5	0,13	0,21	2,402	0,069	1,182	15,506	19,16	0,33	0,113	22,67
	Descarga	1,20	m ₂	1	6894,757	79848,76	3,33E-04	0,0191	0,0002865	1,163	21982,69	1,50E-06	0,025	8,715	0,80	20,17	1,39	2,19								
Q2	Succión	1,00	m ₁	28	193053,196	266007,20	2,78E-04	0,0239	0,0004486	0,619	14639,80	1,50E-06	0,028	2,580	0,06	4,5	0,09	0,15	1,696	0,048	1,182	19,735	22,66	0,28	0,112	22,34
	Descarga	1,00	m ₂	0	0	72954,00	2,78E-04	0,0191	0,0002865	0,969	18318,91	1,50E-06	0,027	8,715	0,58	20,17	0,97	1,55								
Q3	Succión	0,80	m ₁	35	241316,495	314270,50	2,22E-04	0,0239	0,0004486	0,495	11711,84	1,50E-06	0,030	2,580	0,04	4,5	0,06	0,10	1,109	0,031	1,182	24,669	26,99	0,22	0,106	21,29
	Descarga	0,80	m ₂	0	0	72954,00	2,22E-04	0,0191	0,0002865	0,776	14655,13	1,50E-06	0,028	8,715	0,39	20,17	0,62	1,01								
Q4	Succión	0,60	m ₁	40	275790,28	348744,28	1,67E-04	0,0239	0,0004486	0,372	8783,88	1,50E-06	0,032	2,580	0,02	4,5	0,03	0,06	0,643	0,017	1,182	28,193	30,04	0,17	0,089	17,77
	Descarga	0,60	m ₂	0	0	72954,00	1,67E-04	0,0191	0,0002865	0,582	10991,35	1,50E-06	0,030	8,715	0,24	20,17	0,35	0,59								
Q5	Succión	0,40	m ₁	45	310264,065	383218,07	1,11E-04	0,0239	0,0004486	0,248	5855,92	1,50E-06	0,036	2,580	0,01	4,5	0,01	0,03	0,300	0,008	1,182	31,717	33,21	0,11	0,065	13,09
	Descarga	0,40	m ₂	0	0	72954,00	1,11E-04	0,0191	0,0002865	0,388	7327,56	1,50E-06	0,034	8,715	0,12	20,17	0,15	0,27								
Q6	Succión	0,20	m ₁	48	330948,336	403902,34	5,56E-05	0,0239	0,0004486	0,124	2927,96	1,50E-06	0,045	2,580	0,00	4,5	0,00	0,01	0,083	0,002	1,182	33,831	35,10	0,06	0,035	6,92
	Descarga	0,20	m ₂	0	0	72954,00	5,56E-05	0,0191	0,0002865	0,194	3663,78	1,50E-06	0,042	8,715	0,04	20,17	0,04	0,08								

(a)

NOTA

(a).- Resultados de Altura Total y Eficiencia la línea N =2

(b).- Gráfica de los resultados

Categoría Del Diagrama

Certificado Para Eliminar
 Por Aprobar Para Información
 Aprobado Para Calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
Realizado Por: FAUSTO CAIBE

