

**CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS
DE ENERGÍA EN UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS PARA EL
LABORATORIO DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS
ADSCRITO A LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA.**

ANDERSON GERARDO QUIROGA PINEDA

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
BUCARAMANGA
2010**

**CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS
DE ENERGÍA EN UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS PARA EL
LABORATORIO DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS
ADSCRITO A LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA.**

ANDERSON GERARDO QUIROGA PINEDA

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
JAVIER RUGELES
Ingeniero Mecánico**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
BUCARAMANGA**

2010

A Dios, mis padres, compañeros y amigos

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la salud, sabiduría y gracia.

A mis padres por apoyo incondicional,

Al Ing. Javier Rúgeles y mis compañeros, por su apoyo,

A la Escuela de Ingeniería Mecánica por la formación integral y profesional

Impartida a lo largo de mi experiencia universitaria.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	15
1. CONSTRUCCIÓN DEL BANCO	16
1.1 REVISION DEL DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS Y ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL BANCO.	17
1.2 PRESUPUESTO DE MATERIALES Y HERRAMIENTAS	18
1.2.1 Materiales Para La Construcción.	18
1.2.2 Herramienta De Trabajo.	20
1.3 SOLDADURA DE LOS SISTEMAS DEL BANCO DE PRUEBAS	21
1.3.1 Preparación De Materiales.	21
1.3.2 Consideraciones En La Ejecución De Cordones De Soldadura	22
Análisis Del Proyecto.	23
1.3.3 La Fabricación - (La Soldadura).	24
1.3.4 Bridas Con Niples.	25
1.4 ENSAMBLE DE LOS SISTEMAS DEL BANCO DE PRUEBAS	29
1.5 ESTRUCTURA DEL BANCO DE PRUEBAS DENTRO DEL LABORATORIO	29
1.5.1 Instalación De Los Sensores.	32
1.6 LIMPIEZA DEL BANCO DE PRUEBAS	33
2. REALIZACIÓN Y COMPROBACIÓN DE LAS PRÁCTICAS EN BANCO DE PRUEBAS	34
CONCLUSIONES	43
RECOMENDACIONES	44
BIBLIOGRAFIA	45
ANEXOS	46
ANEXO A. MANUAL DE PRUEBAS PARA EL BANCO DE PERDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS	46

ANEXO B. PRÁCTICAS DEL BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS	57
ANEXO C. FICHAS TÉCNICAS	116
1.3.1 PROGRAMACIÓN DE TORNEADO PARA LA OBTENCIÓN DE BRIDAS INOXIDABLES PARA TUBERÍA DE ¼.	121
ANEXO D. PLANOS	126

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cronograma De Actividades Para La Construcción Del Banco De Pruebas.	16
Tabla 2. Materiales Para La Construcción Del Banco De Pruebas.	18
1.5 Estructura Del Banco De Pruebas Dentro Del Laboratorio	29
Tabla 3. Pesos De Los Sistemas De Descarga Del Banco De Pruebas	31
Tabla 4. Toma De Datos Del Banco De Pruebas	34
Tabla 5. Resultados Obtenidos De Factor De Fricción Del Banco De Pruebas	36
Tabla 6. Resultados Obtenidos De Rugosidad Del Banco De Pruebas.	38
Tabla 7. Resultados Obtenidos De Coeficiente De Pérdidas Del Banco De Pruebas.	40
Tabla 8. Resultados Obtenidos De La Curva ΔP Vs Q De La Bomba Ecojet Del Banco De Pruebas.	41
Tabla 9. Toma De Datos De Las Bomba Ecojet Operando En Serie Y Paralelo Del Banco De Pruebas.	42

LISTA DE FIGURAS

	PÁG.
Figura 1. Diseño Del Soporte Del Banco De Pruebas Anterior	17
Figura 2. Diseño Del Nuevo Soporte Del Banco De Pruebas	17
Figura 3. Tramos De Tuberías A Soldar Con Las Bidas	22
Figura 4. Matriz Para Soldar La Brida Y El Niple Del Banco De Pruebas	22
Figura 5. Construcción Del Tanque Del Banco De Pruebas	23
Figura 6. Soldadura De Brida A Niple	25
Figura 7. Bidas Y Niples Soldados	25
Figura 8. Brida Y Niple Punteado Con Soldadura	25
Figura 9. Soldadura Del Tanque	26
Figura 10. Brida Soldado Al Tanque	26
Figura 11. Sistema Líneas De Trabajo	27
Figura 12. Sistema Ramifica Y Toma De Presión De Entrada	28
Figura 13. Sistema Ramificado De Salida	28
Figura 14. Soporte Del Banco De Pruebas En La Estructura	30
Figura 15. Distribución De Cargas En La Estructura Del Banco	31
Figura 16. Tablero Eléctrico Del Banco De Pruebas	33
Figura 17. Sistema De Bombeo Del Banco De Pruebas	41
Figura 18. Curva De ΔP Vs Q	42

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. MANUAL DE PRUEBAS PARA EL BANCO DE PERDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS	46
ANEXO B. PRÁCTICAS DEL BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS	57
ANEXO C. FICHAS TECNICAS	116
ANEXO D. PLANOS	126

RESUMEN

TÍTULO:

CONSTRUCCION DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS*

AUTOR: Anderson Gerardo Quiroga Pineda **
DIRECTOR: Ing. Javier Rúgeles Pérez

PALABRAS CLAVES: Tubería, válvula, bridas, accesorios, sensor, soldadura

DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este proyecto es suministrar a la Escuela de Ingeniería Mecánica, la construcción de un Banco de Pruebas diseñado para la realización de un conjunto de experiencias para la verificación de los comportamientos hidráulicos de las tuberías, accesorios en el área del Transporte de Fluidos.

La construcción del banco se lleva en las siguientes fases

Revisión del diseño del banco de pruebas y estructura de soporte del banco.

Presupuesto de materiales y herramientas:

Soldadura de los siguientes sistemas del banco de pruebas

- a) Sistema de bombeo
- b) Sistema ramificado de entrada
- c) Sistema ramificado de entrada
- d) Sistema de toma de presión de entrada
- e) Sistema de toma de presión de salida
- f) Sistema de descarga a tanque

Ensamble de los sistemas del banco de pruebas

Estructura del banco de pruebas dentro del laboratorio

Realización y comprobación de las prácticas en el banco de pruebas para:

- Validar experimentalmente las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Colebrook- White.
- Evaluación de rugosidad en tuberías.
- Evaluación de las pérdidas en tuberías, accesorios, y válvulas.
- Caracterización de los accesorios y válvulas.
- Elaboración de las curvas de operación (Δp vs Q) de las bombas conectadas en serie y paralelo.
- Caracterización hidráulica de las tuberías.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Profesor: Javier Rúgeles Pérez, Ingeniero Mecánico.

SUMMARY

TITLE:

CONSTRUCTION OF A TEST BENCH FOR THE EVALUATION OF POWER LOSSES IN A FLUID TRANSPORT SYSTEM*

AUTHOR: Anderson Quiroga Pineda **

DIRECTOR: Ing. Javier Rúgeles Pérez

KEYWORDS: System, piping, valves, flanges, fittings, sensor, welding

DESCRIPTION:

The objective of this project is to provide the School of Mechanical Engineering, Building a test bench designed to perform a set of experiences for the verification of the hydraulic behavior of pipes, fittings in the area of fluid transport.

The bank building is in the following phases

Design Review test bed and support structure of the bank.

Budget materials and tools:

Welding of the following test bed

- a) pumping system
- b) branched input system
- c) branched input system
- d) making system inlet pressure
- e) System output pressure tap
- f) tank discharge system

Assembly systems test bed

Bank structure within the laboratory test

Implementation and verification of practices in the test for:

- Validate experimentally the equations of Darcy-Weisbach and Colebrook-White.
- Assessment of roughness in pipes.
- Assessment of losses in pipes, fittings, and valves.
- Characterization of the fittings and valves.
- Development of operating curves (Q vs. Dp) of the pumps connected serial and parallel.
- Hydraulic characterization of the pipes.

* Project of grade

** Faculty of Physics and Mechanical Engineering, School of Mechanical Engineering Professor: Rugeles Javier Perez Mechanical Engineer.

GLOSARIO

ASME / ANSI B 36.19 y B 36.10: Normas de fabricación para Tubos redondos soldados y sin soldadura, con aplicación igualmente usados en equipos de proceso: calentadores, intercambiadores de calor y reactores, así como en la conducción de fluidos ácidos de la industria petroquímica, petrolera y de procesamiento de alimentos.

ASME / ANSI B 16.9: Normas de fabricación para accesorios como, codos soldados y sin soldadura, Tes, Tes reducidas, Reducciones concéntricas y excéntricas, Caps, Stub-ends,

ASME / ANSI B16.5: Bridas ciegas BLIND ANSI-150, ANSI-300 y ANSI-600 , Bridas planas SLIP-ON ANSI-150, ANSI-300 y ANSI-600 según ANSI B-16.5, Bridas con cuello WN ANSI-150, ANSI-300 y ANSI-600 según ANSI B-16.5 , Bridas roscadas THREADED ANSI-150, ANSI-300 y ANSI-600 ANSI B-16.5, Bridas SW ANSI-150, ANSI-300 y ANSI-600 según ANSI B-16.5

AWS/SFA A5.9: TIG-308L, para soldadura mediante los procedimientos GTAW/TIG de los aceros inoxidable austeníticos al Cr-Ni con muy bajo contenido de carbono hasta temperaturas de trabajo máximas de 350 °C.

Soldadura Tig 3/32" x 36" Harris ER308L: Varilla de aporte ER308L para proceso de tungsteno gas inerte (TIG) para soldar aceros inoxidables del tipo 302, 304 y 308

INTRODUCCION

En el año de 1999 La Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander realizó un proceso de auto evaluación propuesto por el Sistema Nacional de Acreditación, con el fin de alcanzar una mayor calidad en el programa que ella ofrece, encontrándose como una de las principales debilidades en el ámbito de los procesos académicos la obsolescencia, desactualización y operación inadecuada del 50% de sus Laboratorios.

En el año 2004 se diseña un banco de pruebas para la evaluación de pérdidas de energía en un sistema de transporte de fluidos, con el fin de incrementar el potencial y versatilidad que ofrecía el Banco anterior, mediante el aumento del número de parámetros a variar, como rugosidad, análisis de pérdidas en tuberías, accesorios, válvulas, determinación de las curvas de las bombas operando individualmente, en serie y paralelo

En el año 2009 en los meses de junio se arranca con la construcción del banco de pruebas en las instalaciones de una empresa metalmecánica Scipem Ltda., donde se alquilo, espacio, equipo de soldadura y se contrato a un soldador con experiencia en soldadura.

La tesis de grado consta de varias fases, Presupuesto de materiales, Soldadura de los sistemas del banco de pruebas, Ensamble de los sistemas del banco de pruebas, Soporte del banco de pruebas dentro del laboratorio, Limpieza del banco de pruebas, Realización de las prácticas en el banco de pruebas.

En el banco se toma las lecturas de la presión y caudal a través de los sensores instalados realizando los cálculos para:

- Validar experimentalmente las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Colebrook-White.
- Evaluación de rugosidad en tuberías.
- Evaluación de las pérdidas en tuberías, accesorios, y válvulas.
- Caracterización de los accesorios y válvulas.
- Elaboración de las curvas de operación (Δp vs Q) de las bombas conectadas en serie y paralelo.

1. CONSTRUCCIÓN DEL BANCO

Al comenzar la construcción del banco se realizo de acuerdo al siguiente cronograma mostrado en la tabla 1.

Tabla 1. Cronograma de actividades para la construcción del banco de pruebas.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES REALIZADAS												
Actividades	Tiempo en meses											
	may-09	jun-09	jul-09	ago-09	sep-09	oct-09	nov-09	dic-09	ene-10	feb-10	mar-10	abr-10
Preparación de niples												
Soldadura de niples y bridas de 1/4"												
Soldadura de niples y bridas de 1/2", 3/4" y 1"												
Soldadura de sistema de líneas de trabajo												
Soldadura de sistema ramificado de entrada												
Soldadura de sistema ramificado de salida												
Soldadura de Sistema de lectura de presión de entrada												
Soldadura de Sistema de lectura de presión de salida												
Soldadura de Sistema de descarga												
Soldadura de Sistema de bombeo												
Ensamble de estructura de banco de pruebas												
Pulimento y limpiado de banco de pruebas												
Montaje del banco de pruebas en la estructura												
Realización de pruebas y comprobación de cálculos												

1.1 REVISION DEL DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS Y ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL BANCO.

Se opto por cambiar el soporte del banco de pruebas, en la estructura, con el fin de reducir costos en materiales, tornillería y mejorar la estabilidad de la tubería en el soporte en la estructura, como se muestra en la Figura 1 y Figura 2

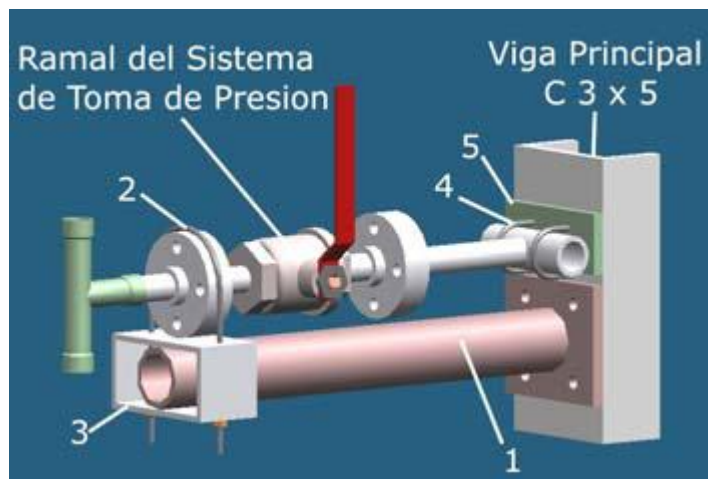


Figura 1. Diseño del Soporte del banco de pruebas anterior

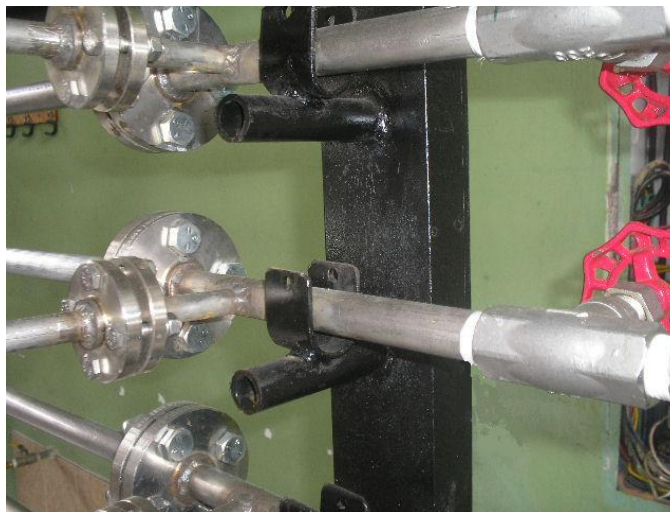


Figura 2. Diseño del nuevo soporte del banco de pruebas

1.2 PRESUPUESTO DE MATERIALES Y HERRAMIENTAS

1.2.1 Materiales para la construcción.

Relación de los costos de todos los materiales para la construcción del banco de pruebas se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Materiales para la construcción del banco de pruebas.

PRESUPUESTO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DEL BANCO				
DESCRIPCION	UND	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Tubería acero inoxidable 304, Sch 10S, Ø. Nom. 1"	mt	12	\$ 52.552	\$ 630.624
Tubería acero inoxidable 304, Sch 40S, Ø. Nom. 3/4"	mt	6	\$ 35.690	\$ 214.140
Tubería acero inoxidable 304, Sch 40S, Ø. Nom. 1/2"	mt	30	\$ 28.017	\$ 840.510
Tubería acero inoxidable 304, Sch 40S, Ø. Nom. 1/4"	mt	18	\$ 18.879	\$ 339.822
Tubería acero galvanizado, Sch 40S, Ø. Nom. 1/2"	mt	6	\$ 6.035	\$ 36.210
Te acero inoxidable 304, Sch 10S, Extremos para soldar a tope, Ø. Nom. 1"	unidad	4	\$ 19.760	\$ 79.040
Te acero inoxidable 304, Sch 10S, Extremos para soldar a tope, Ø. Nom. 1/2"	unidad	21	\$ 17.160	\$ 360.360
Te acero inoxidable 304, Extremos Roscados, Ø. Nom. 1/4"	unidad	22	\$ 7.414	\$ 163.108
Codo 90° Radio Largo,acero inoxidable 304, Sch 10S, extremos para soldar a tope, Ø. Nom. 1"	unidad	11	\$ 8.288	\$ 91.168
Codo 90° Radio Largo,acero inoxidable 304, Sch 10S, extremos para soldar a tope, Ø. Nom. 3/4"	unidad	2	\$ 5.712	\$ 11.424
Codo 90° Radio Largo,acero inoxidable 304, Sch 10S, extremos para soldar a tope, Ø. Nom. 1/2"	unidad	13	\$ 5.200	\$ 67.600
Codo 90° Radio Largo,acero inoxidable 304, Sch 10S, extremos Roscados, Ø. Nom. 1/4"	unidad	19	\$ 5.000	\$ 95.000
Reducción (Copa) concentrica, acero inoxidable 304, Sch 10S, Extremos para soldar a tope, Ø. Nom. 1"x1/2".	unidad	2	\$ 9.520	\$ 19.040
Reducción (Copa) concentrica, acero inoxidable 304, Sch 10S, Extremos para soldar a tope, Ø. Nom. 3/4"x1/2".	unidad	2	\$ 8.500	\$ 17.000
Válvula de Bola, Acero inoxidable 304, 2 piezas, Clase 200 WOG, Extremos Roscados, Ø. Nom. 1"	unidad	4	\$ 30.800	\$ 123.200
Válvula de Bola, Acero inoxidable 304, 2 piezas, Clase 200 WOG, Extremos Roscados, Ø. Nom. 1/2"	unidad	6	\$ 15.450	\$ 92.700
Válvula de Bola, Acero inoxidable 304, 2 piezas, Clase 200 WOG, Extremos Roscados, Ø. Nom. 1/4"	unidad	28	\$ 14.200	\$ 397.600
Válvula Globo, Acero inoxidable 304, Clase 200 WOG, Extremos Roscados, Ø. Nom. 1"	unidad	1	\$ 107.200	\$ 107.200
Válvula Globo, Acero inoxidable 304, Clase 200 WOG, Extremos Roscados, Ø. Nom. 3/4" Dos piezas	unidad	1	\$ 183.400	\$ 183.400

Continúa en la siguiente página

Tabla 2. Materiales para la construcción del banco de pruebas. Continuación

PRESUPUESTO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DEL BANCO				
DESCRIPCION	UND	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Válvula Check tipo cortina (Oscilante), Acero inoxidable 304, Clase 200 WOG, Extremos Roscados, Ø. Nom. 1"	unidad	3	\$ 56.800	\$ 170.400
Válvula Check tipo cortina (Oscilante), Acero inoxidable 304, Clase 200 WOG, Extremos Roscados, Ø. Nom. 1/2"	unidad	1	\$ 35.000	\$ 35.000
Válvula de Compuerta, Acero inoxidable 304, Clase 200 WOG, Extremos Roscados, Ø. Nom. 1/2"	unidad	1	\$ 50.950	\$ 50.950
Eje inox 2 1/4" x 3/4	unidad	120	\$ 15.613	\$ 1.873.560
Lamina inox 304 1mt x 1,80 mt cal 1/8"	unidad	1	\$ 950.000	\$ 950.000
5 Kg aporte soldadura 3/32" Harris	unidad	1	\$ 378.624	\$ 378.624
Alquiler de Equipo de soldadura TIG	unidad	4	\$ 70.000	\$ 280.000
INSERTO CNMG120412MP KC92225	unidad	10	\$ 26.000	\$ 260.000
Bridas inoxidables 1/4" x 300	unidad	120		\$ -
Bridas inoxidables 1/2" x 300	unidad	86	\$ 20.000	\$ 1.720.000
Bridas inoxidables 3/4" x 300	unidad	6	\$ 35.000	\$ 210.000
Bridas inoxidables 1" x 300	unidad	48	\$ 40.000	\$ 1.920.000
Tuerca + Arandela + Wasa para tornillo de Ø 1/8".	unidad	220	\$ 560	\$ 123.200
Tornillo de acero inoxidable 304, cabeza hexagonal, Ø 1/4", Longitud 1 1/2" +Tuerca + Arandela + Wasa.	unidad	364	\$ 750	\$ 273.000
Tornillo de acero galvanizado 304, cabeza hexagonal, Ø 1/2", Longitud 2" +Tuerca + Arandela + Wasa.	unidad	240	\$ 500	\$ 120.000
Tornillo de acero SAE grado 2 o superior, cabeza hexagonal, Ø 3/8", Longitud 1 1/2" +Tuerca + Arandela + Wasa.	unidad	90	\$ 400	\$ 36.000
Empaques de Asbesto, espesor 1/8", Ø. Ext. 2", Ø. Int. 1 1/2".	unidad	24	\$ 6.000	\$ 144.000
Empaques de Asbesto, espesor 1/8", Ø. Ext. 1 5/8", Ø. Int. 1 3/16".	unidad	3	\$ 5.500	\$ 16.500
Empaques de Asbesto, espesor 1/8", Ø. Ext. 1 7/16", Ø. Int. 15/16".	unidad	43	\$ 5.400	\$ 232.200
Empaques de Asbesto, espesor 1/8", Ø. Ext. 1 3/16", Ø. Int. 9/16".	unidad	60	\$ 5.200	\$ 312.000
Perfil L 2" x 2" x 3/16"	Tramo	5	\$ 35.000	\$ 175.000
Perfil C 3" x 5	Tramo	2	\$ 45.000	\$ 90.000
Perfil rectangular (Platina) 2" x 1/8".	Tramo	2	\$ 22.000	\$ 44.000
Abrazadera para tubería de D.N. 1/2". (Varilla acero Ø 1/8", Long. Total 16 cm, Rosca 1 1/4" por extremo).	unidad	70	\$ 3.500	\$ 245.000
Abrazadera para tubería de D.N. 3/4". (Varilla acero Ø 1/8", Long. Total 16 cm, Rosca 1 1/4" por extremo).	unidad	10	\$ 3.000	\$ 30.000