RESULTADOS DE LA LÍNEA DE TUBERÍA N=2

Lámina	Escala	Fecha
9	X:1 Y:1	05/05/2012

ANEXO X

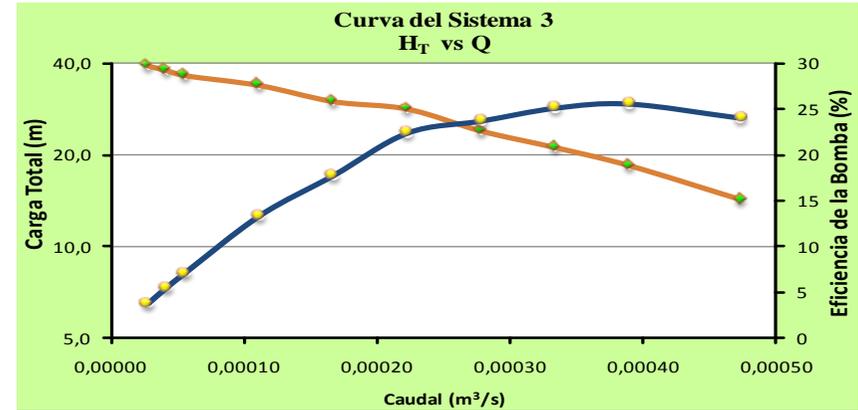
RESULTADOS DE LA LÍNEA DE TUBERÍA N=3

DATOS GENERALES					
Temperatura	20	C	Rugosidad Absoluta Tubería	0,0015	mm
Densidad	998,2	Kg/m ³	Gravedad	9,8	m/s ²
Viscosidad dinámica	1,0090E-03	Kg/m.s	Velocidad 1	0	m/s
Presión Atmosférica	72954,0	Pa	Altura 1	0	m
Presión Punto 1 (succión)	72954,00	Pa	Potencia de Bomba	0,5	Hp
Presión Punto 2 (descarga)		Pa			
Longitud de Succión	2,58	m			
Longitud de Descarga	7,895	m			

Accesorios Succión		K
3 Codos de 90		2,7
1 Te		1,5
1 Unión Universal		0,3
Total		4,5

Accesorios Descarga		K	Accesorios Descarga		K
6 Unión Universal		1,8	1 Codo reductor		0,9
8 Codos de 90		7,2	1 Valvula Check		2,5
7 Tee paso recto		1,75	2 Reduccion de 2 a 3/4		0,52
1 Valvulas Bola		0,25			
3 Valvula compuerta		0,45			
4 Tee de 90 salida		4,8	Total		20,17

(b)



CAUDALES		Q (m ³ /h)	# Manómetro	P (PSI)	P (Pa)	P ₂ (Pa)	Q (m ³ /s)	φ _i (m)	A (m ²)	v (m/s)	Nre	ε (m)	f Fanning	L (m)	h _f (m)	Σ K	h _m (m)	h _T (m)	h _{rds} (m)	(v ₂ ² - v ₁ ²) / 2g	(Z ₂ - Z ₁) (m)	(P ₂ - P ₁) / γ	H _T (m)	W (Kg/s)	Hp	ε (%)
Q1	Succión	1,70	m ₁	12	82737,084	155691,08	4,72E-04	0,0239	0,0004486	1,053	24887,66	1,50E-06	0,025	2,580	0,15	4,5	0,25	0,40	4,541	0,139	1,182	8,458	14,32	0,47	0,120	24,00
	Descarga	1,70	m ₂	0	0	72954,00	4,72E-04	0,0191	0,0002865	1,648	31142,15	1,50E-06	0,023	7,895	1,34	20,17	2,80	4,14								
Q2	Succión	1,40	m ₁	20	137895,14	210849,14	3,89E-04	0,0239	0,0004486	0,867	20495,72	1,50E-06	0,026	2,580	0,11	4,5	0,17	0,28	3,127	0,094	1,182	14,096	18,50	0,39	0,128	25,53
	Descarga	1,40	m ₂	0	0	72954,00	3,89E-04	0,0191	0,0002865	1,357	25646,47	1,50E-06	0,024	7,895	0,95	20,17	1,90	2,85								
Q3	Succión	1,20	m ₁	25	172368,925	245322,93	3,33E-04	0,0239	0,0004486	0,743	17567,76	1,50E-06	0,027	2,580	0,08	4,5	0,13	0,21	2,327	0,069	1,182	17,620	21,20	0,33	0,125	25,08
	Descarga	1,20	m ₂	0	0	72954,00	3,33E-04	0,0191	0,0002865	1,163	21982,69	1,50E-06	0,025	7,895	0,73	20,17	1,39	2,12								
Q4	Succión	1,00	m ₁	30	206842,71	279796,71	2,78E-04	0,0239	0,0004486	0,619	14639,80	1,50E-06	0,028	2,580	0,06	4,5	0,09	0,15	1,641	0,048	1,182	21,144	24,02	0,28	0,118	23,68
	Descarga	1,00	m ₂	0	0	72954,00	2,78E-04	0,0191	0,0002865	0,969	18318,91	1,50E-06	0,027	7,895	0,53	20,17	0,97	1,49								
Q5	Succión	0,80	m ₁	37	255106,009	328060,01	2,22E-04	0,0239	0,0004486	0,495	11711,84	1,50E-06	0,030	2,580	0,04	4,5	0,06	0,10	1,072	0,031	1,182	26,078	28,36	0,22	0,112	22,37
	Descarga	0,80	m ₂	0	0	72954,00	2,22E-04	0,0191	0,0002865	0,776	14655,13	1,50E-06	0,028	7,895	0,36	20,17	0,62	0,98								
Q6	Succión	0,60	m ₁	40	275790,28	348744,28	1,67E-04	0,0239	0,0004486	0,372	8783,88	1,50E-06	0,032	2,580	0,02	4,5	0,03	0,06	0,621	0,017	1,182	28,193	30,01	0,17	0,089	17,75
	Descarga	0,60	m ₂	0	0	72954,00	1,67E-04	0,0191	0,0002865	0,582	10991,35	1,50E-06	0,030	7,895	0,22	20,17	0,35	0,56								
Q7	Succión	0,40	m ₁	46	317158,822	390112,82	1,11E-04	0,0239	0,0004486	0,248	5855,92	1,50E-06	0,036	2,580	0,01	4,5	0,01	0,03	0,289	0,008	1,182	32,422	33,90	0,11	0,067	13,37
	Descarga	0,40	m ₂	0	0	72954,00	1,11E-04	0,0191	0,0002865	0,388	7327,56	1,50E-06	0,034	7,895	0,11	20,17	0,15	0,26								
Q8	Succión	0,20	m ₁	50	344737,85	417691,85	5,56E-05	0,0239	0,0004486	0,124	2927,96	1,50E-06	0,045	2,580	0,00	4,5	0,00	0,01	0,079	0,002	1,182	35,241	36,50	0,06	0,036	7,20
	Descarga	0,20	m ₂	22	151684,654	224638,65	5,56E-05	0,0191	0,0002865	0,194	3663,78	1,50E-06	0,042	7,895	0,03	20,17	0,04	0,07								
Q9	Succión	0,15	m ₁	52	358527,364	431481,36	4,17E-05	0,0239	0,0004486	0,093	2195,97	1,50E-06	0,050	2,580	0,00	4,5	0,00	0,00	0,047	0,001	1,182	36,650	37,88	0,04	0,028	5,60
	Descarga	0,15	m ₂	32	220632,224	293586,22	4,17E-05	0,0191	0,0002865	0,145	2747,84	1,50E-06	0,046	7,895	0,02	20,17	0,02	0,04								
Q10	Succión	0,10	m ₁	54	372316,878	445270,88	2,78E-05	0,0239	0,0004486	0,062	1463,98	1,50E-06	0,057	2,580	0,00	4,5	0,00	0,00	0,022	0,000	1,182	38,060	39,26	0,03	0,019	3,87
	Descarga	0,10	m ₂	32	220632,224	293586,22	2,78E-05	0,0191	0,0002865	0,097	1831,89	1,50E-06	0,053	7,895	0,01	20,17	0,01	0,02								

(a)

NOTA

Categoría Del Diagrama

(a).- Resultados de Altura Total y Eficiencia la línea N = 3
 (b).- Gráfica de los resultados

Certificado Para Eliminar
 Por Aprobar Para Información
 Aprobado Para Calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
 ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 Realizado Por: FAUSTO CAIBE