Continúa en la siguiente página

Tabla 2. Materiales para la construcción del banco de pruebas. Continuación

PRESUPUESTO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DEL BANCO				
DESCRIPCION	UND	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Abrazadera para bridas de Ø 2 3/16". (Varilla acero Ø 1/8", Long. Total 23 cm, Rosca 1 1/4" por extremo).	unidad	10	\$ 3.100	\$ 31.000
Racord para manguera, acero inoxidable, (NPT 1" x Manguera 3/4").	unidad	1	\$ 23.900	\$ 23.900
Racord para manguera, acero inoxidable, (NPT 1/2" x Manguera 1/2").	unidad	2	\$ 16.500	\$ 33.000
Racord para manguera, acero inoxidable, (NPT 1/2" x Manguera 1/4").	unidad	2	\$ 16.500	\$ 33.000
Racord para manguera, acero inoxidable, (NPT 1/4" x Manguera 1/4").	unidad	6	\$ 16.500	\$ 99.000
Manguera transparente con malla (Flexo), Pmax= 200 psi, Ø. 3/4".	mt	2	\$ 6.300	\$ 12.600
Manguera transparente con malla (Flexo), Pmax= 200 psi, Ø. 1/2".	mt	2,5	\$ 2.700	\$ 6.750
Manguera transparente con malla (Flexo), Pmax= 200 psi, Ø. 1/4".	mt	14	\$ 2.500	\$ 35.000
Abrazaderas de acero inoxidable, para manguera Ø. 3/4"	unidad	2	\$ 7.500	\$ 15.000
Abrazaderas de acero inoxidable, para manguera Ø. 1/2"	unidad	4	\$ 1.500	\$ 6.000
Abrazaderas de acero inoxidable, para manguera Ø. 1/4"	unidad	16	\$ 1.200	\$ 19.200
<i>Roscado nipples de tubería acero inox 1/4</i>	unidad	120	\$ 3.800	\$ 456.000
<i>Roscado nipples de tubería acero inox 1/2</i>	unidad	36	\$ 2.860	\$ 102.960
<i>Roscado nipples de tubería acero inox 3/4</i>	unidad	6	\$ 2.400	\$ 14.400
<i>Roscado nipples de tubería acero inox 1"</i>	unidad	26	\$ 2.000	\$ 52.000
				\$ -
TOTAL + IVA				\$ 15.069.990

1.2.2 Herramienta de Trabajo.

- Equipo de soldadura Firepower FP235 - 230 Volt A/C-D/C Arc Welding System El FP235 AC / DC proporciona potentes 235 Amp Amp AC/185 DC Arco (SMAW) funcionamiento de la soldadura a un precio asequible. La Salida de CC produce mejores soldaduras visuales, con más control y menos salpicaduras. Es el método preferido para los gastos indirectos, de soldadura en posición. El FP235 con funciones de ajuste de amperaje infinito, que proporciona un control preciso de

soldadura. Esta unidad versátil es ideal tanto para la luz y las reparaciones de servicio pesado. El FP235 es rugoso, diseño portátil ofrece la fiabilidad y el rendimiento para que sea una unidad ideal para la fabricación general. Contiene AC soldadura de salida, Ajuste el amperaje Infinito, Termostáticos protección contra el calor, Rueda de portátiles y manejar kit, Profesionales estilo conexiones de cable DINSE, transformador refrigerado por ventilador, El indicador luminoso de alimentación, indicador luminoso de sobrecarga térmica, protección contra el calor Termostáticos, 6 pies y cable de tierra de pinza de trabajo, 6 pies cable de alimentación (sin enchufe)

- Soldadura Tig 3/32" x 36" Harris ER308L
- Electrodo de Tungsteno EWTh-2 de 3/32"
- Pulidora pequeña Black and Decker
- Discos de corte Neo 4 14/2" x 0.8mm
- Tronzadora Black and Decker
- Discos de Tronzadora de 12" x 3mm
- Lima media caña
- Gratas de pulir inoxidable de 2"
- Taladro Black and Decker
- Brocas marca Irwin 1/8", 3/8", 1/2"

Mano de obra

- Soldador con experiencia en electrodo revestido y Soldadura Tig.
- Técnico mecánico
- Ayudante mecánico

1.3 SOLDADURA DE LOS SISTEMAS DEL BANCO DE PRUEBAS

1.3.1 Preparación de materiales.

Preparación de materiales para realizar la soldadura correspondiente

- a) Corte de los extremos de las tuberías, ver Figura 3.

- b) Biselado interno y externo de los niples.
- c) Realización de una galga para el centrado de la brida con la tubería.



Figura 3. Tramos de tuberías a soldar con las bridas

Antes de soldar las bridas con los niples se preparo una matriz, en donde se verificaba a escuadra la posición de la brida y el niple evitando que quedaran desalineados., como se ve en la Figura. 4.



Figura 4. Matriz para soldad la brida y el niple del banco de pruebas

1.3.2 Consideraciones en la ejecución de cordones de soldadura

Durante el soldeo proporcionamos calor que se propaga a lo largo y ancho de las piezas, produciéndose:

- a). Un enfriamiento más o menos rápido de las partes de las piezas en las que la temperatura ha superado la del punto crítico del acero.
- b). Contracciones de las zonas calentadas al enfriarse posteriormente.

La velocidad de enfriamiento de la pieza tiene un efecto importante sobre la modificación de la estructura cristalina del metal, lo cual se traduce en una modificación de sus características mecánicas y, en especial, en un aumento de su fragilidad. Las contracciones, sólo proporcionarían deformaciones, además, tensiones internas, que serán mayores a medida que la producción de calor sea mayor o, lo que es equivalente, a medida que las piezas sean más gruesas.

Análisis del proyecto. El proyecto más económico para una fabricación soldada es el que requiere el menor número y un mínimo de soldadura necesaria. Los puntos más importantes que el proyectista tiene que considerar son:

Economía en el número de componentes que componen el conjunto. Usar perfil laminado o doblado en lugar de soldado, en este caso el tanque se construye con lamina de acero inoxidable doblada para realizar un solo cordón lateral, como se observa en la Figura. 5.

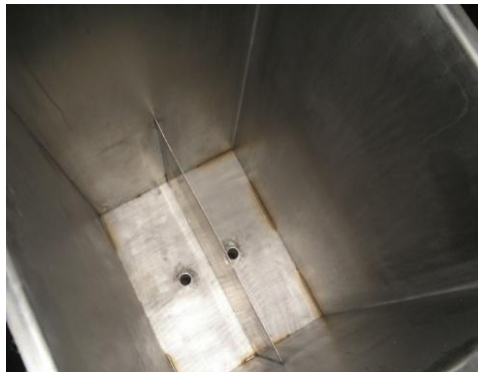


Figura 5. Construcción del tanque del banco de pruebas

Optimización en el volumen de soldadura a depositar, tanto por la reducción en el número de uniones soldadas, como en la reducción en el volumen o sección de

cada uno de los biseles, y en la especificación de las alturas mínimas en las soldaduras de filete entre las bridas y las tuberías inoxidable a soldar.

Ser lo mas preciso posible en las tolerancias de fabricación.

Localización de los chanfles o de las soldaduras en filete.

Se mantuvo las Simetrías de las piezas a soldar para que ayude en el equilibrio de las tensiones.

Se analizo la altura (garganta) de los filetes en relación a los espesores de las chapas, o la profundidad de los chanfles, eliminándose el súper dimensionamiento de los cordones de soldadura.

La soldadura se realizo separándose el conjunto a soldar, en algunos sub conjuntos que puedan ser fabricados separadamente.

La operación de enderezado o atenuación de las deformaciones es costosa, por lo que se realizo soldadura en puntos y luego el cordón.

Cuanto mayor el sobre espesor, más tiempo se pierde con el enderezado o atenuación de las distorsiones.

1.3.3 La Fabricación - (La Soldadura). La etapa de ejecución de la pieza, a través de la soldadura es la última durante la cual podemos evitar o disminuir, aún, una excesiva deformación de la estructura soldada. La mayor parte de las técnicas a ser empleadas en esa etapa, fueron pre-establecidas en el análisis antes de soldar.

Se procede a realizar soldadura intercaladamente para evitar que la tubería se doble debido al calor recibido.

La secuencia de soldadura se lleva a cabo de la siguiente manera:

1.3.4 Bridas con niples.

Realización de la soldadura de los siguientes elementos ver Figura 6:



Figura 6. Soldadura de Brida a niple

- Bridas inoxidable de ¼" con nicles, ver Figura 7



Figura 7. Bridas y niples soldados

- Bridas inoxidable de ½" con nicles, ver Figura 8



Figura 8. Brida y niple punteado con soldadura

- Bridas inoxidable de ¾" con niples
- Bridas de 1" con niples
- Soldadura del tanque de agua

Doblado de lámina de acero inoxidable en cuadrado, para posteriormente soldar la base inferior como se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Soldadura del tanque

Soldadura de las bridas del tanque donde llegara la tubería de succión de las bombas, ver Figura 10.



Figura 10. Brida soldado al tanque

1.3.5 Líneas de trabajo.

Después de tener lista las bridas con sus respectivos nipples se procede a armar las líneas de trabajo y soldar las tuberías con bridas teniendo en cuenta que los orificios donde se toma la caída de presión diferencial sea de 2.50 mt, ver Figura 11.



Figura 11. Sistema líneas de trabajo

La unión por soldadura de los accesorios con la tubería se realiza en los siguientes pasos:

1. Líneas de trabajo.
 - a. Línea de trabajo 1
 - b. Línea de trabajo 2
 - c. Línea de trabajo 3
 - d. Línea de trabajo 4
 - e. Línea de trabajo 5
 - f. Línea de trabajo 6
 - g. Línea de trabajo 7
 - h. Línea de trabajo 8
 - i. Línea de trabajo 9
 - j. Línea de trabajo 10

- 2 Montaje del sistema ramificado de entrada con las líneas de trabajo, para determinar la longitud de los nipples que van el sistema ramificado de salida y así proceder a soldar los dos sistemas ramificados con las líneas de trabajo, ver Figura 12



Figura 12 sistema ramifica y toma de presión de entrada

- 3 Sistema de toma de presión de entrada y salida, ver Figura 13.



Figura 13. sistema ramificado de salida

- 4 Sistema de bombeo de succión y descarga.

1.4 ENSAMBLE DE LOS SISTEMAS DEL BANCO DE PRUEBAS

Después del armado de los sistemas del banco de pruebas se procede a ensamblar el banco de pruebas apretando los tornillos $\frac{1}{2}$ " x 2" galvanizado con torque de 12lb-ft de la siguiente forma:

- a) Ensamblar el sistema ramificado de entrada junto con las 9 líneas de presión seguido del sistema ramificado de salida a través de las bridas de $\frac{1}{2}$ " x 150, apretando los tornillos con sus respectivas tuercas.
- b) Ensamblar los sistemas de presión de entrada y salida en sus respectivos sistemas ramificados.
- c) Ensamblar el sistema de bombeo uniendo a través de las bridas de 1"
- d) Realización de prueba de presión a 200 psi, presentándose algunas fugas en las bridas.
- e) Apriete de los tornillos de las bridas para eliminar fugas.

1.5 ESTRUCTURA DEL BANCO DE PRUEBAS DENTRO DEL LABORATORIO

La construcción de la estructura del banco de pruebas se hace modularmente, para su fácil armado y desarmado cuando se requiera reubicar dentro de las instalaciones del campus.

La construcción se realizó mediante perfiles comerciales A36 en C de 3" x 3/16", ángulos de 2" x 3/16 y platinas de 2" x 1/8, atornillado, como se muestra en los planos en el anexo

El soporte de las líneas de trabajo del banco se hizo en lámina cal 1/8" doblada en U, en tubo de 1" sch 40 para soportar en 4 partes cada tubería de las líneas que conforma el banco de pruebas, ver Figura 14.

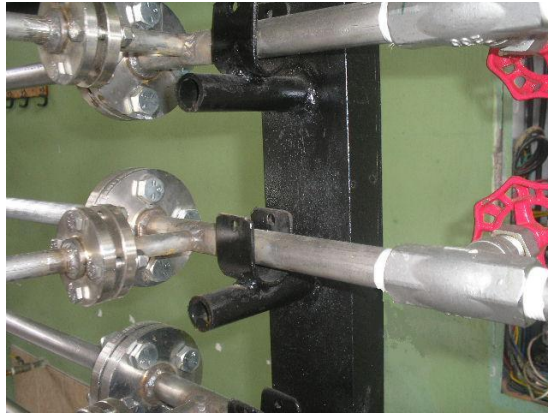


Figura 14. Soporte del banco de pruebas en la estructura

A continuación se muestra el CAE de la estructura del banco de pruebas análisis de esfuerzos, deformaciones y Factor de Seguridad del diseño, con las siguientes propiedades:

- Acero aleado
- Material Isotrópico elástico lineal
- Módulo elástico 210 GPa
- Coeficiente de Poisson: 0.28 NA
- Densidad 7700 en kg/m³
- Límite elástico : 420 MPa
-

A partir de la información técnica contenida en el anexo se toma el peso de las tuberías, bridas, accesorios, válvulas y agua contenida en las mismas para calcular las cargas en la estructura del banco evaluando una distribución aproximada como se muestra en la siguiente tabla 3 y Figura. 15

Tabla 3. Pesos de los sistemas de descarga del banco de pruebas

DESCRIPCION		PESO KG
Sistema de descarga	0	10
Sistema de línea de trabajo	1	15
Sistema de línea de trabajo	2	15
Sistema de línea de trabajo	3	15
Sistema de línea de trabajo	7	15
Sistema de línea de trabajo	5	15
Sistema de línea de trabajo	6	15
Sistema de línea de trabajo	7	15
Sistema de línea de trabajo	8	15
Sistema de línea de trabajo	9	18

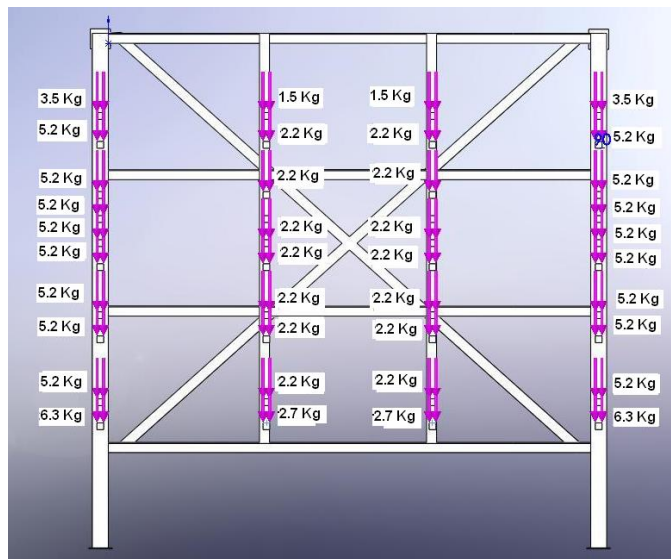


Figura 15. Distribución de cargas en la estructura del banco

Consideraciones del enmallado:

- Malla solida
- Verificación Jacobiana: 4 puntos
- Tamaño de elementos: 24.743 mm

- Tolerancia: 1.2372 mm
- Número de elementos: 32741
- Número de nodos: 71373
- Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss): 0:01:45

Resultados de las tensiones fueron las siguientes:

- Tipo de Tension: Tensión de von Mises
- Tension Maxima: 4.68 MPa

Como la tensión máxima es 4.68 MPa menor que la Tensión permisible 250 Mpa, el factor de seguridad esta por encima de 132, vemos que la estructura soporte el banco de pruebas

Resultados del análisis de Desplazamientos

Desplazamiento resultante máximo: 0.188677 mm

1.5.1 Instalación de los sensores.

Para la instalación de los sensores se construyo un tablero eléctrico en lamina HR cal 16 de 75 cm x 25 cm x 22 cm con los respectivos instrumentos, ver Figura 16.

- Un Sensor de Presión diferencial Siemens, con cable apantallado 4 x 16 conectado a fuente de alimentación.
- Dos sensores de Presión Manométrica Siemens, con cable apantallado 4 x 16 conectado a fuente de alimentación.
- Sensor de Caudal, con cable apantallado 4 x 16 conectado a fuente de alimentación.
- Fuente de alimentación 24V a 2.5 Amp,
- Interruptores para prendido y apagado de las dos bombas A y B.

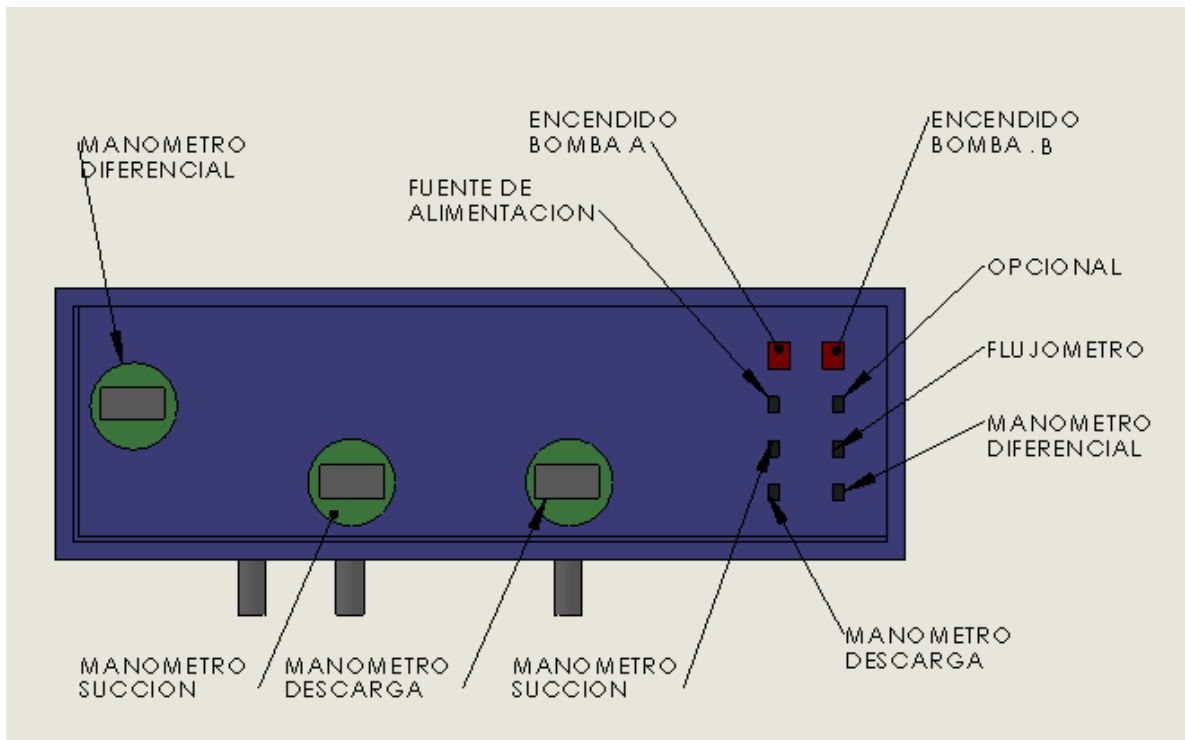


Figura 16. Tablero Eléctrico del banco de pruebas

1.6 LIMPIEZA DEL BANCO DE PRUEBAS

El acero inoxidable es un material muy utilizado en la industria farmacéutica, alimentos y biológicos, por sus propiedades de material, pero es necesario también que superficies deben estar libre de contaminantes y partículas extrañas. Para la construcción del banco de pruebas se tuvo en cuenta los siguientes procedimientos de limpieza.

- Polvo y suciedad: Lavar con agua y/o detergente. Si es necesario, hacerlo con agua a presión o vapor
- Inclusiones de partículas de hierro: Tratar la superficie con solución de ácido nítrico al 20%. Lavar con agua limpia.
- Productos de proceso: Lavar con agua limpia o vapor, o disolver mediante solvente adecuado
- Rasguños, manchas de calentamiento: Se paso disco de lija numero 220, para eliminar suciedad
- Rugosidades: Pulir con un abrasivo de grano fino numero 440
- Marcas de decapante de soldadura: Eliminar mediante abrasivo de grano fino, numero 220

- Defectos de soldadura: Si es inaceptable, eliminar con amoladora y volver a soldar
- Aceite y grasa: Eliminar con solventes o limpiadores alcalinos

Para la estructura del banco de pruebas se aplico pintura sintetica.

2. REALIZACIÓN Y COMPROBACIÓN DE LAS PRÁCTICAS EN BANCO DE PRUEBAS

Las líneas de trabajo están distribuidas de la siguiente forma.

- Línea 1: Tubería acero inoxidable de $\frac{3}{4}$ "
- Línea 2: Tubería acero inoxidable de $\frac{1}{2}$ "
- Línea 3: Tubería acero Galvanizado de $\frac{1}{2}$ "
- Línea 4: Tubería acero inoxidable de $\frac{1}{2}$ " con válvula Globo
- Línea 5: Tubería acero inoxidable de $\frac{1}{2}$ " con Válvula Cheque
- Línea 6: Tubería acero inoxidable de $\frac{1}{2}$ " con Válvula Bola
- Línea 7: Tubería acero inoxidable de $\frac{1}{2}$ " con Válvula Compuerta
- Línea 8: Tubería acero inoxidable de $\frac{1}{2}$ " con 4 codos
- Línea 9: Tubería acero inoxidable de $\frac{1}{2}$ " en serie y paralelo con 4 válvulas bola

En las siguientes tabla 4 se muestra los siguientes datos:

- Presión diferencial en las líneas de trabajo del banco de pruebas
- Presión de Succión de la bomba en operación.
- Presión de descarga de la bomba en operación.
- Flujo de agua que pasa por la tubería de descarga.

Consideraciones:

Temperatura ambiente: 25C

Viscosidad dinámica, Kg/m*seg @ 25 C: 0,000852

Tabla 4. Toma de datos del banco de pruebas

GPM	4,7			
	LINEA	P Diferencial, bar.	P succión bar.	P descarga bar.
1		0,022	0,07	3,88
2		0,01	0,07	3,81
3		0,061	0,07	3,78
4		0,104	0,07	3,77

5	0,042	0,07	3,79
6	0,159	0,07	3,84
7	0,11	0,07	3,77
8	0,061	0,07	3,83
GPM		8,2	
LINEA	P Diferencial, bar.	P succión bar.	P descarga bar.
1	0,23	0,06	3,31
2	0,47	0,06	3,31
3	0,49	0,06	3,28
4	0,58	0,06	3,44
5	0,41	0,06	3,28
6	0,59	0,06	3,43
7	0,52	0,06	3,33
8	0,55	0,06	3,4
GPM		10,1	
LINEA	P Diferencial, bar.	P succión bar.	P descarga bar.
1	0,62	0,06	2,86
2	0,98	0,06	2,99
3	1	0,06	3,04
4	1,1	0,06	3,06
5	0,9	0,06	2,95
6	1,21	0,06	2,96
7	1,05	0,06	3,06
8	1,11	0,06	3,08
GPM		11,3	
LINEA	P Diferencial, bar.	P succión bar.	P descarga bar.
1	1,03	0,05	2,64
2	1,46	0,05	2,79
3	1,44	0,05	2,84
4	1,52	0,05	2,88
5	1,36	0,05	2,71
6	1,67	0,05	2,71
7	1,44	0,05	2,94
8	1,55	0,05	2,92

Como vemos en la tabla anterior:

A medida que aumentamos el caudal en la bomba

- La Presión diferencial en las líneas de trabajo aumenta
- La Presión de succión y Descarga disminuye

Teniendo en cuenta los valores:

- Diámetro de tubería,
- Rugosidad de la tubería
- Caudal medido en la tubería de descarga
- Presión Diferencial en las líneas de trabajo

Calculamos:

- Velocidad de flujo
- Numero de Reynolds
- Factor de Fricción
- Perdidas de Ecuación de Darcy Weisbach
- Factor de Fricción de Swamee-Jain
- % Error de Swamee-Jain

Tabla 5. Resultados obtenidos de factor de fricción del banco de pruebas

Línea de Prueba	Línea	D EXT (mm)	Rugosidad (m)	Caudal (gpm)	Presión Diferencial (bar.)	Reynolds	D/ε	Fricción (f) Moody	Darcy hL (m)	Factor Fricción Swamee-Jain	Error Swamee-Jain
Tubería inoxidable 3/4"	1	26,67	0,000046	4,22	0,019	19009,8	455	0,03	0,11	0,031	2,3
		26,67	0,000046	4,7	0,022	21172,1	455	0,028	0,13	0,03	7,3
		26,67	0,000046	6,33	0,063	28514,7	455	0,028	0,23	0,029	3,4
		26,67	0,000046	7,7	0,023	34686,2	455	0,028	0,34	0,028	1
		26,67	0,000046	10,1	0,62	45497,4	455	0,028	0,58	0,027	-1,9
		26,67	0,000046	11,3	1,03	50903,1	455	0,028	0,73	0,027	-3
Tubería inoxidable 1/2"	2	21,34	0,000046	4,22	0,002	25182	343	0,028	0,42	0,031	9,1
		21,34	0,000046	4,7	0,01	28046,3	343	0,028	0,52	0,03	7,9
		21,34	0,000046	6,33	0,056	37773	343	0,028	0,94	0,029	5
		21,34	0,000046	7,7	0,47	45948,2	343	0,028	1,39	0,029	3,3
		21,34	0,000046	10,1	0,98	60269,7	343	0,028	2,39	0,028	1,3
		21,34	0,000046	11,3	1,46	67430,5	343	0,028	2,99	0,028	0,5
Tubería Galvanizado de 1/2"	3	21,34	0,0001	4,22	0,056	25182	158	0,028	0,42	0,036	22,5
		21,34	0,0001	4,7	0,061	28046,3	158	0,028	0,52	0,036	21,8
		21,34	0,0001	6,33	0,044	37773	158	0,028	0,94	0,035	20,3
		21,34	0,0001	7,7	0,49	45948,2	158	0,028	1,39	0,035	19,4
		21,34	0,0001	10,1	1	60269,7	158	0,028	2,39	0,034	18,4
		21,34	0,0001	11,3	1,44	67430,5	158	0,028	2,99	0,034	18

Continúa en la siguiente página

Tabla 5. Resultados obtenidos de factor de fricción del banco de pruebas.

Continuación.

Línea de Prueba	Línea	D EXT mm	Rugosidad (m)	Caudal (gpm)	Presión Diferencial (bar.)	Reynolds	D/ε	Fricción (f) Moody	Darcy hL (m)	Factor Fricción Swamee-Jain	Error Swamee-Jain
Tubería inoxidable 1/2" val. globo	4	21,34	0,000046	4,22	0,069	25182	343	0,028	0,42	0,031	9,1
		21,34	0,000046	4,7	0,104	28046,3	343	0,028	0,52	0,03	7,9
		21,34	0,000046	6,33	0,031	37773	343	0,028	0,94	0,029	5
		21,34	0,000046	7,7	0,58	45948,2	343	0,028	1,39	0,029	3,3
		21,34	0,000046	10,1	1,1	60269,7	343	0,028	2,39	0,028	1,3
		21,34	0,000046	11,3	1,52	67430,5	343	0,028	2,99	0,028	0,5
Tubería inoxidable 1/2" val. cheque	5	21,34	0,000046	4,22	0,031	25182	343	0,028	0,42	0,031	9,1
		21,34	0,000046	4,7	0,042	28046,3	343	0,028	0,52	0,03	7,9
		21,34	0,000046	6,33	0,019	37773	343	0,028	0,94	0,029	5
		21,34	0,000046	7,7	0,414	45948,2	343	0,028	1,39	0,029	3,3
		21,34	0,000046	10,1	0,9	60269,7	343	0,028	2,39	0,028	1,3
		21,34	0,000046	11,3	1,36	67430,5	343	0,028	2,99	0,028	0,5
Tubería inoxidable 1/2" val. bola	6	21,34	0,000046	4,22	0,15	25182	343	0,028	0,42	0,031	9,1
		21,34	0,000046	4,7	0,159	28046,3	343	0,028	0,52	0,03	7,9
		21,34	0,000046	6,33	0,038	37773	343	0,028	0,94	0,029	5
		21,34	0,000046	7,7	0,59	45948,2	343	0,028	1,39	0,029	3,3
		21,34	0,000046	10,1	1,21	60269,7	343	0,028	2,39	0,028	1,3
		21,34	0,000046	11,3	1,67	67430,5	343	0,028	2,99	0,028	0,5
Tubería inoxidable 1/2" val. compuerta	7	21,34	0,000046	4,22	0,05	25182	343	0,028	0,42	0,031	9,1
		21,34	0,000046	4,7	0,11	28046,3	343	0,028	0,52	0,03	7,9
		21,34	0,000046	6,33	0,081	37773	343	0,028	0,94	0,029	5
		21,34	0,000046	7,7	0,52	45948,2	343	0,028	1,39	0,029	3,3
		21,34	0,000046	10,1	1,05	60269,7	343	0,028	2,39	0,028	1,3
		21,34	0,000046	11,3	1,44	67430,5	343	0,028	2,99	0,028	0,5
Tubería inoxidable 1/2" accesorios	8	21,34	0,000046	4,22	0,044	25182	343	0,028	0,42	0,031	9,1
		21,34	0,000046	4,7	0,061	28046,3	343	0,028	0,52	0,03	7,9
		21,34	0,000046	6,33	0,188	37773	343	0,028	0,94	0,029	5
		21,34	0,000046	7,7	0,55	45948,2	343	0,028	1,39	0,029	3,3
		21,34	0,000046	10,1	1,11	60269,7	343	0,028	2,39	0,028	1,3
		21,34	0,000046	11,3	1,55	67430,5	343	0,028	2,99	0,028	0,5

De los cálculos anteriores se realizan las prácticas 1 y 2 del banco de pruebas donde se observa:

Calculo del número de Reynolds para cada tubería observándose un comportamiento turbulento.

Evaluación del Factor de Fricción utilizando la curva de Moody.

Calculo del Factor de Fricción con la ecuación de Swamee-Jain notándose un porcentaje de error para el acero inoxidable esta entre 0.5 a 10% y acero galvanizado esta alrededor del 17 a 22%.

Para la practica 3 se calcula la Rugosidad de las líneas de trabajo se presentan en la siguiente tabla 6

Tabla 6. Resultados obtenidos de Rugosidad del banco de pruebas.

Línea de Prueba	Línea	D EXT mm	Rugosidad (m)	Caudal (gpm)	Presión Diferencial (bar.)	Fricción (f) Moody	Rugosidad Colebrook	Error Rugosidad
inox 3/4"	1	26,67	4,60E-05	4,22	0,1172	0,03	4,15E-05	9,8307
		26,67	4,60E-05	4,7	0,1202	0,028	2,47E-05	46,236
		26,67	4,60E-05	6,33	0,1612	0,028	3,89E-05	15,522
		26,67	4,60E-05	7,7	0,1212	0,028	4,61E-05	-0,235
		26,67	4,60E-05	10,1	0,7182	0,028	5,41E-05	-17,53
		26,67	4,60E-05	11,3	1,1282	0,028	5,68E-05	-23,43
inox 1/2"	2	21,34	4,60E-05	4,22	0,1002	0,028	2,53E-05	45,076
		21,34	4,60E-05	4,7	0,1082	0,028	2,88E-05	37,345
		21,34	4,60E-05	6,33	0,1542	0,028	3,69E-05	19,842
		21,34	4,60E-05	7,7	0,5682	0,028	4,10E-05	10,863
		21,34	4,60E-05	10,1	1,0782	0,028	4,55E-05	1,0039
		21,34	4,60E-05	11,3	1,5582	0,028	4,71E-05	-2,355
Galv 1/2"	3	21,34	0,0001	4,22	0,1542	0,028	2,53E-05	74,735
		21,34	0,0001	4,7	0,1592	0,028	2,88E-05	71,178
		21,34	0,0001	6,33	0,1422	0,028	3,69E-05	63,127
		21,34	0,0001	7,7	0,5882	0,028	4,10E-05	58,997
		21,34	0,0001	10,1	1,0982	0,028	4,55E-05	54,462
		21,34	0,0001	11,3	1,5382	0,028	4,71E-05	52,917

Continua en la siguiente pagina

**Tabla 6. Resultados obtenidos de Rugosidad del banco de pruebas.
Continuación.**

Línea de Prueba	Línea	D EXT mm	Rugosidad (m)	Caudal (gpm)	Presión Diferencial (bar.)	Fricción (f) Moody	Rugosidad Colebrook	Error Rugosidad		
Inox 1/2" val. globo	4	21,34	4,60E-05	4,22	0,1672	0,028	2,53E-05	45,076		
		21,34	4,60E-05	4,7	0,2022	0,028	2,88E-05	37,345		
		21,34	4,60E-05	6,33	0,1292	0,028	3,69E-05	19,842		
		21,34	4,60E-05	7,7	0,6782	0,028	4,10E-05	10,863		
		21,34	4,60E-05	10,1	1,1982	0,028	4,55E-05	1,0039		
		21,34	4,60E-05	11,3	1,6182	0,028	4,71E-05	-2,355		
Inox 1/2" val. cheque	5	21,34	4,60E-05	4,22	0,1292	0,028	2,53E-05	45,076		
		21,34	4,60E-05	4,7	0,1402	0,028	2,88E-05	37,345		
		21,34	4,60E-05	6,33	0,1172	0,028	3,69E-05	19,842		
		21,34	4,60E-05	7,7	0,5122	0,028	4,10E-05	10,863		
		21,34	4,60E-05	10,1	0,9982	0,028	4,55E-05	1,0039		
		21,34	4,60E-05	11,3	1,4582	0,028	4,71E-05	-2,355		
Inox 1/2" val. bola	6	21,34	4,60E-05	4,22	0,2482	0,028	2,53E-05	45,076		
		21,34	4,60E-05	4,7	0,2572	0,028	2,88E-05	37,345		
		21,34	4,60E-05	6,33	0,1362	0,028	3,69E-05	19,842		
		21,34	4,60E-05	7,7	0,6882	0,028	4,10E-05	10,863		
		21,34	4,60E-05	10,1	1,3082	0,028	4,55E-05	1,0039		
		21,34	4,60E-05	11,3	1,7682	0,028	4,71E-05	-2,355		
		21,34	4,60E-05	4,7	0,2082	0,028	2,88E-05	37,345		
		21,34	4,60E-05	6,33	0,1792	0,028	3,69E-05	19,842		
		21,34	4,60E-05	7,7	0,6182	0,028	4,10E-05	10,863		
		21,34	4,60E-05	10,1	1,1482	0,028	4,55E-05	1,0039		
		21,34	4,60E-05	11,3	1,5382	0,028	4,71E-05	-2,355		
		inox 1/2" accesorios	8	21,34	4,60E-05	4,22	0,1422	0,028	2,53E-05	45,076
				21,34	4,60E-05	4,7	0,1592	0,028	2,88E-05	37,345
				21,34	4,60E-05	6,33	0,2862	0,028	3,69E-05	19,842
21,34	4,60E-05			7,7	0,6482	0,028	4,10E-05	10,863		
21,34	4,60E-05			10,1	1,2082	0,028	4,55E-05	1,0039		
21,34	4,60E-05			11,3	1,6482	0,028	4,71E-05	-2,355		

En las siguientes tabla 7 están la toma de datos y cálculos para las practica 3, donde se evalúa el coeficiente de perdidas K de las válvulas.

Tabla 7. Resultados obtenidos de coeficiente de pérdidas del banco de pruebas.

Línea de Prueba	Línea	D ext (mm)	Caudal (gpm)	Presión Diferencial (bar.)	D/ε	Fricción (f) Moody	Caída Presión Darcy hf (bar.)
Tubería inoxidable 1/2" val. globo	4	21,3	4,7	0,104	343,5	0,031	0,1
Tubería inoxidable 1/2" val. globo	4	21,3	7,7	0,58	343,5	1,031	5
Tubería inoxidable 1/2" val. globo	4	21,3	10,1	1,1	343,5	2,031	17
Tubería inoxidable 1/2" val. globo	4	21,3	11,3	1,52	343,5	3,031	31,7
Tubería inoxidable 1/2" val. cheque	4	21,3	4,7	0,042	343,5	5,031	9,1
Tubería inoxidable 1/2" val. cheque	4	21,3	7,7	0,41	343,5	6,031	29,3
Tubería inoxidable 1/2" val. cheque	4	21,3	10,1	0,9	343,5	7,031	58,8
Tubería inoxidable 1/2" val. cheque	4	21,3	11,3	1,36	343,5	8,031	84
Tubería inoxidable 1/2" val. bola	4	21,3	4,7	0,159	343,5	10,03	18,2
Tubería inoxidable 1/2" val. bola	4	21,3	7,7	0,59	343,5	11,03	53,6
Tubería inoxidable 1/2" val. bola	4	21,3	10,1	1,21	343,5	12,03	100,5
Tubería inoxidable 1/2" val. bola	4	21,3	11,3	1,67	343,5	13,03	136,3
Tubería inoxidable 1/2" val. compuerta	4	21,3	4,7	0,11	343,5	16,03	29
Tubería inoxidable 1/2" val. compuerta	4	21,3	7,7	0,52	343,5	17,03	82,7
Tubería inoxidable 1/2" val. compuerta	4	21,3	10,1	1,05	343,5	18,03	150,7
Tubería inoxidable 1/2" val. compuerta	4	21,3	11,3	1,44	343,5	19,03	199,1

En la Practica 11, se determina la curva ΔP vs Q de la Bomba Ecojet, ver figura 17

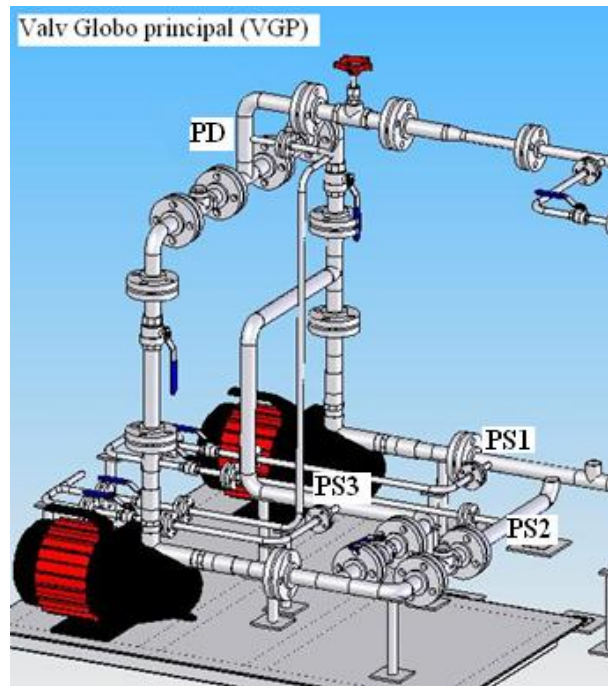


Figura 17. Sistema de bombeo del banco de pruebas

Los resultados están en la tabla 8. Y figura 18

Tabla 8. Resultados obtenidos de la curva ΔP vs Q de la Bomba Ecojet del banco de pruebas.

Caudal (gpm)	Presión Succión Bomba (bar.)	Presión Descarga Bomba (bar.)	Diámetro Tubo (m)	Fricción (f)	Darcy hL (m)	Colebrook (m)	DPfS-d (bat)	DPBomba (bar.)
3,7	0,1525	4,125	0,028	0,027	1,81E-02	3,21E-02	1,78E-03	4,04
5,5	0,1525	4	0,028	0,027	4,00E-02	2,98E-02	3,93E-03	3,92
8,6	0,14375	3,9	0,028	0,027	9,78E-02	2,52E-02	9,60E-03	3,83
10	0,1375	3,8	0,028	0,027	1,32E-01	2,45E-02	1,30E-02	3,74
12,2	0,125	3,7	0,028	0,027	1,97E-01	2,36E-02	1,93E-02	3,66
14,1	0,12	3,6	0,028	0,027	2,63E-01	2,30E-02	2,58E-02	3,57
16,2	0,1125	3,2	0,028	0,027	3,47E-01	2,25E-02	3,41E-02	3,19

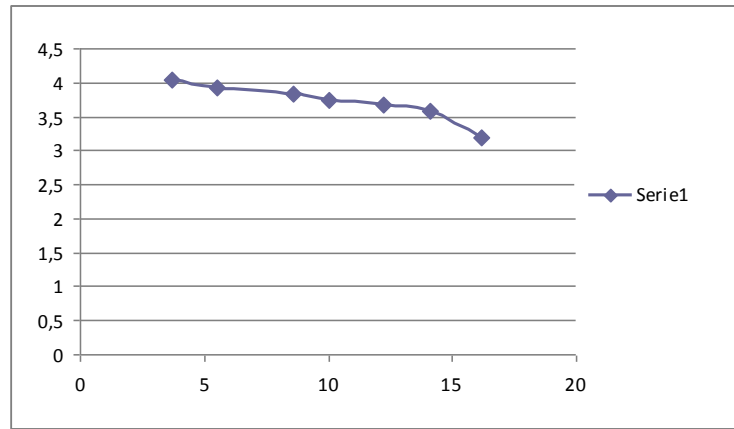


Figura 18. Curva de ΔP vs Q

En la anterior Figura. 19. Vemos la curva ΔP vs Q de operación de la bomba Ecojet, observando el comportamiento de la reducción de la Presión a medida que aumentamos el caudal.

Para la práctica 12 y 13 se toman los datos de las bombas operando en serie y en paralelo como lo muestra la siguiente tabla 9:

Tabla 9. Toma de datos de las Bomba Ecojet operando en serie y paralelo del banco de pruebas.

BOMBAS EN SERIE			
GPM	P diferencial bar.	P succión bar.	Presión descarga bar.
7,74	0,44	0,17	6,6
9	0,43	0,17	6,75
11,9	1,31	0,17	5,45
15,3	2,53	0,17	4,77
BOMBAS EN PARALELO			
GPM	P diferencial bar.	P succión bar.	Presión descarga bar.
2,23	0,15	0,17	4,59
6,1	0,25	0,17	4,16
10,2	1,18	0,17	3,73
11,2	1,59	0,17	3,67
15,3	1,86	0,17	3,44

La Presión de descarga de las bombas es mayor cuando esta operando en serie que en paralelo.

CONCLUSIONES

- Se construyó un Banco de pruebas para el estudio del flujo de fluidos en Tuberías, válvulas y accesorios, bombas funcionando en serie y paralelo, el cual permite variar todos los parámetros, tales como velocidad de flujo, diámetro, rugosidad, longitud de tubería y tipo de válvula o accesorio.
- La configuración del banco se realizó según diseño operando entre los parámetros de $P_{max} = 150$ psi y $Q_{max} = 50$ GPM
- En el banco de pruebas se puede realizar diversos rangos de operaciones Logrando diversas mediciones desde 1 GPM hasta 50 GPM y así observar mejor el comportamiento de los fenomenitos hidráulicos a evaluar.
- El banco de pruebas con su característica de modularidad permite el armado y desarmado, fácil transporte, montaje y mantenimiento, e integrar un amplio número de accesorios para ampliar las practicas en el análisis de caída de perdidas de energía en tuberías
- La bomba debe tener agua en la succión y estar cebada antes de poner en funcionamiento para evitar daños en sus sellos y sobre calentamiento del motor.
- En el tablero de funcionamiento verificar que todos los interruptores estén apagados y prender primeramente el de la fuente de alimentación, APRA posteriormente conectar los demás sensores y bombas.

RECOMENDACIONES

- Diseñar líneas de trabajo adicionales las cuales permitan estudiar componentes y accesorios, tales como codos 45°, reducciones y ampliaciones bruscas y graduales de tubería, codos a 90° con reducción, tees con reducción, válvulas angulares, válvulas cheque de obturador ascendente, etc.; logrando practicas a estudiar.
- Adquirir herramientas para dar un mejor acabado superficial a las tuberías y accesorios de acero inoxidable.

BIBLIOGRAFIA

CRANE, Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías, Mc Graw Hill, México, 1999.

FOX, Robert W. y Mc DONALD, Alan T., Introducción a la Mecánica de Fluidos, cuarta edición, Mc Graw Hill, México, 1992.

MATAIX, Claudio, Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, Harper y Raw Publishers Inc, México, 1970.

MOTT, Robert L. Mecánica de Fluidos aplicada, cuarta edición, Prentice Hall, New York, 1994.