RESULTADOS DE LA LÍNEA DE TUBERÍA N=3

Lámina	Escala	Fecha
10	X:1 Y:1	05/05/2012

ANEXO XI

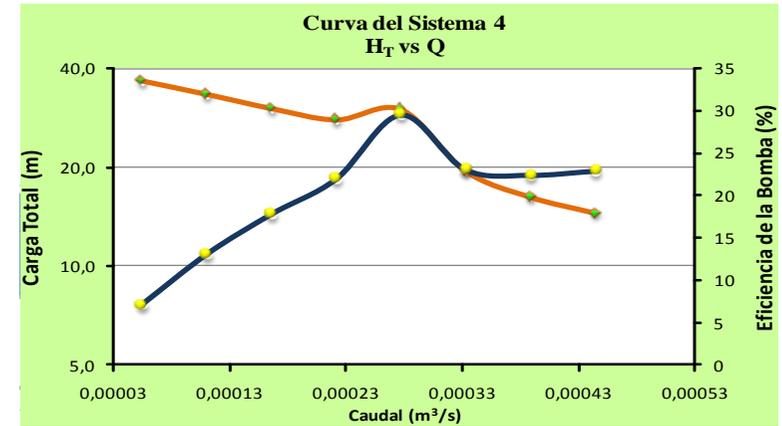
RESULTADOS DE LA LÍNEA DE TUBERÍA N=4

DATOS GENERALES					
Temperatura	20	C	Rugosidad Absoluta Tubería	0,0015	mm
Densidad	998,2	Kg/m ³	Gravedad	9,8	m/s ²
Viscosidad dinámica	1,0090E-03	Kg/ms	Velocidad 1	0	m/s
Presión Atmosférica	72954,0	Pa	Altura 1	0	m
Presión Punto 1 (succión)	72954,00	Pa	Potencia de Bomba	0,5	Hp
Presión Punto 2 (descarga)		Pa			
Longitud de Succión	2,58	m			
Longitud de Descarga	7,895	m			

(b)

Accesorios Succión		K
3 Codos de 90		2,7
1 Te		1,5
1 Unión Universal		0,3
Total		4,5

Accesorios Descarga		K	Accesorios Descarga		K
6 Unión Universal		1,8	1 Codo reductor		0,9
11 Codos de 90		9,9	1 Valvula Check		2,5
6 Tee paso recto		1,5	2 Reduccion de 2 a 3/4		0,6
4 Valvulas Bola		1,0			
2 Valvula Globo		0,3			
6 Tee de 90 salida		7,2	Total		25,7



CAUDALES		Q (m ³ /h)	# Manómetro	P (PSI)	P (Pa)	P ₂ (Pa)	Q (m ³ /s)	φ _t (m)	A (m ²)	v (m/s)	Nre	ε (m)	f Fanning	L (m)	h _r (m)	Σ K	h _m (m)	h _r (m)	h _{r,ds} (m)	(v ₂ ² - v ₁ ²) / 2g	(Z2 - Z1) (m)	(P2 - P1) / γ	H _T (m)	W (Kg/s)	Hp	ε (%)
Q1	Succión	1,60	m ₁	12	82737,084	155691,08	4,44E-04	0,0239	0,0004486	0,991	23423,68	1,50E-06	0,025	2,580	0,14	4,5	0,23	0,36	4,720	0,123	1,182	8,458	14,48	0,44	0,114	22,85
	Descarga	1,60	m ₂	5	34473,785	107427,79	4,44E-04	0,0191	0,0002865	1,551	29310,26	1,50E-06	0,024	7,895	1,20	25,7	3,15	4,36								
Q2	Succión	1,40	m ₁	16	110316,112	183270,11	3,89E-04	0,0239	0,0004486	0,867	20495,72	1,50E-06	0,026	2,580	0,11	4,5	0,17	0,28	3,647	0,094	1,182	11,277	16,20	0,39	0,112	22,36
	Descarga	1,40	m ₂	2	13789,514	86743,51	3,89E-04	0,0191	0,0002865	1,357	25646,47	1,50E-06	0,024	7,895	0,95	25,7	2,42	3,37								
Q3	Succión	1,20	m ₁	22	151684,654	224638,65	3,33E-04	0,0239	0,0004486	0,743	17567,76	1,50E-06	0,027	2,580	0,08	4,5	0,13	0,21	2,708	0,069	1,182	15,506	19,47	0,33	0,115	23,03
	Descarga	1,20	m ₂	0	0	72954,00	3,33E-04	0,0191	0,0002865	1,163	21982,69	1,50E-06	0,025	7,895	0,73	25,7	1,77	2,50								
Q4	Succión	1,00	m ₁	38	262000,766	334954,77	2,78E-04	0,0239	0,0004486	0,619	14639,80	1,50E-06	0,028	2,580	0,06	4,5	0,09	0,15	1,907	0,048	1,182	26,783	29,92	0,28	0,147	29,50
	Descarga	1,00	m ₂	0	0	72954,00	2,78E-04	0,0191	0,0002865	0,969	18318,91	1,50E-06	0,027	7,895	0,53	25,7	1,23	1,76								
Q5	Succión	0,80	m ₁	36	248211,252	321165,25	2,22E-04	0,0239	0,0004486	0,495	11711,84	1,50E-06	0,030	2,580	0,04	4,5	0,06	0,10	1,242	0,031	1,182	25,373	27,83	0,22	0,110	21,95
	Descarga	0,80	m ₂	0	0	72954,00	2,22E-04	0,0191	0,0002865	0,776	14655,13	1,50E-06	0,028	7,895	0,36	25,7	0,79	1,15								
Q6	Succión	0,60	m ₁	40	275790,28	348744,28	1,67E-04	0,0239	0,0004486	0,372	8783,88	1,50E-06	0,032	2,580	0,02	4,5	0,03	0,06	0,716	0,017	1,182	28,193	30,11	0,17	0,089	17,81
	Descarga	0,60	m ₂	0	0	72954,00	1,67E-04	0,0191	0,0002865	0,582	10991,35	1,50E-06	0,030	7,895	0,22	25,7	0,44	0,66								
Q7	Succión	0,40	m ₁	45	310264,065	383218,07	1,11E-04	0,0239	0,0004486	0,248	5855,92	1,50E-06	0,036	2,580	0,01	4,5	0,01	0,03	0,331	0,008	1,182	31,717	33,24	0,11	0,066	13,11
	Descarga	0,40	m ₂	0	0	72954,00	1,11E-04	0,0191	0,0002865	0,388	7327,56	1,50E-06	0,034	7,895	0,11	25,7	0,20	0,30								
Q8	Succión	0,20	m ₁	50	344737,85	417691,85	5,56E-05	0,0239	0,0004486	0,124	2927,96	1,50E-06	0,045	2,580	0,00	4,5	0,00	0,01	0,090	0,002	1,182	35,241	36,51	0,06	0,036	7,20
	Descarga	0,20	m ₂	0	0	72954,00	5,56E-05	0,0191	0,0002865	0,194	3663,78	1,50E-06	0,042	7,895	0,03	25,7	0,05	0,08								