POTTER, Merle C. y WIGGERT, David C., Mecánica de fluidos, Segunda edición, Prentice Hall, México, 1998.

SALDARRIAGA, Juan G, Hidráulica de tuberías, Mc. Graw Hill, Santa Fe de Bogotá, Universidad de los Andes, 1998.

Product Summary and Company and Overview – KOBOLD, 2001.

Controls and Gages Catalogue – DWYER INSTRUMENTS INC. 2002.




Field Instruments for process automation – SIEMENS CATALOG 2001.

Jefferson's WELDING ENCYCLOPEDIA Eighteenth Edition Edited by

ROBERT L. O'BRIEN American Welding Society 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126 USA

ANEXOS

ANEXO A. MANUAL DE PRUEBAS PARA EL BANCO DE PERDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

		LABORATORIO DE SISTEMA DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.			
Elaboró:	Anderson Gerardo Quiroga Pineda	Aprobó	Fecha
TÍTULO	INTRODUCCION		Capítulo 1

1. INTRODUCCIÓN.

El interés del ingeniero por el diseño de dispositivos útiles a la humanidad, que le permitan dominar y aprovechar la naturaleza y sus recursos, involucra el estudio muy profundo de los principios físicos que la rigen. Dentro de este gran mundo natural y científico, **los fluidos** ocupan un lugar privilegiado entre muchos otros aspectos; por lo tanto, dominar los principios básicos de la **Mecánica de Fluidos** nos abre la puerta al estudio de todo un mundo de aplicaciones y de elementos como bombas, turbinas, tuberías, etc. desarrollados para tal fin.

El **BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS** del **LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS** de la **ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**, busca mejorar la conceptualización de los principios físicos estudiados en la asignatura teórica y alcanzar así, una mayor calidad en el programa que la carrera ofrece.

Con este banco de pruebas se le brinda al estudiante una visión global del fenómeno estudiado mediante la variación de los parámetros que en él intervienen, involucrándolo a su vez en el campo de las turbomáquinas hidráulicas como medio mecánico para el suministro de energía a estos sistemas de transporte de fluidos, y además al campo de la instrumentación industrial utilizada para la medición de parámetros en la actualidad, aspectos de gran importancia en el ámbito de la **INGENIERÍA MECÁNICA**.

Las pruebas a realizar en este banco, están agrupadas en 3 grandes series de laboratorio:

- Evaluación de pérdidas de energía en tuberías, válvulas y accesorios.
- Estudio del comportamiento hidráulico de líneas de tubería en serie y en paralelo.
- Elaboración de curvas características DP vs. Q para una bomba centrífuga, y para dos bombas centrífugas dispuestas en serie y en paralelo.

Este manual de pruebas, presenta una amplia recopilación de información, tanto teórica como práctica, extractada de bibliografía especializada y catálogos de fabricantes, y necesaria para el desarrollo de las pruebas a realizar. Muestra además, una descripción de los componentes del banco de pruebas, así como los diferentes procedimientos experimentales a seguir para un correcto manejo del equipo y realización adecuada de las tomas de datos. Cada prueba se acompaña también, de una secuencia de procesos de cálculo y de análisis que le permitirán al estudiante adquirir, asimilar o desarrollar el conocimiento y las habilidades fijadas en los objetivos específicos de cada experiencia desarrollada.

Además, junto con el diseño del banco de pruebas y del presente manual de laboratorio, se desarrollo el simulador **TRANSPORTE DE FLUIDOS 1.0**, herramienta computacional concebida como una manera de agilizar cálculos y algunos de los procedimientos gráficos que deben realizarse en el desarrollo de las experiencias contenidas en el manual. No se pretende con el simulador, reemplazar la toma de datos real en el banco por una virtual en el simulador, debido a que la información de él obtenida parte de datos logrados en la realidad (toma de datos en el banco), y es el resultado de modelos matemáticos desarrollados para describir el fenómeno estudiado. Son estos resultados precisamente, los que deben ser confrontados con la realidad para probar la validez de los modelos que la produjeron.

2. OBJETIVOS GENERALES DE LAS EXPERIENCIAS CONTENIDAS EN EL MANUAL.

- Verificar y ampliar los conceptos y teorías, acerca del flujo de fluidos en tuberías, aprendidos en el curso de Mecánica de Fluidos I.
- Involucrar al estudiante en el campo de las turbomáquinas hidráulicas, mostrándolas como medios mecánicos para el suministro de energía en sistemas de transporte de fluidos.
- Adiestrar en el conocimiento y manejo de aparatos y equipos que intervienen en el proceso operación del banco y la toma de datos.

BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.			
Elaboró:	Anderson Gerardo Quiroga Pineda	Aprobó:	Fecha
TÍTULO	DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES DEL BANCO	Capítulo	3

DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL BANCO.

3.1. SISTEMA DE LÍNEAS DE TRABAJO.

Este sistema está constituido por:

- Un conjunto de elementos que son objeto de estudio y conforman las líneas de trabajo, (tuberías de diferentes diámetros y materiales, válvulas, codos 90°, té estándar).
- Sistemas ramificados de entrada y salida, los cuales comunican en un solo punto la línea común de descarga del sistema de bombas (sistema ramificado de entrada), y distribuye el fluido a las líneas de trabajo que lo requieran. También reúne el fluido proveniente de las líneas de trabajo para ser llevado al tanque de almacenamiento (sistema ramificado de salida), mediante una sola tubería, en la cual puede ser ubicado el instrumento para la medición de caudal.

3.1.2. LÍNEAS DE TRABAJO.

En total se dispondrá de 9 líneas de trabajo, las cuales contendrán (en orden descendente):

LÍNEA 1: Tubería de acero inoxidable AISI 304 diámetro nominal $\frac{3}{4}$ pulg. Schedule 40S.

LÍNEA 2: Tubería de acero inoxidable AISI 304 diámetro nominal 1/2 pulg. Schedule 40S.

LÍNEA 3: Tubería de acero galvanizado diámetro nominal $\frac{1}{2}$ ". Schedule 40.

LÍNEA 4: Tubería de acero inoxidable AISI 304 diámetro nominal 1/2 pulg. Schedule 40S, con válvula de globo clase 200.

LÍNEA 5: Tubería de acero inoxidable AISI 304 diámetro nominal 1/2 pulg. Schedule 40S, con válvula cheque tipo bisagra clase 200.

LÍNEA 6: Tubería de acero inoxidable AISI 304 diámetro nominal 1/2 pulg. Schedule 40S, con válvula de bola clase 200.

LÍNEA 7: Tubería de acero inoxidable AISI 304 diámetro nominal 1/2 pulg. Schedule 40S, con válvula de compuerta clase 200.

LÍNEA 8: Tubería de acero inoxidable AISI 304 diámetro nominal 1/2 pulg.

Schedule 40S, con 4 codos estándar 90° radio largo.

LÍNEA 9: Tubería de acero inoxidable AISI 304 diámetro nominal 1/2 pulg.

Schedule 40S, con 4 té s estándar, dispuestas de tal forma que configuren dos paralelos de tubería internos (dentro de la línea) diferentes, con válvulas de bola en cada uno de los ramales de los paralelos.

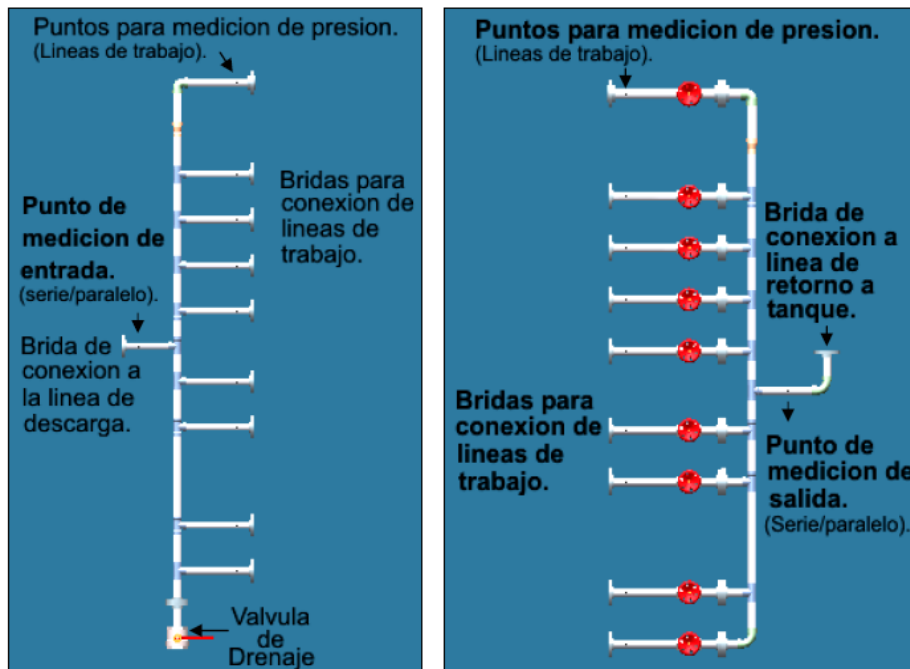
La longitud total de las líneas de trabajo, es decir, la distancia entre los puntos en que se mide la caída de presión, es de 250 cm.

3.1.2. SISTEMAS RAMIFICADOS DE ENTRADA Y SALIDA.

Los sistemas ramificados de entrada y salida están constituidos por un conjunto de tuberías y accesorios mediante las cuales se unen las líneas de trabajo a la línea común de descarga del sistema de bombas (ramificación de entrada), o línea de retorno a tanque (ramificación de salida).

El sistema ramificado de salida, contiene una válvula de globo por línea de trabajo, que permiten variar el caudal de cada línea por estrangulación del flujo (figura 25). Para el desarrollo del estudio de pérdidas de energía en tubería y accesorios, se ha dispuesto de una serie de puntos para la medición de la caída de presión, los cuales se localizan: uno a la entrada (presión de entrada) y uno a la salida (presión de salida) de cada línea de trabajo, estos se ubican sobre los sistemas ramificados de entrada y salida, respectivamente, con el fin de evitar desmontar el “sistema de toma de presión” cuando se desee retirar una línea.

Figura 3.1. Sistema ramificado de entrada. Figura 3.2. Sistema ramificado de salida.

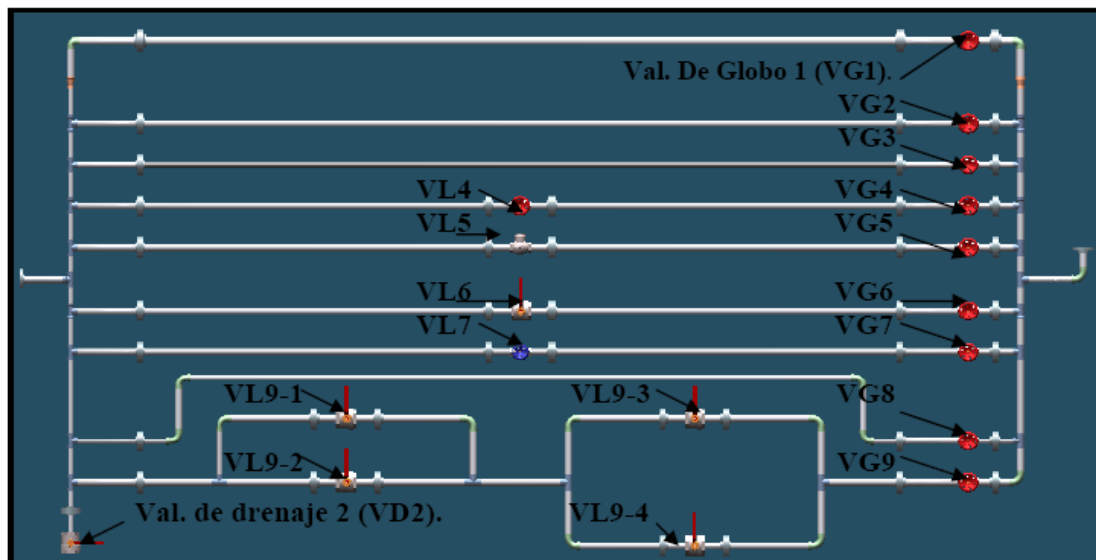


Las señales de presión de entrada y salida a las líneas de trabajo se llevan a los puertos

(+ y -, respectivamente) de un manómetro diferencial, mediante un "sistema de toma de presión". Para la línea 2, se dispondrá un punto de medición de presión intermedio (presión de salida), el cual se localizará a la mitad de la longitud de la línea de trabajo; éste punto de medición permitirá obtener una caída de presión en la mitad inicial de la línea de trabajo ($L/2$), con lo cual se verificará la proporcionalidad de la pérdida de energía en tubería con la longitud de esta.

Igualmente, se dispondrá de un punto de medición de presión intermedio (presión de entrada), en la línea 9, ubicado en el punto medio de la línea, el cual permitirá medir la caída de presión de forma independiente para cada paralelo interno. Para la realización de las pruebas de tuberías en serie y en paralelo se dispondrán: un punto de medición de entrada, en el tramo de tubería que une el sistema ramificado de entrada con la línea de descarga de las bombas; y un punto de medición de presión de salida, en el tramo de tubería que une el sistema ramificado de salida con la línea de retorno a tanque (figuras 3.1 y 3.2). En la figura 3.3, se muestra la convención de nombres utilizada en el manual para las diferentes válvulas pertenecientes al sistema de líneas de trabajo.

Figura 3.3. Sistema de líneas de trabajo.



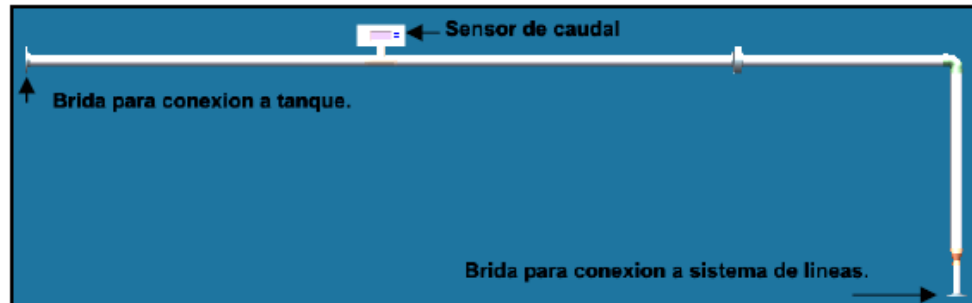
3.2. LÍNEA DE RETORNO A TANQUE.

La función de esta línea, es llevar el caudal proveniente del sistema de líneas al tanque.

En su trayecto horizontal, contiene un instrumento de medición de caudal tipo turbina

(Fig. 3.4).

Figura 3.4. Línea de retorno a tanque.



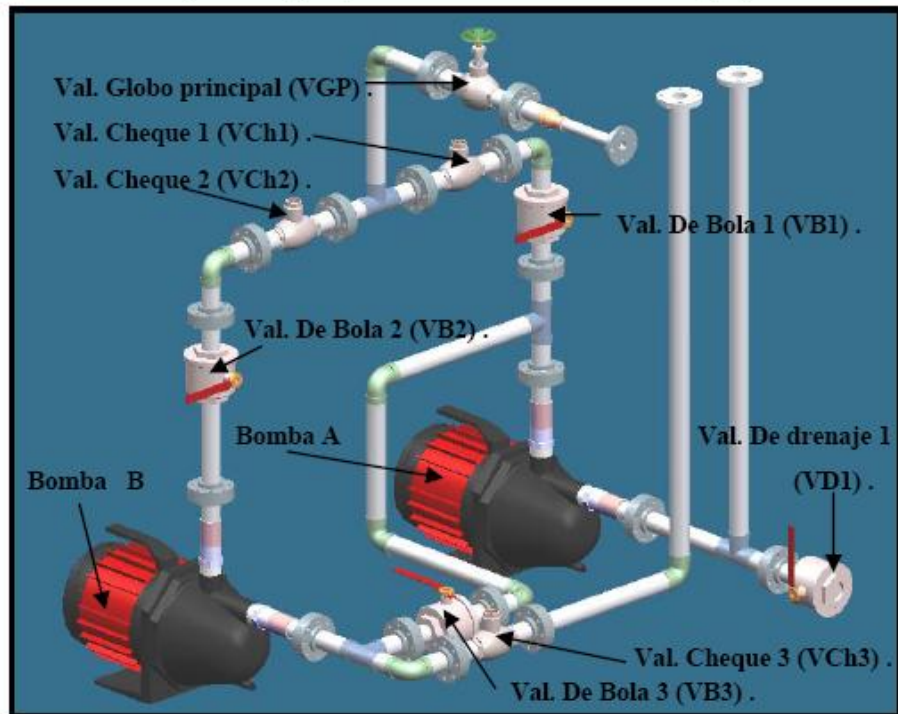
El nivel de líquido en el tanque debe ser tal que asegure que el fluido siempre llene completamente la línea de retorno, es decir, no debe haber en ningún momento flujo con la línea de retorno a tanque parcialmente llena, para evitar problemas o errores en la medición del caudal que circula por el Banco.

3.3. LÍNEAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA Y TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

El sistema de bombas posee dos bombas centrífugas (A y B) y un sistema de líneas de succión y descarga que permitirán la operación de una de las bombas (A ó B), la operación de la bomba A en serie con la bomba B ($A \rightarrow B$), y la operación de las bombas A y B en paralelo, en combinación (cualquiera de las configuraciones) con el sistema de líneas de trabajo. Este sistema de líneas de succión y descarga permite cambiar la configuración de las bombas con solo abrir o cerrar válvulas, es decir, sin necesidad de mover las bombas o conectar y desconectar tuberías.

El banco posee una cabeza de succión positiva, de forma tal que se elimina cualquier riesgo de Cavitación en la(s) bomba(s) en cualquiera de sus configuraciones, además, se obtienen presiones manométricas positivas en los puntos en los que se realiza la medición de presión de succión. El sistema consta de dos líneas de succión independientes, una para cada bomba, con el fin de reducir las pérdidas de cabeza en la succión, (especialmente para bombas combinadas), y lograr un mayor caudal de trabajo para el banco. A continuación se muestra el sistema de bombas con la convención de nombres para las diferentes válvulas y bombas.

Figura 3.5. Líneas de succión y descarga. (Sistema de bombas sin tanque).



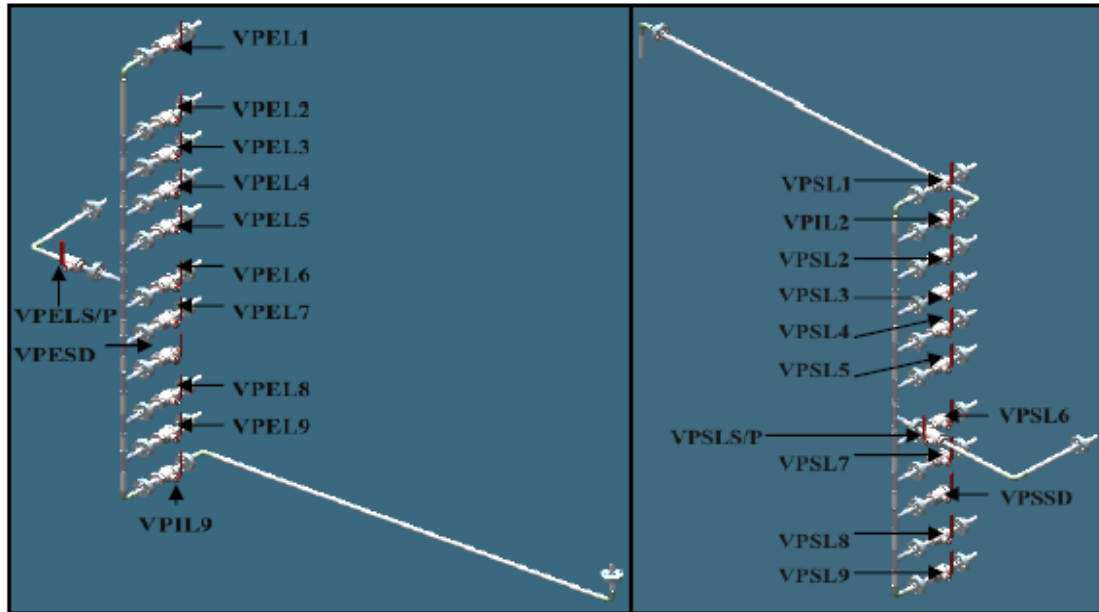
3.4. SISTEMA DE TOMA DE PRESIÓN PARA EL SISTEMA DE LÍNEAS:

Para la realización de las experiencias a desarrollar en el sistema de líneas, debe medirse la diferencia de presión entre la entrada y salida de cada una de las líneas de trabajo. Estas diferencias de presión serán medidas en un sensor de presión diferencial, el cual posee dos puertos o conexiones a proceso: un puerto “positivo (+)”, al cual llegarán las presiones mayores (presiones de entrada), y un puerto “negativo (-)”, al cual llegaran las presiones menores (presiones de salida).

El sistema de toma de presión para el sistema de líneas, lleva la señal de presión (columnas de agua presurizada), de los puntos de medición a un punto común de presión agrupándolos de acuerdo al puerto del sensor a que deban dirigirse, y de allí, hacia el sensor diferencial. Es decir, todas las señales de presión de entrada se agruparán en un punto común de presión (VPESD) para ser llevadas al puerto positivo

(+) del sensor de presión diferencial. Se procederá análogamente para las presiones de salida (VPSSD) y el puerto negativo (-) del sensor. En la figura se muestra los sistemas de toma de presiones de entrada y salida para el sistema de líneas y la convención de nombres utilizada en el manual para las válvulas.

Figura 3.6. Sistema de toma de presión de entrada (izq.) y salida (der.) del sistema de líneas.

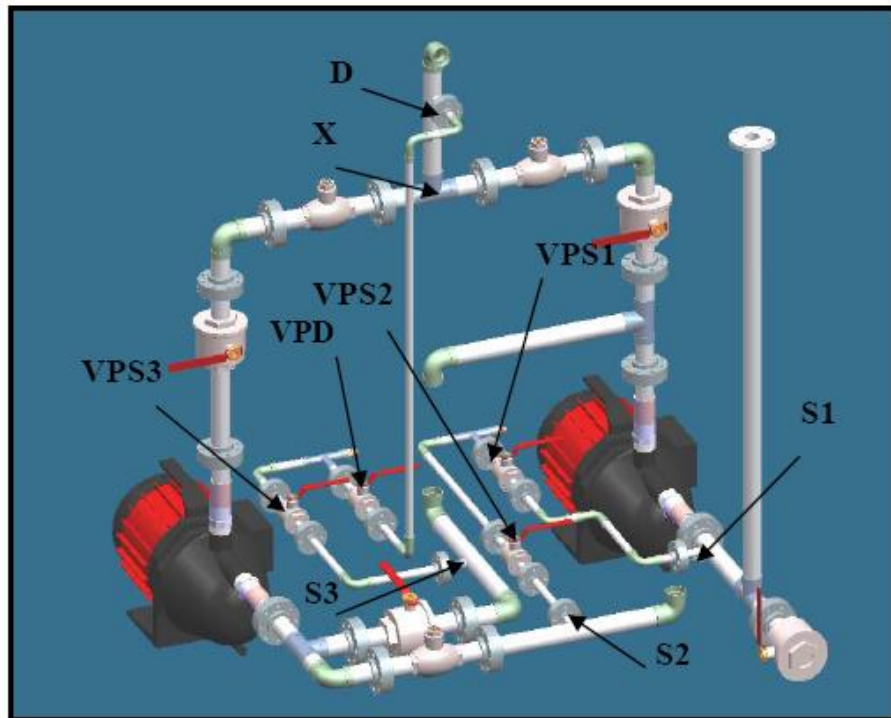


Cada válvula permite con su cierre aislar la señal de presión del punto de medición deseado (única válvula de bola que debe encontrarse abierta), de la señal de presión de los demás puntos de medición. La comunicación entre los puntos comunes de presión para las presiones de entrada y salida, con las conexiones a proceso (+ y -) del sensor de presión diferencial, se realiza mediante manguera transparente para alta presión (>150 psi).

3.5. SISTEMA DE TOMA DE PRESIÓN PARA LAS LÍNEAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA.

Para la realización de las experiencias que se llevarán a cabo en el sistema de bombas, debe medirse la presión de succión y de descarga de cada una de las bombas en sus distintas configuraciones. En la siguiente figura (Fig. 3.7) se muestra el sistema que cumple esta función, junto con la convención de nombres utilizada en este manual para las diferentes válvulas que lo conforman.

Figura 3.7. Sistema de toma de presión de succión y descarga del sistema de bombeo.



El sistema de toma de presión para las líneas de succión y descarga, aunque difiere en su configuración espacial a la utilizada para el sistema de líneas, desarrolla una función similar: agrupar las distintas presiones de succión y las distintas presiones de descarga a través de un sistema de líneas, conformando 4 ramales con válvulas en cada uno de ellos, y finalizando en 2 puntos comunes de presión (tés con racores), uno para presiones de succión y otro para presión de descarga. A partir de estos se llevarán mediante 2 líneas de manguera transparente las señales de presión a los manómetros dispuestos para realizar dichas mediciones.

3.6. TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

El Banco se diseñó bajo la idea de conformar un sistema hidráulico cerrado, con el fin de lograr que toda la cabeza de las bombas sea utilizada en vencer la columna de fricción generada por el flujo que circula por el Banco; así, el sistema también podría prescindir de tanque de almacenamiento y simplemente unir el punto final de la línea de retorno con cada una de las líneas de succión de las bombas.

Sin embargo, ya que el sistema operará desde condiciones de cabeza de corte (shut off) de las distintas combinaciones de bombas, hasta una condición de máximo caudal posible, (todas las válvulas del sistema de líneas totalmente abiertas, lográndose la mínima resistencia hidráulica del sistema), y no dentro de un rango de caudales cercano a la mayor eficiencia de cada configuración de

bombas, el incremento de temperatura del fluido de trabajo puede ser bastante elevado.

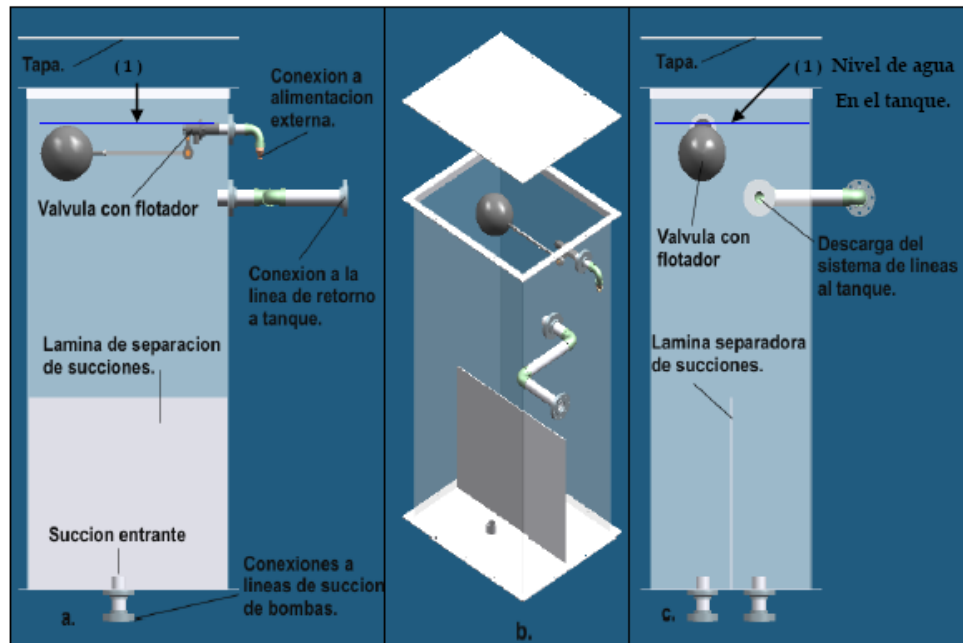
Por esto es conveniente disponer una masa de fluido en el sistema considerablemente mayor que la requerida para llenar totalmente las tuberías del Banco, de forma que la energía perdida por fricción, estrangulación, etc., produzca un incremento menor de temperatura. Éste fluido adicional puede ser almacenado en un tanque elevado, donde además se incrementará el área disponible para transferencia de calor del fluido al ambiente.

El tanque de almacenamiento es de base rectangular de 50cm. x 40cm., con una altura (desde la base del tanque hasta el borde superior) de 1 metro, permitiéndole almacenar un volumen de 190 litros (aproximadamente 50 galones). A su base se sueldan 2 bridas, a través de ellas (y de perforaciones realizadas en la lámina), ingresan al tanque.

2 tramos cortos que llevan en sus extremos externos al tanque bridas para su unión con las líneas de succión de cada bomba. En el interior del tanque se dispone sobre su fondo una lámina de separación para las succiones de cada bomba, independizando los efectos de turbulencia y vórtices que podrían afectar mutuamente las pérdidas en la entrada de tubería en las succiones, cuando ambas bombas operen combinadas en paralelo (figura 3.8).

Figura 3.8. Tanque de almacenamiento.

a. Vista frontal en corte; b. Isométrico (transparente); c. Vista lateral en corte.






Sobre una de las caras laterales del tanque se realiza la unión con la línea de retorno.

Sobre esta misma cara lateral se encuentra el punto de unión de una línea externa al tanque que será utilizada para conectar una línea de alimentación de agua al Banco, la cual consiste en una manguera unida a una llave de agua del laboratorio.

En el extremo de esta línea ubicado en el interior del tanque, se conecta un sistema de válvula y flotador, el cual controlará automáticamente que el contenido de agua en el tanque (y por tanto en el Banco) permanezca siempre en el nivel requerido, (13 cm. Por encima del nivel del eje del trayecto horizontal de la línea de retorno a tanque), evitando además, el rebose del tanque durante el proceso de llenado.

ANEXO B. PRÁCTICAS DEL BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

		LABORATORIO DE SISTEMA DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.			
Elaboró:	Anderson Gerardo Quiroga Pineda	Aprobó	Fecha
TÍTULO	OBJETIVOS GENERALES DE LAS EXPERIENCIAS		Capítulo
			2

PROCEDIMIENTOS GENERALES.

PROCEDIMIENTO DE LLENADO DEL TANQUE.

1. Verifique que todas las conexiones roscadas y apernadas (o atornilladas) en el banco se encuentran convenientemente realizadas.
2. Verifique que todas las válvulas de drenaje y de purga de instrumentación se encuentran completamente cerradas.
3. Abra completamente todas las válvulas del sistema de líneas (excepto VD2), de los sistemas de toma de presión y del sistema de bombas (excepto VD1).
4. Realice la conexión del tanque con la fuente exterior de fluido e inicie el llenado simultáneo del tanque y del banco de pruebas. Durante el llenado, este atento a detectar cualquier posible señal de fuga de líquido en algún componente del banco; si se detecta alguno, proceda inmediatamente a corregirlo.
5. Espere un tiempo prudente para el llenado total, (ausencia de ruido de líquido fluyendo) y proceda a verificar que el nivel de agua en el tanque es el adecuado (mínimo 10cm sobre el nivel de la tubería horizontal de la línea de retorno que contiene el medidor de caudal). El mecanismo válvula-flotador debe estar configurado para llenar el tanque al nivel requerido sin permitir que se rebose. Cuando se realiza la instalación del banco por primera vez, esta verificación debe realizarse visualmente removiendo la tapa del tanque, teniendo el cuidado de no ingresar material extraño (contaminante) durante el tiempo en que se ha removido la tapa. Posteriormente, debe realizarse la medición de la presión estática del nivel de líquido en el tanque tomando el dato de presión a cero caudal ($Q=0$) en la línea de succión de la bomba A o B, con el medidor de presión de 0 -1 bar:

$$P_m = 9,81 \cdot p^* (Z_{líquido \text{ en el tanque}} - Z_{medidor \text{ 0-1 bar}})$$

Registrado este dato, el nivel de agua en el tanque puede corroborarse en procesos de llenado posteriores mediante la verificación de este parámetro por medición directa.

6. Terminado el llenado del tanque, puede procederse a realizar las purgas de aire a los sistemas de toma de presión y a la instrumentación.

PURGAS DE AIRE Y ENCENDIDO DE LA INSTRUMENTACIÓN.

1. Los procedimientos descritos a continuación y que impliquen la manipulación directa de la instrumentación o de sus conexiones eléctricas, deben ser realizados exclusivamente por el Auxiliar docente o por el responsable del manejo de la instrumentación designado por el director del laboratorio o el director de escuela.
2. Asegúrese que toda la instrumentación está debidamente conectada a las fuentes de energía correspondientes. Para la realización o verificación de las conexiones remitirse al manual de la instrumentación correspondiente.
3. Conecte las fuentes de energía para la instrumentación a los tomas de energía.
4. Encienda las fuentes de energía para la instrumentación. Los diferentes medidores deben encender automáticamente.
5. Verifique que los medidores de presión registran valores en unidades de presión. Esta instrumentación puede configurarse para mostrar la medida de presión como un valor proporcional de corriente en el rango de 4 -20 mA (otros lo hacen en voltaje 0-12 mV). Si se presenta esta última situación, debe cambiarse la configuración de unidades del medidor. Para ello, o para ajustar el rango de medición del instrumento consulte el manual del medidor.
6. La lectura de la rata volumétrica en el medidor de caudal tipo turbina, está configurada por defecto en GPM. Este medidor presenta dos niveles de datos en el display: Un nivel de 6 dígitos con caracteres de 1/2" que muestra el valor de caudal presente en la tubería del medidor.
7. Un segundo nivel, con 8 dígitos y caracteres de 5/16" muestran el volumen de fluido totalizado que ha pasado a través del medidor desde la última vez que se presiono la opción RESET. Para la modificación de la configuración de unidades o para llevar a cero el catalizador consulte el manual del medidor.
8. Abra completamente todas las válvulas del sistema de líneas (excepto VD2) y de los sistemas de toma de presión.
9. Asegúrese que las líneas de manguera que salen de cada válvula de purga desembocan en alguno de los desagües del laboratorio.
10. Ponga en operación la bomba A y abra todas las válvulas de bola del sistema de bombas.
11. Abra y cierre totalmente, una a una, las válvulas de purga de los medidores de

presión. En este procedimiento se deben expulsar las posibles bolsas de aire acumuladas, pero debe ser suficientemente breve para no expulsar del banco una cantidad de líquido tal que pueda llegar a producir cavitación en la bomba operada. Durante todo el proceso de purga, la conexión del tanque con la fuente exterior de fluido debe permanecer abierta para recuperar simultáneamente parte del líquido perdido.

12. Siga el orden de apagado de la bomba A.
13. Permita que el nivel de agua en el tanque se recupere. Al finalizar verifique nuevamente que el nivel sea el adecuado.
14. Cierre completamente todas las válvulas de final de línea (VG), la válvula de globo principal (VGP), todas las válvulas de los sistemas de toma de presión y, finalmente todas las válvulas del sistema de bombas.

PROCEDIMIENTOS DE ENCENDIDO DE BOMBAS.

Una sola bomba operando.

1. Inicialmente las válvulas VB1, VB2 y VB3 deben estar totalmente cerradas.
2. Verifique que la conexión de la bomba a la toma de energía (115V AC) se encuentra correctamente realizada.
3. En ningún caso, la bomba debe encenderse estando seca (sin líquido).
4. Active el interruptor de la bomba seleccionada, poniéndola así en funcionamiento a cero caudal ($Q=0$).
5. Abra completamente la válvula de bola ubicada en la descarga de la bomba a operar (VB1 o VB2).
6. Disponga **rápidamente** la configuración de líneas a trabajar, con el fin de que la bomba opere el menor tiempo posible a cero caudal ($Q=0$).

Bombas A y B operando en serie:

1. Inicialmente las válvulas VB1, VB2 y VB3 deben estar totalmente cerradas.
2. Verifique que las conexiones de las bombas a las tomas de energía (115V AC) se encuentran correctamente realizadas.
3. En ningún caso, las bombas deben encenderse estando secas (sin líquido).
4. Abra completamente la válvula de bola VB3.
5. Active el interruptor de la bomba A, poniéndola así en funcionamiento a cero caudal ($Q=0$).
6. Active el interruptor de la bomba B, poniéndola en funcionamiento a cero caudal ($Q=0$) y abra completamente la válvula VB2.
7. Disponga rápidamente la configuración de líneas a trabajar, con el fin de que las bombas operen el menor tiempo posible a cero caudal ($Q=0$).

➤ **Bombas A y B operando en paralelo:**

1. Inicialmente las válvulas VB1, VB2 y VB3 deben estar totalmente cerradas.

2. Verifique que las conexiones de las bombas a las tomas de energía (115V AC) se encuentran correctamente realizadas.
3. **En ningún caso, las bombas deben encenderse estando secas** (sin líquido).
4. Active el interruptor de la bomba A, poniéndola así en funcionamiento a cero caudal ($Q=0$).
5. Active el interruptor de la bomba B, poniéndola en funcionamiento a cero caudal ($Q=0$).
6. Abra simultáneamente las válvulas VB1 y VB2.
7. Disponga rápidamente la configuración de líneas a trabajar, con el fin de que las bombas operen el menor tiempo posible a cero caudal ($Q=0$).

NOTAS:

- En bombas centrifugas (de flujo radial) la potencia absorbida se incrementa al incrementar la tasa de flujo. Debido a esto, las bombas de flujo radial son generalmente encendidas con la válvula de descarga cerrada, con el fin de prevenir sobrecargas en el motor de la bomba durante el arranque.
- Además del calentamiento producido por el flujo, medida que el caudal bombeado disminuye, la eficiencia de la bomba disminuye y esto se traduce en un calentamiento adicional del fluido. La temperatura del fluido en el banco no debe exceder los 35°C , por lo tanto debe reducirse al mínimo el tiempo de operación a bajos caudales ($Q \leq 5 \text{ gpm}$) o sin que se esté realizando ninguna actividad académica en el banco.
- En caso de que al encender la bomba esta no funcione, o estando funcionando se apague repentinamente, puede deberse a un corte de energía en el laboratorio, a una sobrecarga térmica o a que la protección amperométrica propia de la bomba se ha disparado. Sí esto sucede, presione en la protección amperométrica el botón reset, o espere hasta que el switch protector térmico retroceda después de permitir un tiempo de enfriamiento adecuado.
- Sí la temperatura del fluido sube por encima de los 35°C , puede realizarse un vaciado parcial del tanque y reponer esta cantidad de líquido perdido con un volumen igual a temperatura ambiente. Al finalizar verifique el nivel de agua en el tanque y la purga de las líneas de manguera que se dirigen hacia la instrumentación.

ORDEN DE APAGADO DE BOMBAS.

➤ **Una sola bomba operando.**




1. Cierre completamente la válvula de bola ubicada en la descarga de la bomba seleccionada (VB1 o VB2).

2. Desactive el interruptor de la bomba operada.
 - **Bombas A y B operando en serie:**
 1. Cierre completamente las válvulas VB2 y VB3.
 2. Desactive el interruptor de la bomba B.
 3. Desactive el interruptor de la bomba A.
 - **Bombas A y B operando en paralelo:**
 1. Cierre completamente las válvulas VB1 y VB2.
 2. Desactive el interruptor de la bomba A.
 3. Desactive el interruptor de la bomba B.

6. PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES.

A continuación se presentan los procedimientos a seguir para la realización de las experiencias a desarrollar en este banco de pruebas. Todos y cada uno de los procedimientos experimentales constan de:

- **Título de la experiencia:** Nombre que identifica la experiencia a realizar.
- **Objetivos de la prueba:** Aquí se enuncia claramente lo que se espera, logre el estudiante una vez desarrollada la experiencia.
- **Procedimiento de toma de datos:** Se describe detalladamente cada una de los pasos a seguir para realizar las mediciones de variables requeridas en los cálculos de cada práctica. En esta sección se utiliza la convención establecida para el banco, definida en el numeral 3 del presente manual: “Descripción de los componentes del banco”, y presentada en las figuras 3.1 a 3.8.
- **Cálculos:** Se enumera en orden todos los procedimientos matemáticos y gráficos que permitirán alcanzar las metas planteadas en los objetivos de la prueba.
- **Análisis de resultados:** Consiste en un listado de procedimientos analíticos y preguntas acerca de los resultados numéricos y gráficos obtenidos, que servirán de guía al estudiante para llegar a conclusiones de lo más significativo de la prueba.
En ocasiones, también incluye cuestionamientos sobre situaciones ficticias relacionadas, que el estudiante debe resolver basado en la experiencia adquirida en la prueba.
- **Tablas de toma de datos y resultados:** Serie de tablas que facilitaran al estudiante la organización de la información manejada en la experiencia, y ayudaran al Auxiliar docente a agilizar el proceso de evaluación de los informes de laboratorio.

 	LABORATORIO DE SISTEMA DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.			
Elaboró:	César Augusto Sanabria G. - Ricardo Sánchez B.	Fecha:	
Auxiliar:		Grupo:	
PRUEBA No 1	MODULO PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN TUBERÍAS, VÁLVULAS Y ACCESORIOS.		

EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN TUBERÍAS.

Objetivos de la prueba:

Analizar la influencia de parámetros como velocidad del fluido (ó caudal, V o Q , respectivamente), y Longitud (L), Diámetro interno (D) y Rugosidad absoluta (ϵ) de la tubería, en el fenómeno de pérdidas de energía en tuberías.

Comprobar la validez de las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Colebrook- White como modelo matemático para describir el fenómeno de pérdidas de energía en tuberías.

Verificar que la ecuación de Swamee-Jain es un modelo matemático alternativo de precisión suficiente para el cálculo explícito del factor de fricción de Darcy (f), para flujos no laminares.

Procedimiento de toma de datos:

1. Disponga el banco en condiciones de operación.
2. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura inicial del fluido (T_i).
3. Mida la longitud de tubería de las líneas 1, 2(L), 2(l/2) y 3. (Longitudes de tubería medidas entre los puntos donde se toman las presiones de entrada, salida e intermedia para las líneas mencionadas, incluyendo la longitud de bridas).
4. Determine la configuración de bombas a trabajar y póngala en funcionamiento.
5. Abra completamente la válvula globo de principal (VGP) y la válvula de globo 1

(VG1). Todas las demás válvulas (VG2 a VG9) deben permanecer cerradas.

6. Abra las válvulas VPESD, VPSSD, VPEL1 y VPSL1 para llevar las señales de presión al manómetro diferencial.

7. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VG1, tome datos de DP1 y Q1 para la línea 1. Trate de abarcar un amplio rango de caudales, teniendo en cuenta siempre, para todas las tomas de datos, que a bajos caudales ($Q \leq 5$ gpm para una bomba o dos en serie, y $Q \leq 10$ gpm para bombas en paralelo), la toma de datos debe ser ágil y rápida a fin de evitar el sobrecalentamiento de los motores de las bombas.

8. Al finalizar la toma de datos para la línea 1, abra completamente la válvula VG2 y cierre completamente las válvulas VG1, VPEL1 y VPSL1.

9. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VG2, tome datos de DP2, Q2 y DPL/2 para la línea 2. Para medir DP2, abra las válvulas VPEL2 y VPSL2; para medir DPL/2, cierre VPSL2 y abra VPIL2 manteniendo abierta la válvula VPEL2.

La medición de DP2 y DPL/2 para un mismo Q2 deben realizarse ambas antes de variar la apertura de la válvula VG2 para modificar Q2 a un nuevo valor.

10. Al finalizar la toma de datos para la línea 2, abra completamente la válvula VG3 y cierre completamente las válvulas VG2, VPEL2, VPIL2 y VPSL2.

11. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VG3, tome datos de DP3 y Q3 para la línea 3. Para medir DP3, abra las válvulas VPEL3 y VPSL3.

12. Al finalizar la toma de datos para la línea 3, siga el orden de apagado de bombas para la configuración seleccionada, y cierre completamente las válvulas VPESD, VPSSD, VPEL3, VPSL3, VG3, y VGP.

13. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura final del fluido (T_f).

Cálculos:

14. Con los datos medidos de T_i y T_f , calcule el promedio aritmético (T_{prom}) y obtenga de tablas los datos de Densidad (ρ) y Viscosidad cinemática (ν) para el agua a esta temperatura.