(a)

NOTA

(a).- Resultados de Altura Total y Eficiencia la línea N =4

(b).- Gráfica de los resultados

Categoría Del Diagrama

Certificado Para Eliminar
 Por Aprobar Para Información
 Aprobado Para Calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
Realizado Por: FAUSTO CAIBE

RESULTADOS DE LA LÍNEA DE TUBERÍA N=4

Lámina	Escala	Fecha
11	X:1 Y:1	05/05/2012

ANEXO XII

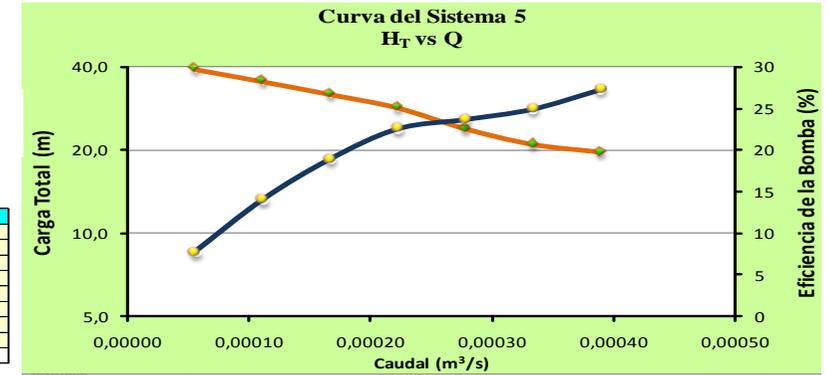
RESULTADOS DE LA LÍNEA DE TUBERÍA N=5

DATOS GENERALES					
Temperatura	20	C	Longitud de Descarga 3/4	3,16	m
Densidad	998,2	Kg/m ³	Rugosidad Absoluta Tubería	0,0015	mm
Viscosidad dinámica	1,0090E-03	Kg/m.s	Gravedad	9,8	m/s ²
Presión Atmosférica	72954,0	Pa	Velocidad 1	0	m/s
Presión Punto 1 (succión)	72954,00	Pa	Altura 1	0	m
Presión Punto 2 (descarga)		Pa	Potencia de Bomba	0,5	Hp
Longitud de Succión	2,58	m			
Longitud de Descarga 3/4	3,37	m			
Longitud de Descarga 1/2	1,79	m			