15. Determine para cada línea estudiada (L1, L2(L) y L3), los valores de (ϵ/D) y Re respectivos para los diferentes valores de Q medidos.
16. Calcule para las líneas 1, 2(L) y 3 los factores de fricción experimentales (f_{exp}) a partir de los valores de Q y DP respectivos, utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach.
17. Determine para cada línea los factores de fricción teóricos, utilizando para ello las ecuaciones de Colebrook-White (f_{col}), y Swamee-Jain (f_{swa}).
18. Determine los porcentajes de error (%Error), resultantes de comparar cada f_{exp} con sus correspondientes $f_{teóricos}$ (f_{col} y f_{swa}).
19. Realice una gráfica para cada línea analizada mostrando las curvas: ($f_{teórico}$ vs. $\text{Log}(Re)$), (f_{col} vs. $\text{Log}(Re)$) y (f_{swa} vs. $\text{Log}(Re)$). Ajuste adecuadamente las escalas y rangos mostrados para cada uno de los ejes con el fin de notar diferencias.
20. Para cada una de las líneas, 1, 2(L), 2(L/2) y 3, calcule los valores de las caídas de presión teóricas ($DP_{teóricos}$) utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Colebrook-White.
21. Determine los porcentajes de error (%Error), resultantes de comparar cada DP_{real} (DP medido) con su correspondiente $DP_{teórico}$.
22. Realice una gráfica mostrando las curvas: ($DP1$ vs. $V12$), ($DP2(L)$ vs. $V12$) y ($DP3$ vs. $V32$).
23. Realice una gráfica mostrando las curvas: ($DP1$ vs. $Q1$), ($DP2(L)$ vs. $Q2$), ($DP2(L/2)$ vs. $Q2$) y ($DP3$ vs. $Q3$).

Análisis de resultados:

24. ¿Según la teoría, por qué el factor de fricción disminuye al aumentar el Re ?
¿Se observa este comportamiento en las graficas de f_{exp} vs. $\text{Log}(Re)$ realizadas?
25. Con base en las graficas y porcentajes de error obtenidos de comparar f_{exp} con f_{col} y f_{swa} , responda las siguientes preguntas:

¿Cree usted que la ecuación de Darcy-Weisbach describe eficazmente el comportamiento del factor de fricción real? Justifique.

¿La ecuación de Colebrook-White describe aproximadamente el comportamiento del factor de fricción real? ¿Presenta mayor o menor precisión que la ecuación de Darcy-Weisbach? Justifique sus respuestas.




26. A partir de los %Error obtenidos al comparar DP_{real} con $DP_{teórico}$, y f_{real} con f_{exp} , establezca la influencia que tiene la variación del coeficiente de pérdidas “f” sobre la caída de presión DP. ¿Implica un gran error en la determinación del DP una pequeña variación en el factor de fricción?

27. ¿Qué comportamiento muestra la caída de presión (DP) al incrementar el cuadrado de la velocidad del fluido en la tubería (V^2)?, ¿Se ajusta este comportamiento a un modelo lineal (pasa la recta por el origen)?, ¿Era esto previsible desde el punto de vista teórico? Explique.

28. A partir de las curvas DP vs. Q, tomando como base para la comparación la curva ($DP^2(L)$ vs. Q^2), analice la influencia que en la caída de presión (DP) tiene el incremento o disminución de los parámetros L, D y ϵ . Tenga en cuenta describir la magnitud de dicha influencia.

29. “La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma”. Entonces cuando hablamos de pérdidas de energía en tuberías, ¿Qué tipo de energía se pierde?, ¿Por qué se dice que se pierde?, ¿Esta energía perdida en que otros tipos de energía se transforma... O será que sí se destruye? Justifique sus respuestas.

30. Enuncie las posibles fuentes de error que usted considere influyen determinantemente en la experiencia realizada, y explique cuál es la influencia de cada una.

 		LABORATORIO DE SISTEMA DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.					
Elaboró:		César Augusto Sanabria G. - Ricardo Sánchez B.		Fecha:	
Auxiliar:				Grupo:	
PRUEBA No 2		MODULO PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN TUBERÍAS, VÁLVULAS Y ACCESORIOS.			

CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DE LA RUGOSIDAD ABSOLUTA “ ϵ ” DE TUBERÍAS.

Objetivos de la prueba:

Establecer un procedimiento experimental para la caracterización hidráulica de la Rugosidad absoluta (ϵ) de tuberías de acero inoxidable y acero galvanizado, que pueda ser extendido a tuberías de otros materiales.

Estimar experimentalmente valores de Rugosidad absoluta (ϵ) propios de tuberías de acero inoxidable AISI 304 comercial (no sanitaria) y acero galvanizado.

Procedimiento de toma de datos:

1. Disponga el banco en condiciones de operación.
2. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura inicial del fluido (T_i).
3. Mida la longitud de tubería de las líneas 1, 2(L) y 3. (Longitudes de tubería medidas entre los puntos donde se toman las presiones de entrada y salida para las líneas mencionadas, incluyendo la longitud de bridas).
4. Determine la configuración de bombas a trabajar y póngala en funcionamiento.
5. Abra completamente la válvula globo de principal (VGP) y la válvula de globo 1 (VG1). Todas las demás (VG2 a VG9) deben permanecer cerradas.
6. Abra las válvulas VPESD, VPSSD, VPEL1 y VPSL1 para llevar las señales de presión al manómetro diferencial.
7. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VG1, tome datos de DP1 y Q1 para la línea 1. Trate de abarcar un amplio rango de caudales,

teniendo en cuenta siempre, para todas las tomas de datos, que a bajos caudales (Q

≤ 5 gpm para una bomba o dos en serie, y $Q \leq 10$ gpm para bombas en paralelo), la toma de datos debe ser ágil y rápida a fin de evitar el sobrecalentamiento de los motores de las bombas.

8. Al finalizar la toma de datos para la línea 1, abra completamente las válvulas VG2, VPEL2 y VPSL2, posteriormente cierre completamente las válvulas VG1, VPEL1 y VPSL1.

9. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VG2, tome datos de DP2, Q2 para la línea 2.

10. Al finalizar la toma de datos para la línea 2, abra completamente la válvula VG3,

VPEL3 y VPSL3, después cierre completamente las válvulas VG2, VPEL2 y VPSL2.

11. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VG3, tome datos de DP3 y Q3 para la línea 3.

12. Al finalizar la toma de datos para la línea 3, siga el orden de apagado de bombas para la configuración seleccionada, y cierre completamente las válvulas VPESD, VPSSD, VPEL3, VPSL3, VG3, y VGP.

13. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura final del fluido (T_f).

Cálculos:

14. Con los datos medidos de T_i y T_f , calcule el promedio aritmético (T_{prom}) y obtenga de tablas los datos de Densidad (ρ) y Viscosidad cinemática (ν) para el agua a esta temperatura.

15. Determine para cada línea estudiada (L1, L2(L) y L3), los valores de D y Re respectivos para los diferentes valores de Q medidos. No trabaje con datos correspondientes a flujo laminar ($Re \leq 2500$).

16. Calcule para las líneas 1, 2(L) y 3 los factores de fricción experimentales (f_{exp}) a partir de los valores de Q y DP respectivos, utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach.

17. Obtenga, a partir de la ecuación de Colebrook-White, una expresión explícita para calcular la Rugosidad absoluta (ϵ) de la tubería.

18. Con la ecuación obtenida calcule, independientemente para cada línea trabajada, la rugosidad absoluta de la correspondiente tubería para los caudales medidos.

19. Calcule el promedio aritmético de Rugosidad absoluta (ϵ_{prom}), para cada línea de forma independiente. No tenga en cuenta para el cálculo del ϵ_{prom} de cada línea, valores de ϵ que resulten muy alejados (desviados) de la tendencia o agrupación mostrada por la mayoría de datos restantes (Datos atípicos).

20. Determine los valores de rugosidad absoluta para cada material así: $\epsilon_{inox} = \frac{1}{2} (\epsilon_{promL1} + \epsilon_{promL2})$, ϵ acero comercial (de tablas), ϵ A. Galv. = ϵ_{promL3} y $\epsilon_{hierro Galv.}$ (de tablas).

21. Utilizando los valores de ϵ_{inox} y ϵ acero comercial calcule las caídas de presión teóricas ($DP_{teorica}$) para cada caudal medido para las líneas 1 y 2. Utilice la ecuación de Darcy-Weisbach para obtener el $f_{teórico}$.

22. Calcule, para la línea 3, las caídas de presión teóricas ($DP_{teoricas}$) para cada caudal medido (Q_3), utilizando los valores de ϵ A. Galv. y $\epsilon_{hierro Galv.}$

23. Realice una gráfica mostrando las curvas: (DP vs. Q), ($DP_{teorico}(\epsilon \text{ calculado})$ vs. Q) y ($DP_{teorico}(\epsilon \text{ de tablas})$ vs. Q), para cada una de las líneas trabajadas.

24. Determine los porcentajes de error (%Error), resultantes de comparar: (DP vs. $DP_{teorico}(\epsilon \text{ calculado})$) y (DP vs. $DP_{teorico}(\epsilon \text{ de tablas})$), para cada una de las líneas.




Análisis de resultados:

25. ¿En su concepto, según los resultados obtenidos, es un buen criterio utilizar la Rugosidad absoluta del acero comercial para cálculos que involucran tuberías de

acero inoxidable comercial?, ¿Qué tanta influencia tiene la variación de la rugosidad absoluta en el cálculo de la caída de presión?, Justifique.

26. Si la regulación del caudal circulante por la línea no se realiza por estrangulación del flujo con la válvula de globo de final de línea (aguas abajo de la línea), sino con la válvula VGP (aguas arriba de la línea), para un mismo caudal ¿Se obtendrían valores de ϵ diferentes a los ya obtenidos para cada línea? ¿Por qué?

27. Enuncie las posibles fuentes de error que considere influyen determinadamente en la experiencia realizada, y explique cuál es la influencia de cada una.

 	LABORATORIO DE SISTEMA DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.			
Elaboró:	César Augusto Sanabria G. - Ricardo Sánchez B.	Fecha:	
Auxiliar:		Grupo:	
PRUEBA No 3	MODULO PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN TUBERÍAS, VÁLVULAS Y ACCESORIOS.		

CARACTERIZACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERDIDAS “K” DE VÁLVULAS.

Objetivos de la prueba:

Establecer un procedimiento experimental para la caracterización del Coeficiente de pérdidas (K) de válvulas.

Determinar experimentalmente valores del Coeficiente de perdidas (K), para válvulas de Globo (línea 4), Cheque tipo cortina o bisagra (línea 5), Bola (línea 6) y Compuerta (línea 7), de diámetro nominal 1/2”, de acero inoxidable, de extremos roscados y completamente abiertas.

Procedimiento de toma de datos:

1. Disponga el banco en condiciones de operación.
2. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura inicial del fluido (T_i).
3. Mida la longitud de tubería de las líneas 4, 5, 6 y 7. (Longitudes de tubería medidas entre los puntos donde se toman las presiones de entrada y salida para las líneas mencionadas, incluyendo la longitud de bridas y excluyendo la longitud de válvulas).
4. Determine la configuración de bombas a trabajar y póngala en funcionamiento.
5. Abra completamente la válvula globo de principal (VGP) y la válvula de globo 4 (VG4). Todas las demás válvulas de final de línea (VG1 a VG3, y VG5 a VG9) deben permanecer cerradas.

6. Abra las válvulas VPESD, VPSSD, VPEL4 y VPSL4 para llevar las señales de presión al manómetro diferencial.

7. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VG4, tome datos de DP4 y Q4 para la línea 4. La válvula de la línea, VL4, debe encontrarse completamente abierta.

Trate de abarcar un amplio rango de caudales, teniendo en cuenta siempre, para todas las tomas de datos, que a bajos caudales ($Q \leq 5$ gpm para una bomba o dos en serie, y $Q \leq 10$ gpm para bombas en paralelo), la toma de datos debe ser ágil y rápida a fin de evitar el sobrecalentamiento de los motores de las bombas.

8. Al finalizar la toma de datos para la línea 4, abra completamente las válvulas VG5, VPEL5 y VPSL5, posteriormente cierre completamente las válvulas VG4, VPEL4 y VPSL4.

9. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VG5, tome datos de DP5 y Q5 para la línea 5.

10. Al finalizar la toma de datos para la línea 5, abra completamente la válvula VG6, VPEL6 y VPSL6, posteriormente cierre completamente las válvulas VG5, VPEL5 y VPSL5.

11. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VG6, tome datos de DP6 y Q6 para la línea 6. La válvula de la línea, VL6, debe encontrarse completamente abierta.

12. Al finalizar la toma de datos para la línea 6, abra completamente la válvula VG7, VPEL7 y VPSL7, posteriormente cierre completamente las válvulas VG6, VPEL6 y VPSL6.

13. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VG7, tome datos de DP7 y Q7 para la línea 7. La válvula de la línea, VL7, debe encontrarse completamente abierta.

14. Al finalizar la toma de datos para la línea 7, siga el orden de apagado de bombas para la configuración seleccionada, y cierre completamente las válvulas VPESD, VPSSD, VPEL7, VPSL7, VG7 y VGP.

15. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura final del fluido (T_f).

Cálculos:

16. Con los datos medidos de T_i y T_f , calcule el promedio aritmético (T_{prom}) y obtenga de tablas los datos de Densidad (ρ) y Viscosidad cinemática (ν) para el agua a esta temperatura.

17. Determine para cada línea estudiada (L4, L5, L6 y L7), los valores de (ϵ/D) y Re respectivos para los diferentes valores de Q medidos.

18. Calcule para cada línea la caída de presión debida a la tubería (DP_f) a partir de los valores de Q respectivos, utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

19. Obtenga la caída de presión de cada válvula para cada caudal medido mediante la siguiente ecuación: $DP_{válvula-exp.} = DP_{línea} - DP_f$.

20. Realice, para cada tipo de válvula, una gráfica de $(DP_{válv. exp.} / \rho \cdot g)$ vs. $(V^2/2 \cdot g)$ y obtenga, para cada una, su curva de tendencia según un modelo lineal con su respectiva ecuación.

21. Para cada ecuación, obtenga de su pendiente el valor de K_{exp} para cada tipo de válvula.

22. Calcule el valor de $K_{teórico}$, para cada tipo de válvula, a partir de las ecuaciones adecuadas contenidas en el numeral 4.3 del **Marco teórico** de este manual de pruebas. Tome los datos necesarios sobre la geometría interna de cada válvula del capítulo de **Información técnica**.

23. Calcule los valores de $K_{fabricante}$ para las válvulas de Globo, Bola y Compuerta, a partir de los valores de C_v dados en tablas del capítulo **Información técnica**.

Remítase al numeral 4.3 del **Marco teórico** para obtener la ecuación de conversión de C_v a K .

24. Determine $DP_{\text{válvula-teórico}}$, para cada caudal Q medido, utilizando el valor de $K_{\text{válvula-teórico}}$ obtenido, para cada una de las líneas trabajadas.

25. Determine $DP_{\text{válvula-fabricante}}$, para cada caudal Q medido, utilizando el valor de $K_{\text{válvula-fabricante}}$ obtenido, para las líneas 4, 6 y 7.

26. Calcule los porcentajes de error (%Error) resultantes de comparar: ($DP_{\text{válvula-teórico}}$ vs. $DP_{\text{válvula-exp.}}$) y ($DP_{\text{válvula-fabricante}}$ vs. $DP_{\text{válvula-exp.}}$), para todas las líneas trabajadas.

27. Realice una gráfica mostrando las curvas: ($DP_{\text{válvula-teórico}}$ vs. Q), ($DP_{\text{válvula-exp.}}$ vs. Q) y ($DP_{\text{válvula-fabricante}}$ vs. Q), para cada una de las líneas trabajadas.




Análisis de resultados:

28. ¿Sigue la distribución de puntos ($DP_{\text{válv. exp.}} / \rho \cdot g$) vs. $(V^2/2 \cdot g)$ para cada tipo de válvula, un comportamiento lineal o se ajusta mejor a otro tipo de modelo (logarítmico, exponencial, polinómico...)?, ¿Pasa este modelo (lineal, etc.) por el origen de coordenadas?, ¿Debería hacerlo?, Justifique sus respuestas.

29. ¿Cuál de los valores del coeficiente de pérdidas ($K_{\text{válvula-teórico}}$ ó $K_{\text{válvula-fabricante}}$), para válvulas de globo, bola y compuerta permite obtener valores de $DP_{\text{válvula}}$ más próximos a los reales? Justifique.

30. En el interior de la válvula cheque tipo bisagra, un cuerpo pivotado ajusta su posición de apertura o cierre, (ángulo de inclinación que adopta el disco al pasar el fluido) según un equilibrio de fuerzas (¿Cuáles?). De acuerdo a los resultados obtenidos en la experiencia, se ajustan convenientemente los resultados teóricos ($\%Error \leq 5\%$) que suponen un factor de fricción K constante e independiente de la posición de apertura del disco, a los valores de $DP_{\text{exp.}}$?, ¿Se obtendría un mejor grado de precisión en el cálculo del $DP_{\text{válvula-teórico}}$ si K_v cheque fuera una función del ángulo o grado de apertura del disco en la válvula?. Justifique sus respuestas.

31. Enuncie las posibles fuentes de error que usted considere influyen determinantemente en la experiencia realizada, y explique cuál es la influencia de cada una.

 		LABORATORIO DE SISTEMA DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.					
Elaboró:		César Augusto Sanabria G. - Ricardo Sánchez B.		Fecha:	
Auxiliar:				Grupo:	
PRUEBA No 4		MODULO PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN TUBERÍAS, VÁLVULAS Y ACCESORIOS.			

CARACTERIZACIÓN DEL COEFICIENTE DE PÉRDIDAS “K” DE ACCESORIOS.

Objetivos de la prueba:

Establecer un procedimiento experimental para la caracterización del Coeficiente de pérdidas (K) de diferentes accesorios.

Determinar experimentalmente valores del Coeficiente de pérdidas (K), para codos 90° radio largo (línea 8), Tes en paso angular y Tes en paso directo, de acero inoxidable, de extremos para soldar a tope y de diámetro nominal 1/2”.

Procedimiento de toma de datos:

1. Disponga el banco en condiciones de operación.
2. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura inicial del fluido (T_i).
3. Las líneas de trabajo a estudiar son:
 - Codo 90° radio largo: Línea 8.
 - Tés paso angular: Líneas 9A (Válvulas VL9-1 y VL9-3 abiertas) o 9B (Válvulas VL9-1 y VL9-4 abiertas).
 - Tés paso directo: Líneas 9D (Válvulas VL9-2 y VL9-3 abiertas) o 9E (Válvulas VL9-2 y VL9-4 abiertas).

Las válvulas de la línea 9 no descritas como abiertas en cada configuración, deben permanecer completamente cerradas.

4. Mida la longitud de tubería de la línea 8 y las configuraciones de línea 9 a trabajar. (Longitudes de tubería medidas entre los puntos donde se toman las presiones de entrada y salida para las líneas 8 y 9A o 9B, incluyendo la longitud de bridas y excluyendo la longitud de válvulas y accesorios. Para las líneas 9D o

9E, se debe discriminar en la medida la longitud de tubería entre los puntos donde se toman las presiones de entrada e intermedia, La, y los puntos donde se toman las presiones intermedia y de salida, Lb).

5. Determine la configuración de bombas a trabajar y póngala en funcionamiento.
6. Abra completamente la válvula globo de principal (VGP) y la válvula de globo 8 (VG8). Todas las demás válvulas de final de línea (VG1 a VG7, y VG9) deben permanecer cerradas.
7. Abra las válvulas VPESD, VPSSD, VPEL8 y VPSL8 para llevar las señales de presión al manómetro diferencial.
8. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VG8, tome datos de DP8 y Q8 para la línea 8. Trate de abarcar un amplio rango de caudales, teniendo en cuenta siempre, para todas las tomas de datos, que a bajos caudales ($Q \leq 5$ gpm para una bomba o dos en serie, y $Q \leq 10$ gpm para bombas en paralelo), la toma de datos debe ser ágil y rápida a fin de evitar el sobrecalentamiento de los motores de las bombas.
9. Al finalizar la toma de datos para la línea 8, abra completamente las válvulas VG9, VPEL9, VPSL9 y disponga la configuración de línea 9A (o 9B), posteriormente cierre completamente las válvulas VG8, VPEL8 y VPSL8.
10. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VG9, tome datos de DP9A y Q9A para la línea 9A (o 9B).
11. Al finalizar la toma de datos para la línea 9A (o 9B), abra completamente la válvula VG9 y disponga la configuración de línea 9D (o 9E).
12. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VG9, tome datos de DP9D, Q9D y DPIL9 para la línea 9D (o 9E). Para medir DP9D, abra las válvulas VPEL9 y VPSL9; para medir DPIL9, cierre VPEL9 y abra VPIL9 manteniendo abierta la válvula VPSL9.
La medición de DP9 y DPIL9 para un mismo Q9 deben realizarse ambas antes de variar la apertura de la válvula VG9 para modificar Q9 a un nuevo valor.
13. Note que si configura la línea 9 como 9D o 9E, podría trabajar la mitad final como línea 9A* o 9B* ($DP9A^* = DPIL9$, $Q9A^* = Q9D = Q9$, y $L9A^* = Lb$), para estudiar Tes en paso angular y directo simultáneamente en una sola línea.
14. Al finalizar la toma de datos para la línea 9D (o 9E), siga el orden de apagado de bombas para la configuración seleccionada, y cierre completamente las válvulas VPESD, VPSSD, VPEL9, VPSL9, VPIL9, VG9 y VGP.
15. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura final del fluido (Tf).

Cálculos:

16. Con los datos medidos de T_i y T_f , calcule el promedio aritmético (T_{prom}) y obtenga de tablas los datos de Densidad (ρ) y Viscosidad cinemática (ν) para el agua a esta temperatura.
17. Determine para cada línea estudiada (L8, L9A o L9B y L9D o L9E), los valores de (ϵ/D) y Re respectivos para los diferentes valores de Q medidos.
18. Calcule para la línea 8, la caída de presión debida a la tubería (DP_f8) a partir de los valores de Q respectivos, utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.
19. Obtenga la caída de presión de cada codo 90° para cada caudal medido mediante la siguiente ecuación: $DP_{codo90^\circ-exp.} = 0,25 \cdot (DP_8 - DP_f8)$.
20. Calcule para la línea 9A o 9B, la caída de presión debida a la tubería (DP_f9A) a partir de los valores de Q respectivos, utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.
21. Determine la caída de presión debida a accesorios, $DP_f acc9A$. (**No** tenga en cuenta en este cálculo el aporte de las Tes en paso angular).
22. Obtenga la caída de presión en una Te paso angular para cada caudal medido mediante la siguiente ecuación: $DPTe ang-exp. = 0,25 \cdot (DP_9A - DP_f9A - DP_f acc9A)$.
23. Calcule para la línea 9D o 9E a partir de los valores de Q_{9D} respectivos, la caída de presión debida a la tubería (DP_f9D), **debida únicamente a la longitud L_a** , utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.
24. Determine la caída de presión $DP_f acc9D$, debida a accesorios **ubicados únicamente en la primera mitad de la línea 9D o 9E**, (entre los puntos de toma de presión de entrada e intermedia). **No** tenga en cuenta en este cálculo el aporte de las Tes en paso directo.
25. Obtenga la caída de presión en una Te paso directo para cada caudal medido mediante la siguiente ecuación:
 $DPTe direct-exp. = 0,5 \cdot (DP_9D - DP_{IL9} - DP_f9D - DP_f acc9D)$.
26. Realice, para cada tipo de accesorio estudiado, una gráfica ($DP_{acc.-exp.} / \rho \cdot g$) vs. $(V^2/2 \cdot g)$ y obtenga, para cada una, su curva de tendencia según un modelo lineal con su respectiva ecuación.
27. Obtenga de la pendiente de cada ecuación, el valor de K_{exp} para cada accesorio.
28. Calcule el valor de $K_{teórico}$ para cada tipo de accesorio estudiado, a partir de las ecuaciones adecuadas contenidas en el numeral 4.3 del **Marco teórico** de este manual de pruebas. Tome los datos necesarios sobre la geometría interna de cada accesorio del capítulo de **Información técnica**.

29. Determine $DP_{\text{accesorio-teórico}}$, para cada caudal Q medido, utilizando el valor de

$K_{\text{accesorio-teórico}}$ obtenido, para cada uno de los tipos de accesorios trabajados.

30. Calcule los porcentajes de error (%Error) resultantes de comparar:




($DP_{\text{accesorio-teórico}}$ vs. $DP_{\text{accesorio-exp.}}$), para cada tipo de accesorio trabajado.

31. Realice una gráfica para cada uno de los tipos de accesorios trabajados, mostrando las curvas: ($DP_{\text{accesorio-teórico}}$ vs. Q) y ($DP_{\text{accesorio-exp.}}$ vs. Q).

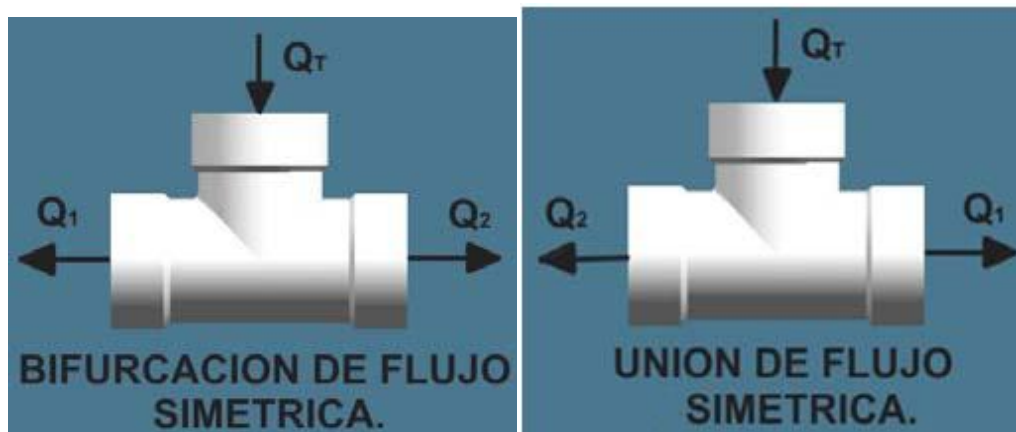
Análisis de resultados:

32. ¿Siguen la distribución de puntos ($DP_{\text{acc.-exp.}} / \rho \cdot g$) vs. ($V^2/2 \cdot g$) para cada tipo de accesorio estudiado, un comportamiento lineal o se ajusta mejor a otro tipo de modelo (logarítmico, exponencial, polinómico...)?, ¿Pasa este modelo (lineal, etc.) por el origen de coordenadas?, ¿Debería hacerlo?, Justifique sus respuestas.

33. ¿Proporcionan los valores de K determinados según las expresiones dadas en la teoría, %Error para el cálculo de $DP_{\text{acc.}}$ aceptables en la práctica de la ingeniería (%Error $\leq 5\%$)? Justifique.

 	LABORATORIO DE SISTEMA DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.			
Elaboró:	César Augusto Sanabria G. - Ricardo Sánchez B.	Fecha:	
Auxiliar:		Grupo:	
PRUEBA No 5	MODULO PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN TUBERÍAS, VÁLVULAS Y ACCESORIOS.		

EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA A TRAVÉS DE UNIONES Y BIFURCACIONES DE FLUJO SIMÉTRICAS.



Objetivos de la prueba:

Ejercitar una metodología para la solución de sistemas de tuberías en paralelo. Verificar la validez de los coeficientes de pérdidas (K) para uniones y bifurcaciones de flujo simétricas, dados en la teoría.

Procedimiento de toma de datos:

1. Disponga el banco en condiciones de operación.
2. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura inicial del fluido (T_i).
3. Seleccione la configuración de línea 9 a trabajar de las siguientes posibilidades:
 - Línea 9C: Válvulas VL9-1, VL9-3 y VL9-4 completamente abiertas.

- Líneas 9D: Válvulas VL9-2, VL9-3 y VL9-4 completamente abiertas.
- Líneas 9I: Válvulas VL9-1, VL9-2, VL9-3 y VL9-4 completamente abiertas.

Las válvulas de la línea 9 no descritas como abiertas en cada configuración, deben permanecer completamente cerradas.

4. Mida la longitud de tubería correspondiente a la mitad final de la configuración de línea 9 a trabajar. (Longitudes de tubería medidas entre los puntos donde se toman las presiones intermedia y de salida para la línea 9, incluyendo la longitud de bridas y excluyendo la longitud de válvulas y accesorios. Se debe discriminar en la medida, la longitud total de tubería de la mitad final de la línea 9 por la que circula

Q9 (Lb), la longitud de tubería (Ls) por la que circula Qs (caudal circulante por el ramal superior del paralelo y válvula VL9-3), y la longitud (Li) por la cual circula Qi (caudal circulante por el ramal inferior del paralelo y válvula VL9-4)).

5. Determine la configuración de bombas a trabajar y póngala en funcionamiento.

6. Seleccione y disponga la configuración de línea 9 seleccionada.

7. Abra completamente la válvula globo de principal (VGP) y la válvula de globo 9 (VG9). Todas las demás válvulas de final de línea (VG1 a VG8) deben permanecer cerradas.

8. Abra las válvulas VPESD, VPSSD, VPIL9 y VPSL9 para llevar las señales de presión al manómetro diferencial.

9. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VG9, tome datos de DPIL9 y Q9 para la configuración de línea 9 seleccionada. Trate de abarcar un amplio rango de caudales, teniendo en cuenta siempre, para todas las tomas de datos, que a bajos caudales ($Q \leq 5$ gpm para una bomba o dos en serie, y $Q \leq 10$ gpm para bombas en paralelo), la toma de datos debe ser ágil y rápida a fin de evitar el sobrecalentamiento de los motores de las bombas.

10. Al finalizar la toma de datos, siga el orden de apagado de bombas para la configuración seleccionada, y cierre completamente las válvulas VPESD, VPSSD, VPSL9, VPIL9, VG9 y VGP.

11. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura final del fluido (Tf).

Cálculos:

12. Con los datos medidos de Ti y Tf, calcule el promedio aritmético (Tprom) y obtenga de tablas los datos de Densidad (ρ) y Viscosidad cinemática (ν) para el agua a esta temperatura.




13. Determine los valores de (ϵ/D) y Re respectivos para los diferentes valores de Q9 medidos.

14. Calcule la caída de presión (DPfQ9) debida a la tubería por la cual circula Q9 (Lb), a partir de los valores de Q respectivos, utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DPf = \rho \cdot g \cdot Hf$.
15. Calcule la caída de presión (DPfQs) debida a la tubería por la cual circula Qs (Ls), utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DPf = \rho \cdot g \cdot Hf$. Asuma que $Qs = Qi = \frac{1}{2} \cdot Q9$.
16. Calcule el valor de K teórico para cada tipo de accesorio a partir de las ecuaciones adecuadas contenidas en el numeral 4.3 del **Marco teórico** de este manual de pruebas. Tome los datos necesarios sobre la geometría interna de cada accesorio del capítulo de **Información técnica**.
17. Determine la caída de presión DPfacc-s para cada valor de Q9 medido. Tenga en cuenta utilizar correctamente los valores de K o K' para la unión y bifurcación simétrica.
18. Calcule la caída de presión DPIL9-teórico, para cada caudal Q9, según la ecuación: $DPIL9\text{-teórico} = DPfQs + DPfacc\text{-s} + DPfQ9$.
19. Calcule los porcentajes de error (%Error) resultantes de comparar: (DPIL9-teórico vs. DPIL9-exp.).

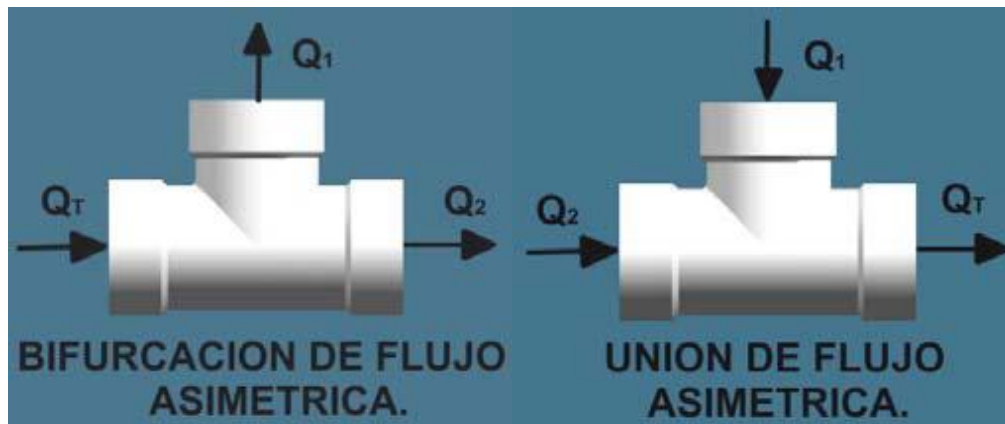
Análisis de resultados:

20. ¿Es válido suponer que por cada ramal del paralelo estudiado fluye la mitad del caudal total? Justifique.
21. ¿Proporcionan los valores de K (o K') para uniones y bifurcaciones simétricas contenidos en tablas de la bibliografía disponible, %Error aceptables en la práctica de la ingeniería ($\%Error \leq 5\%$)? Justifique.
22. Sí la regulación del caudal circulante por la línea no se realiza por estrangulación del flujo con la válvula de globo de final de línea VG9 (aguas abajo de la línea), sino con la válvula VGP (aguas arriba de la línea), para un mismo caudal:
 - ¿Qué le sucede a las presiones absolutas de entrada y salida a la línea? ¿Por qué?
 - ¿Qué sucede con el DPIL9?, ¿Variarían los valores de los K a utilizar? Justifique.
23. ¿Qué sucedería con DPIL9, Q9, Qs, Qi y con los valores de K (o K') a utilizar para cada uno de los brazos de la unión y la bifurcación simétrica, si se cerrara parcialmente la válvula VL9-3? Justifique su respuesta.
24. “La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma”. Entonces cuando hablamos de pérdidas de energía en accesorios, ¿Qué tipo de energía se pierde?, ¿Por qué se dice que se pierde?, ¿Esta energía perdida en que otros tipos de energía se transforma... O será que sí se destruye? Justifique sus respuestas.

25. Enuncie las posibles fuentes de error que usted considere influyen determinantemente en la experiencia realizada, y explique cuál es la influencia de cada una.

 	LABORATORIO DE SISTEMA DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.			
Elaboró:	César Augusto Sanabria G. - Ricardo Sánchez B.	Fecha:	
Auxiliar:		Grupo:	
PRUEBA No 6	MODULO PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN TUBERÍAS, VÁLVULAS Y ACCESORIOS.		

EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA A TRAVÉS DE UNIONES Y BIFURCACIONES DE FLUJO ASIMÉTRICAS.



Objetivos de la prueba:

Establecer una metodología para la solución de sistemas de tuberías en paralelo. Verificar la validez de los coeficientes de pérdidas (K) para uniones y bifurcaciones asimétricas dadas en la teoría.

Procedimiento de toma de datos:

1. Disponga el banco en condiciones de operación.
2. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura inicial del fluido (T_i).
3. Seleccione la configuración de línea 9 a trabajar de las siguientes posibilidades:
 - Línea 9G: Válvulas VL9-1, VL9-2 y VL9-3 completamente abiertas.
 - Líneas 9H: Válvulas VL9-1, VL9-2 y VL9-4 completamente abiertas.
 - Líneas 9I: Válvulas VL9-1, VL9-2, VL9-3 y VL9-4 completamente abiertas.

Las válvulas de la línea 9 no descritas como abiertas en cada configuración, deben permanecer completamente cerradas.

4. Mida la longitud de tubería correspondiente a la mitad inicial de la configuración de línea 9 a trabajar. (Longitudes de tubería medidas entre los puntos donde se toman las presiones de entrada e intermedia para la línea 9, incluyendo la longitud de bridas y excluyendo la longitud de válvulas y accesorios. Se debe discriminar en la medida, la longitud total de tubería de la mitad inicial de la línea 9 por la que circula Q_9 (L_a), la longitud de tubería (L_s) por la que circula Q_s (caudal circulante por el ramal superior del paralelo y válvula VL9-1), y la longitud (L_i) por la cual circula Q_i (caudal circulante por el ramal inferior del paralelo y válvula VL9-2)).

5. Determine la configuración de bombas a trabajar y póngala en funcionamiento.

6. Seleccione y disponga la configuración de línea 9 seleccionada.

7. Abra completamente la válvula globo de principal (VGP) y la válvula de globo 9 (VG9). Todas las demás válvulas de final de línea (VG1 a VG8) deben permanecer cerradas.

8. Abra las válvulas VPESD y VPSSD para llevar las señales de presión al manómetro diferencial.

9. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VG9, tome datos de DP9, Q_9 y DPIL9 para la configuración de línea 9 seleccionada. Para medir

DP9, abra las válvulas VPEL9 y VPSL9; para medir DPIL9, cierre VPEL9 y abra VPIL9 manteniendo abierta la válvula VPSL9.

La medición de DP9 y DPIL9 para un mismo Q_9 deben realizarse ambas antes de variar la apertura de la válvula VG9 para modificar Q_9 a un nuevo valor. Trate de abarcar un amplio rango de caudales, teniendo en cuenta siempre, para todas las tomas de datos, que a bajos caudales ($Q \leq 5$ gpm para una bomba o dos en serie, y $Q \leq 10$ gpm para bombas en paralelo), la toma de datos debe ser ágil y rápida a fin de evitar el sobrecalentamiento de los motores de las bombas.

10. Al finalizar la toma de datos, siga el orden de apagado de bombas para la configuración seleccionada, y cierre completamente las válvulas VPESD, VPSSD, VPEL9, VPSL9, VPIL9, VG9 y VGP.

11. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura final del fluido (T_f).

Cálculos:

12. Con T_i y T_f , calcule el promedio aritmético (T_{prom}) y obtenga de tablas los datos de Densidad (ρ) y Viscosidad cinemática (ν) para el agua a esta temperatura.

13. Determine los valores de (ϵ/D) y Re respectivos para los diferentes valores de Q_9 medidos.

14. Calcule la caída de presión (DP_{fQ_9}) debida a la tubería por la cual circula Q_9 (L_9), a partir de los valores de Q respectivos, utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

15. Determine, para cada Q_9 medido, la caída de presión del paralelo conformado por el ramal de tubería superior (contiene la válvula VL9-1), y el ramal de tubería inferior (contiene la válvula VL9-2), según la ecuación:

$$DP_{//\text{-exp.}} = DP_9 - DP_{IL9} - DP_{fQ_9}$$

16. Calcule, para cada Q_9 medido, el caudal que debe circular por el ramal superior del paralelo Q_s , tal que el DP_s sea: $DP_s = DP_{//\text{-exp.}} \pm \text{Error}$. El valor del Error será especificado por el auxiliar. Se recomienda sin embargo que:

- Error = (0,01 a 0,03) · $DP_{//\text{-exp.}}$ si $DP_{//\text{-exp.}} < 0,15\text{Bar}$.
- Error = 500Pa si $DP_{//\text{-exp.}} \geq 0,15\text{Bar}$.

Para obtener Q_s se sugiere seguir el siguiente procedimiento:

a) Asuma que $Q_s = 0,5 \cdot Q_9 = Q_I$.

b) Calcule la relación (Q_I/Q_9).

c) Calcule la caída de presión (DP_{fQ_s}) debida a la tubería por la cual circula Q_s (L_s), utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

d) Calcule el valor de $K_{teórico}$ para cada tipo de accesorio a partir de las ecuaciones y gráficas adecuadas contenidas en el numeral 4.3 del **Marco teórico** de este manual de pruebas. Tome los datos necesarios sobre la geometría interna de cada accesorio del capítulo de **Información técnica**.

Los valores de K (o K') para uniones y bifurcación asimétricas se obtendrán a partir del valor de (Q_I/Q_9) calculado.

e) Determine la caída de presión DP_{facc-s} para el valor de Q_s trabajado. Tenga en cuenta utilizar correctamente los valores de K o K' para la unión y bifurcación asimétrica.

f) Calcule la caída de presión $DP_{//\text{-teórico1}} = DP_s$ según la ecuación:

$$DP_s = DP_{fQ_s} + DP_{facc-s}$$

g) ¿ $|DP_{//\text{-exp.}} - DP_s| \leq \text{Error}$?

- **Sí:** $Q_s = \text{solución}$. Continúe en el numeral 17.
- **No:** Varíe adecuadamente el valor de Q_s y vuelva al numeral b).

17. Calcule, para cada Q9 medido, el caudal que debe circular por el ramal inferior del paralelo Qi, tal que el DPi sea: $DP_i = DP_{//\text{-exp}} \pm \text{Error}$.

Para obtener Qi se sugiere seguir el siguiente procedimiento:

a. Asuma que $Q_i = Q_9 - Q_s = Q_r$.

b. Calcule la relación $(Q_i/Q_9) = ((Q_9 - Q_i)/Q_9)$.

c. Calcule la caída de presión (DPfQi) debida a la tubería por la cual circula Qi (Li), utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

d. Calcule el valor de K teórico para cada tipo de accesorio a partir de las ecuaciones y gráficas adecuadas contenidas en el numeral 4.3 del **Marco teórico** de este manual de pruebas. Tome los datos necesarios sobre la geometría interna de cada accesorio del capítulo de **Información técnica**.

Los valores de K (o K') para uniones y bifurcación asimétricas se obtendrán a partir del valor de (Qi/Q9) calculado.

e. Determine la caída de presión DPfacc-i para el valor de Qi trabajado. Tenga en cuenta utilizar correctamente los valores de K o K' para la unión y bifurcación asimétrica.

f. Calcule la caída de presión $DP_{//\text{-teórico2}} = DP_i$ según la ecuación: $DP_i = DP_f Q_i + DP_{\text{facc-i}}$.

g. ¿ $|DP_{//\text{-exp}} - DP_i| \leq \text{Error}$?

- **Sí:** Qi = solución. Continué en el numeral 18.

- **No:** Varíe adecuadamente el valor de Qi y vuelva al numeral b.

18. Calcule, para cada Q9 medido, el caudal teórico: $Q_9\text{-teórico} = Q_s + Q_i$.

19. Determine los %Error resultantes de comparar cada Q9 medido con su respectivo Q9-teórico.

Análisis de resultados:

20. ¿Se conservó constante la relación (Qi/Q9) solución, para todos los valores de Q9 trabajados?, ¿Debería mantenerse esta relación constante o no? Justifique.

21. ¿Proporcionan los valores de K (o K') para uniones y bifurcaciones asimétricas contenidos en tablas de la bibliografía disponible, %Error aceptables en la práctica de la ingeniería (%Error $\leq 5\%$)? Justifique.




22. Si la regulación del caudal circulante por la línea no se realiza por estrangulación del flujo con la válvula de globo de final de línea VG9 (aguas abajo de la línea), sino con la válvula VGP (aguas arriba de la línea), para un mismo caudal:

- ¿Qué le sucede a las presiones absolutas de entrada y salida a la línea? ¿Por qué?.

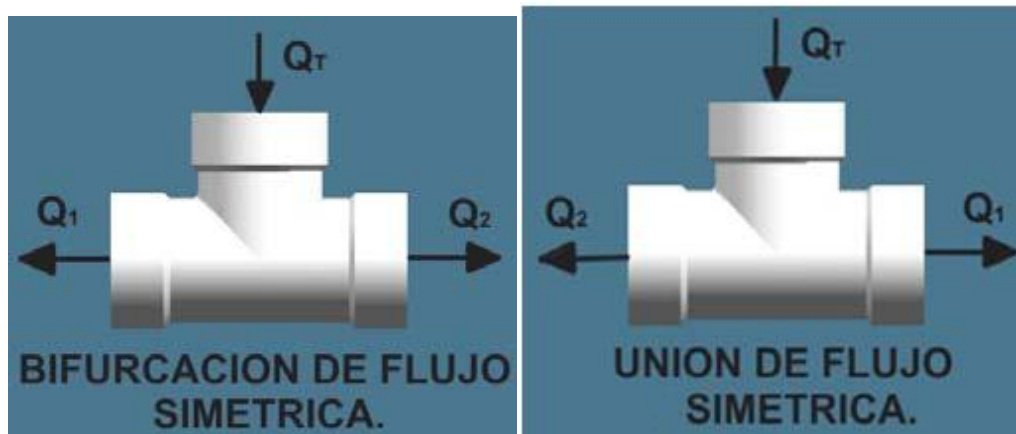
- ¿Qué sucede con el $DP_{//\text{-exp}}$?, ¿Variarían los valores de los K a utilizar?