Accesorios Succión	K
3 Codos de 90	2,7
1 Te	1,5
1 Unión Universal	0,3
Total	4,5

Accesorios Descarga 3/4	K	Accesorios Descarga 1/2	K	Accesorios Descarga 3/4	K
3 Unión Universal	0,9	6 Codos	3,6	2 Tee de 90 salida	2,40
5 Codos de 90	4,5	2 Valsula bola	0,5	1 Valsula Bola	0,25
6 Tee paso recto	1,5	2 Unión Universal	0,6	4 Codo 90	3,60
2 Reducción de 2 a 3/4	0,6	2 Codos 45	0,8	1 Unión Universal	0,30
3 Valsula Globo	0,45				
1 Tee de 90 salida	1,2				
1 Valsula Check	2,5				
2 Codo Reductor	1,8				
Total	13,5	Total	7,3	Total	6,6

(b)



CAUDALES		Q (m ³ /h)	# Manómetro	P (PSI)	P (Pa)	P ₂ (Pa)	Q (m ³ /s)	φ ₁ (m)	A (m ²)	v (m/s)	Nre	ε (m)	f Fanning	L (m)	h _r (m)	Σ K	h _m (m)	h _r (m)	h _{Tac} (m)	(V ₂ ² - V ₁ ²) / 2g	(Z ₂ - Z ₁) (m)	(P ₂ - P ₁) / γ	H _T (m)	W (Kg/s)	Hp	ε (%)
Q1	Succión	1,40	m ₁	18	124105,6	197059,63	3,89E-04	0,0239	0,0004486	0,867	20495,72	1,50E-06	0,026	2,580	0,11	4,5	0,17	0,28	5,74	0,094	1,182	12,687	19,71	0,39	0,136	27,20
	Descarga	1,40	m ₂	13	89631,84	162585,84	3,89E-04	0,0191	0,0002865	1,357	25646,47	1,50E-06	0,024	3,370	0,41	13,5	1,27	1,68								
	Descarga	1,40	m ₇	12	82737,08	155691,08	3,89E-04	0,0146	0,0001674	2,323	33551,21	1,50E-06	0,023	1,790	0,78	7,3	2,01	2,79								
Q2	Succión	1,20	m ₁	22	151684,7	224638,65	3,33E-04	0,0239	0,0004486	0,743	17567,76	1,50E-06	0,027	2,580	0,08	4,5	0,13	0,21	4,27	0,069	1,182	15,506	21,02	0,33	0,124	24,87
	Descarga	1,20	m ₂	10	68947,57	141901,57	3,33E-04	0,0191	0,0002865	1,163	21982,69	1,50E-06	0,025	3,370	0,31	13,5	0,93	1,24								
	Descarga	1,20	m ₇	8	55158,06	128112,06	3,33E-04	0,0146	0,0001674	1,991	28758,18	1,50E-06	0,024	1,790	0,59	7,3	1,48	2,07								
Q3	Succión	1,00	m ₁	28	13789,51	86743,51	2,78E-04	0,0191	0,0002865	1,163	21982,69	1,50E-06	0,025	3,160	0,29	6,6	0,46	0,75	3,00	0,048	1,182	19,735	23,97	0,28	0,118	23,63
	Descarga	1,00	m ₂	6	41368,54	114322,54	2,78E-04	0,0191	0,0002865	0,969	18318,91	1,50E-06	0,027	3,370	0,22	13,5	0,65	0,87								
	Descarga	1,00	m ₇	4	27579,03	100533,03	2,78E-04	0,0146	0,0001674	1,659	23965,15	1,50E-06	0,025	1,790	0,43	7,3	1,03	1,46								
Q4	Succión	0,80	m ₁	36	248211,3	321165,25	2,22E-04	0,0239	0,0004486	0,495	11711,84	1,50E-06	0,030	2,580	0,04	4,5	0,06	0,10	1,96	0,031	1,182	25,373	28,54	0,22	0,113	22,51
	Descarga	0,80	m ₂	3	20684,27	93638,27	2,22E-04	0,0191	0,0002865	0,776	14655,13	1,50E-06	0,028	3,370	0,15	13,5	0,41	0,57								
	Descarga	0,80	m ₇	2	13789,51	86743,51	2,22E-04	0,0146	0,0001674	1,327	19172,12	1,50E-06	0,026	1,790	0,29	7,3	0,66	0,95								
Q5	Succión	0,60	m ₁	42	289579,8	362533,79	1,67E-04	0,0239	0,0004486	0,372	8783,88	1,50E-06	0,032	2,580	0,02	4,5	0,03	0,06	1,13	0,017	1,182	29,602	31,93	0,17	0,094	18,89
	Descarga	0,60	m ₂	2	13789,51	86743,51	1,67E-04	0,0191	0,0002865	0,582	10991,35	1,50E-06	0,030	3,370	0,09	13,5	0,23	0,33								
	Descarga	0,60	m ₇	0,5	3447,379	76401,38	1,67E-04	0,0146	0,0001674	0,996	14379,09	1,50E-06	0,028	1,790	0,18	7,3	0,37	0,54								
Q6	Succión	0,40	m ₁	48	330948,3	403902,34	1,11E-04	0,0239	0,0004486	0,248	5855,92	1,50E-06	0,036	2,580	0,01	4,5	0,01	0,03	0,52	0,008	1,182	33,831	35,54	0,11	0,070	14,02
	Descarga	0,40	m ₂	0	0	72954,00	1,11E-04	0,0191	0,0002865	0,388	7327,56	1,50E-06	0,034	3,370	0,05	13,5	0,10	0,15								
	Descarga	0,40	m ₇	0	0	72954,00	1,11E-04	0,0146	0,0001674	0,664	9586,06	1,50E-06	0,032	1,790	0,09	7,3	0,16	0,25								
Q7	Succión	0,20	m ₁	54	372316,9	445270,88	5,56E-05	0,0239	0,0004486	0,124	2927,96	1,50E-06	0,045	2,580	0,00	4,5	0,00	0,01	0,14	0,002	1,182	38,060	39,38	0,06	0,039	7,77
	Descarga	0,20	m ₂	0	0	72954,00	5,56E-05	0,0191	0,0002865	0,194	3663,78	1,50E-06	0,042	3,370	0,01	13,5	0,03	0,04								
	Descarga	0,20	m ₇	0	0	72954,00	5,56E-05	0,0146	0,0001674	0,332	4793,03	1,50E-06	0,038	1,790	0,03	7,3	0,04	0,07								

(a)

NOTA

Categoría Del Diagrama

(a).- Resultados de Altura Total y Eficiencia la línea N =5

Certificado Para Eliminar

Por Aprobar Para Información

Aprobado Para Calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Realizado Por: FAUSTO CAIBE

RESULTADOS DE LA LINEA DE TUBERÍA N=5

Lámina	Escala	Fecha
12	X:1 Y:1	05/05/2012

ANEXO XIII

EQUIPO DE TRANSPORTE DE FLUIDOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES (Rotámetro)



NOTA

Equipo Construido

Categoría Del Diagrama

Certificado Para Eliminar
 Por Aprobar Para Información
 Aprobado Para Calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
 DE CHIMBORAZO
 ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 Realizado Por: FAUSTO CAIBE

EQUIPO CONSTRUIDO

Lámina	Escala	Fecha
13	X:1 Y:1	05/05/2012

ANEXO XIV

MEDICIÓN DE PRESIONES Y CAUDAL



NOTA	Categoría Del Diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	MEDICIÓN DE PRESIONES Y CAUDAL		
Medición De Presiones Y Caudal	Certificado <input type="checkbox"/> Para Eliminar <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para Calificar <input type="checkbox"/>	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA			
		Realizado Por: FAUSTO CAIBE	Lámina	Escala	Fecha
			14	X:1 Y:1	05/05/2012