- Justifique.

23. Enuncie las posibles fuentes de error que usted considere influyen determinantemente en la experiencia realizada, y explique cuál es la influencia de cada una.

 	LABORATORIO DE SISTEMA DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.		
Elaboró:	César Augusto Sanabria G. - Ricardo Sánchez B.	Fecha:
Auxiliar:		Grupo:
PRUEBA No 7	MODULO PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN TUBERÍAS, VÁLVULAS Y ACCESORIOS.	

CARACTERIZACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE PERDIDAS “K” DE UNIONES Y BIFURCACIONES DE FLUJO SIMÉTRICAS.



Objetivos de la prueba:

Establecer un procedimiento experimental para la caracterización del Coeficiente de pérdidas (K) en accesorios con derivación.

Determinar experimentalmente valores del Coeficiente de pérdidas (K), para cada uno de los brazos de una bifurcación y una unión simétricas, de brazos de diámetro nominal 1/2”, acero inoxidable y extremos para soldar a tope, como función de la relación Q_L/Q .

Procedimiento de toma de datos:

1. Disponga el banco en condiciones de operación.

2. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura inicial del fluido (T_i).
3. La configuración de líneas a trabajar consiste en: la línea 4 en los ramales superiores, y la línea 7 en los ramales inferiores de los accesorios a estudiar, los cuales son las Tes a través de las cuales entra y sale el caudal a los sistemas ramificados de entrada y salida, respectivamente.
4. Mida las longitudes de tubería y determine los tipos y cantidades de accesorios correspondientes a cada una de los tramos a trabajar. Los tramos a trabajar son: entre el punto de toma de la presión de entrada para líneas en paralelo (EP) y la bifurcación simétrica (Bif), entre cada brazo ramificado de la bifurcación y los puntos donde se toman las presiones de entrada a cada línea trabajada (EL4 y EL7), entre los puntos donde se toman las presiones de salida a cada línea trabajada (SL4 y SL7) y cada brazo ramificado de la unión simétrica estudiada (Uni), y finalmente, entre la unión simétrica (Uni) y el punto de toma de la presión de salida para líneas en paralelo (SP). La longitud de tubería debe incluir la longitud de bridas y excluir la longitud de válvulas y accesorios.
5. Determine la configuración de bombas a trabajar y póngala en funcionamiento.
6. Abra completamente la válvula globo principal (VGP) y las válvulas de globo VG4 y VG7. Todas las demás válvulas de final de línea deben permanecer cerradas.
7. Abra las válvulas VPESD y VPSSD para llevar las señales de presión al manómetro diferencial.
8. Abra completamente la válvula VL7 y cierre completamente la válvula VL4.
9. Manteniendo VL7 totalmente abierta, varíe progresivamente el caudal mediante la apertura de la válvula VL4, y tome los datos DP(EP-SL7), DP(EL7-SL7), DP(EL7-SP), DP(EP-SL4), DP(EL4-SL4), DP(EL4-SP) y Q para la configuración de líneas seleccionada.
 Para medir DP(EP-SL7), abra las válvulas VPELS/P y VPSL7
 Para medir DP(EL7-SL7), cierre VPELS/P y abra VPEL7 y VPSL7.
 Para medir DP(EL7-SP), cierre VPSL7 y abra VPSLS/P y VPEL7.
 Para medir DP(EP-SL4), cierre VPSLS/P y VPEL7 y abra las válvulas VPELS/P y VPSL4.
 Para medir DP(EL4-SL4), cierre VPELS/P y abra las válvulas VPEL4 y VPSL4.
 Para medir DP(EL4-SP), cierre VPSL4 y abra las válvulas VPEL4 y VPSLS/P.
 Cierre completamente las válvulas VPEL4 y VPSLS/P.

La medición de cada caída de presión mencionada, al igual que el procedimiento descrito en el numeral siguiente, para un mismo Q, debe realizarse **antes de variar la apertura de la válvula VL4 (o VL7) para modificar Q** a un nuevo valor.

Trate de abarcar un amplio rango de caudales, teniendo en cuenta siempre, para todas las tomas de datos, que a bajos caudales ($Q \leq 5$ gpm para una bomba o dos en serie, y

$Q \leq 10$ gpm para bombas en paralelo), la toma de datos debe ser ágil y rápida a fin de evitar el sobrecalentamiento de los motores de las bombas.

10. Para cada valor de Q trabajado, una vez medidas las caídas de presión descritas en el numeral anterior, y **antes de modificar la apertura de VL4 (o VL7) para trabajar un nuevo valor de Q** , realice el siguiente procedimiento:

Sin modificar la apertura de las válvulas VL4 y VL7, abra VPEL4 y VPSL4 y cierre completamente la válvula VG7 para que haya flujo solo por la línea 4. A continuación estrangule lentamente la válvula VG4 hasta lograr en la línea un caudal que produzca el mismo DP(EL4-SL4) medido para el Q actual trabajado, el caudal así medido será QL4.

Cierre totalmente las válvulas VPEL4, VPSL4 y VG4, abra completamente las válvulas VPEL7, VPSL7 y VG7 para que haya flujo solo por esta línea. A continuación estrangule lentamente la válvula VG7 hasta lograr en la línea un caudal que produzca el mismo DP(EL7-SL7) medido para el Q actual trabajado, el caudal así medido será QL7. Finalmente cierre VPEL7 y VPSL7 y abra totalmente las válvulas VG4 y VG7, y realice una nueva toma de datos con un nuevo Q .

11. Siga los numerales 9 y 10 hasta abrir completamente la válvula VL4, entonces realice nuevamente los procedimientos de estos numerales pero variando el caudal mediante el cierre progresivo de la válvula VL7 hasta cerrarla totalmente, manteniendo VL4 completamente abierta.

12. Al finalizar la toma de datos, siga el orden de apagado de bombas para la configuración seleccionada, y cierre completamente las válvulas VG4, VL4, VL7, VG7, VPESD, VPSSD y VGP.

13. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura final del fluido (T_f).

Cálculos:

14. Con los datos medidos de T_i y T_f , calcule el promedio aritmético (T_{prom}) y obtenga de tablas los datos de Densidad (ρ) y Viscosidad cinemática (ν) para el agua a esta temperatura.

15. Determine, para todos los valores de Q medidos, $Q^* = QL4 + QL7$ y determine los porcentajes de error (%Error) resultantes de comparar Q y Q^* .

16. Determine los valores de (ϵ/D) y Re respectivos para los diferentes valores de Q medidos.

17. Calcule la caída de presión debida a la tubería L(EP-Bif) ($DP_f(EP-Bif)$), utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$. Tenga en cuenta que en los cálculos a realizar en los numerales 17 al 22, no deben incluirse valores de K teóricos de uniones o bifurcaciones simétricas, ya que son precisamente estas las incógnitas a determinar.

18. Calcule la caída de presión ($DP_f(Bif-EL4)$) debida al tramo (Bif-EL4) (tubería + accesorios), utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

19. Calcule la caída de presión ($DP_f(Bif-EL7)$) debida al tramo (Bif-EL7) (tubería + accesorios), utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

20. Calcule la caída de presión debida a la tubería L(Uni-SP) ($DP_f(Uni-SP)$), utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

21. Calcule la caída de presión ($DP_f(SL4-Uni)$) debida al tramo (SL4-Uni) (tubería + accesorios), utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

22. Calcule la caída de presión ($DP_f(SL7-Uni)$) debida al tramo (SL7-Uni) (tubería + accesorios), utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

23. Calcule los valores de K_{BS-L4} para cada Q , según la siguiente ecuación:

$$k_{1(BS-L4)} = [(\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4) / (8 \cdot Q^2)] \cdot [((DP)_{1(EP-SL4)}) - (DP)_{1(EL4-SL4)}]$$

24. Calcule los valores de K_{BS-L7} para cada Q , según la siguiente ecuación:

$$k_{1(BS-L7)} = [(\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4) / (8 \cdot Q^2)] \cdot [((DP)_{1(EP-SL7)}) - (DP)_{1(EL7-SL7)}]$$

25. Calcule los valores de K_{US-L4} para cada Q , según la siguiente ecuación:

$$k_{1(US-L4)} = [(\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4) / (8 \cdot Q^2)] \cdot [((DP)_{1(EL4-SP4)}) - (DP)_{1(EL4-SL4)}]$$




26. Calcule los valores de K_{US-L7} para cada Q , según la siguiente ecuación:

$$k_{1(US-L7)} = [(\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4) / (8 \cdot Q^2)] \cdot [((DP)_{1(EL7-SP4)}) - (DP)_{1(EL7-SL7)}]$$

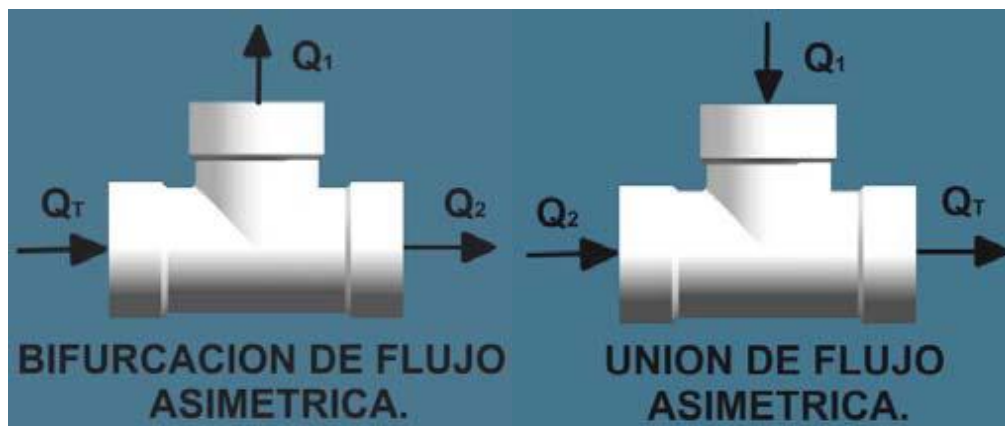
Análisis de resultados:

27. Demuestre las ecuaciones enunciadas en los numerales 23 a 26. Tenga en cuenta que caídas de presión del tipo $DP(A-B)$, se refieren a la diferencia de presión entre A y B registrada en el manómetro diferencial; por lo cual debe analizarse la influencia que en la medición tienen las diferencias de nivel entre el punto A y el B, y entre estos y los terminales del manómetro, para desarrollar correctamente la fórmula buscada.

28. ¿Qué puede concluir de los %Error obtenidos en el numeral 15?, Justifique.
29. Realice una tabla mostrando los valores calculados de KBS-L4, KBS-L7, KUS-L4 y KUS-L7, como una función del QL/Q al cual corresponden.
30. Elabore una grafica K vs. (QL/Q) para cada una de los coeficientes de pérdida calculados. Analice los comportamientos y comente las conclusiones.
31. Enuncie las posibles fuentes de error que usted considere influyen determinantemente en la experiencia realizada, y explique cuál es la influencia de cada una.

 	LABORATORIO DE SISTEMA DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.			
Elaboró:	César Augusto Sanabria G. - Ricardo Sánchez B.	Fecha:	
Auxiliar:		Grupo:	
PRUEBA No 8	MODULO PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN TUBERÍAS, VÁLVULAS Y ACCESORIOS.		

CARACTERIZACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE PERDIDAS “K” DE UNIONES Y BIFURCACIONES DE FLUJO ASIMÉTRICAS.



Objetivos de la prueba:

Establecer un procedimiento experimental para la caracterización del Coeficiente de pérdidas (K) en accesorios con derivación.

Determinar experimentalmente valores del Coeficiente de pérdidas (K), para cada uno de los brazos de una bifurcación y una unión asimétricas, de brazos de diámetro nominal 1/2”, acero inoxidable y extremos para soldar a tope, como función de la relación Q_L/Q .

Procedimiento de toma de datos:

1. Disponga el banco en condiciones de operación.
2. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura inicial del fluido (T_i).
3. La configuración de líneas a trabajar consiste en: la línea 7 en los ramales ramificados (o laterales), y la línea 9A (VL9-1 y VL9-3 abiertas) en los ramales rectos (o directos) de los accesorios a estudiar, los cuales son las Tes de los sistemas ramificados de entrada y salida a través de las cuales entra y sale el caudal a la línea 7, respectivamente.
4. Mida las longitudes de tubería y determine los tipos y cantidades de accesorios correspondientes a cada una de los tramos a trabajar. Los tramos a trabajar son: entre el punto de toma de la presión de entrada para líneas en paralelo (EP) y la bifurcación asimétrica (Bif), entre cada brazo de la bifurcación asimétrica y los puntos donde se toman las presiones de entrada a cada línea trabajada (EL7 y EL9A), entre los puntos donde se toman las presiones de salida a cada línea trabajada (SL7 y SL9A) y cada brazo de la unión asimétrica estudiada (Uni), y finalmente, entre la unión asimétrica (Uni) y el punto de toma de la presión de salida para líneas en paralelo (SP). La longitud de tubería debe incluir la longitud de bridas y excluir la longitud de válvulas y accesorios.
5. Determine la configuración de bombas a trabajar y póngala en funcionamiento.
6. Abra completamente la válvula globo principal (VGP) y las válvulas de globo VG7 y VG9. Todas las demás válvulas de final de línea deben permanecer cerradas.
7. Abra las válvulas VPESD y VPSSD para llevar las señales de presión al manómetro diferencial.
8. Abra completamente la válvula VL7 y cierre completamente la válvula VL9-1, (válvula VL9-3 totalmente abierta y VL9-2 y VL9-4 completamente cerradas).
9. Manteniendo VL7 totalmente abierta, varíe progresivamente el caudal mediante la apertura de la válvula VL9-1, y tome los datos DP(EP-SL7), DP(EL7-SL7), DP(EL7-SP), DP(EP-SL9A), DP(EL9A-SL9A), DP(EL9A-SP) y Q para la configuración de líneas seleccionada.
 Para medir DP(EP-SL7), abra las válvulas VPELS/P y VPSL7
 Para medir DP(EL7-SL7), cierre VPELS/P y abra VPEL7 y VPSL7.
 Para medir DP(EL7-SP), cierre VPSL7 y abra VPSLS/P y VPEL7.
 Para medir DP(EP-SL9A), cierre VPSLS/P y VPEL7 y abra las válvulas VPELS/P y VPSL9.
 Para medir DP(EL9A-SL9A), cierre VPELS/P y abra las válvulas VPEL9 y VPSL9.
 Para medir DP(EL9A-SP), cierre VPSL9 y abra las válvulas VPEL9 y VPSLS/P.
 Cierre completamente las válvulas VPEL9 y VPSLS/P.

La medición de cada caída de presión mencionada, al igual que el procedimiento descrito en el numeral siguiente, para un mismo Q, debe realizarse **antes de variar la apertura de la válvula VL9-1 (o VL7) para modificar Q** a un nuevo valor. Trate de abarcar un amplio rango de caudales, teniendo en cuenta siempre, para todas las tomas de datos, que a bajos caudales ($Q \leq 5$ gpm para una bomba o dos en serie, y $Q \leq 10$ gpm para bombas en paralelo), la toma de datos debe ser ágil y rápida a fin de evitar el sobrecalentamiento de los motores de las bombas.

10. Para cada valor de Q trabajado, una vez medidas las caídas de presión descritas en el numeral anterior, y **antes de modificar la apertura de VL9-1 (o VL7) para trabajar un nuevo valor de Q**, realice el siguiente procedimiento:

Sin modificar la apertura de las válvulas VL9-1 y VL7, abra VPEL9 y VPSL9 y cierre completamente la válvula VG7 para que haya flujo solo por la línea 9A. A continuación estrangule lentamente la válvula VG9-1 hasta lograr en la línea un caudal que produzca el mismo DP(EL9A-SL9A) medido para el Q actual trabajado, el caudal así medido será QL9A.

Cierre totalmente las válvulas VPEL9, VPSL9 y VG9, abra completamente las válvulas VPEL7, VPSL7 y VG7 para que haya flujo solo por esta línea. A continuación estrangule lentamente la válvula VG7 hasta lograr en la línea un caudal que produzca el mismo DP(EL7-SL7) medido para el Q actual trabajado, el caudal así medido será QL7 ($QL7 = QL$). Finalmente cierre VPEL7 y VPSL7 y abra totalmente las válvulas VG9 y VG7, y realice otra toma de datos con un nuevo Q.

11. Siga los numerales 9 y 10 hasta abrir completamente la válvula VL9-1, entonces realice nuevamente los procedimientos de estos numerales pero variando el caudal mediante el cierre progresivo de la válvula VL7 hasta cerrarla totalmente, manteniendo VL9-1 completamente abierta.

12. Al finalizar la toma de datos, siga el orden de apagado de bombas para la configuración seleccionada, y cierre completamente las válvulas VG9, VL9-1, VL9-3, VL7, VG7, VPESD, VPSSD y VGP.

13. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura final del fluido (T_f).

Cálculos:

14. Con los datos medidos de T_i y T_f , calcule el promedio aritmético (T_{prom}) y obtenga de tablas los datos de Densidad (ρ) y Viscosidad cinemática (ν) para el agua a esta temperatura.

15. Determine, para todos los valores de Q medidos, $Q^* = QL9A + QL7$ y determine los porcentajes de error (%Error) resultantes de comparar Q y Q^* .

16. Determine los valores de (ϵ/D) y Re para los diferentes valores de Q medidos.

17. Calcule la caída de presión ($DP_f(EP-Bif)$) debida al tramo (EP-Bif) (tubería + accesorios), utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$. Tenga en cuenta que en los cálculos a realizar en los numerales 17 al 22, no deben incluirse valores de $K_{teóricos}$ de uniones o bifurcaciones asimétricas, ya que son precisamente estas las incógnitas a determinar.

18. Calcule la caída de presión ($DP_f(Bif-EL9A)$) debida al tramo (Bif-EL9A) (tubería + accesorios), utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

19. Calcule la caída de presión ($DP_f(Bif-EL7)$) debida al tramo (Bif-EL7) (tubería + accesorios), utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

20. Calcule la caída de presión ($DP_f(Uni-SP)$) debida al tramo (Uni-SP) (tubería + accesorios), utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

21. Calcule la caída de presión ($DP_f(SL9A-Uni)$) debida al tramo (SL9A-Uni) (tubería + accesorios), utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

22. Calcule la caída de presión ($DP_f(SL7-Uni)$) debida al tramo (SL7-Uni) (tubería + accesorios), utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

23. Calcule los valores de KBAPA para cada Q, según la siguiente ecuación:

$$k_{BAPA} = \left[\frac{(\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4)}{(8 \cdot Q^2)} \right] \cdot \left[\left(\frac{DP_f(EP - SL7)}{L} \right) - \left(\frac{DP_f(EL7 - SL7)}{L} \right) \right]$$

24. Calcule los valores de KBAPD para cada Q, según la siguiente ecuación:

$$k_{BAPD} = \left[\frac{(\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4)}{(8 \cdot Q^2)} \right] \cdot \left[\left(\frac{DP_f(EP - SL9A)}{L} \right) - \left(\frac{DP_f(EL9A - SL9A)}{L} \right) \right]$$

25. Calcule los valores de KUAPA para cada Q, según la siguiente ecuación:

$$k_{UAPA} = \left[\frac{(\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4)}{(8 \cdot Q^2)} \right] \cdot \left[\left(\frac{DP_f(EL7 - SP7)}{L} \right) - \left(\frac{DP_f(EL7 - SL7)}{L} \right) \right]$$

26. Calcule los valores de KUAPD para cada Q, según la siguiente ecuación:

$$k_{UAPD} = \left[\frac{(\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4)}{(8 \cdot Q^2)} \right] \cdot \left[\left(\frac{DP_f(EL9A - SP)}{L} \right) - \left(\frac{DP_f(EL9A - SL9A)}{L} \right) \right]$$

Análisis de resultados:

27. Demuestre las ecuaciones enunciadas en los numerales 23 a 26. Tenga en cuenta que caídas de presión del tipo $DP(A-B)$, se refieren a la diferencia de presión entre A y B registrada en el manómetro diferencial; por lo cual debe analizarse la influencia que en la medición tienen las diferencias de nivel entre el




punto A y el B, y entre estos y los terminales del manómetro, para desarrollar correctamente la fórmula buscada.

28. ¿Qué puede concluir de los %Error obtenidos en el numeral 15?, Justifique.

29. Realice una tabla mostrando los valores calculados de KUAPA, KUAPD, KBAPA y KBAPD, como una función del QL/Q al cual corresponden.

30. Elabore una grafica K vs. (QL/Q) para cada coeficientes de pérdida calculado.

31. Compare los resultados tabulados y el comportamiento mostrado en las gráficas realizadas, con la información dada en el marco teórico para uniones y bifurcaciones asimétricas. Calcule %Error, exprese sus conclusiones e identifique posibles fuentes de error y sus influencias.

		LABORATORIO DE SISTEMA DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.			
Elaboró:	César Augusto Sanabria G. - Ricardo Sánchez B.		Fecha:
Auxiliar:			Grupo:
PRUEBA No 9	MODULO ANÁLISIS DE LÍNEAS DE TUBERÍA EN SERIE Y PARALELO.		

EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA A TRAVÉS DE LÍNEAS DE TUBERÍAS EN SERIE.

Objetivos de la prueba:

Verificar los principios hidráulicos que rigen el comportamiento de líneas de tuberías en serie.

Desarrollar habilidades en el manejo gráfico de los parámetros DP vs. Q para sistemas de líneas en serie.

Procedimiento de toma de datos:

1. Disponga el banco en condiciones de operación.
2. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura inicial del fluido (T_i).
3. Seleccione la configuración de líneas a trabajar:
Por definición, dos o más líneas de tuberías están en serie cuando se encuentran colocadas una a continuación de la otra, y se diferencian una de otra en los diámetros, o en las rugosidades (es decir, estar hechas de materiales diferentes), o bien, en ambas características físicas.

Para la realización de la experiencia, se debe seleccionar entre las líneas 1 y 3, ya que son las únicas líneas contenidas entre los puntos de toma de presión de entrada y salida para el estudio de líneas en serie y paralelo que cumplen con la definición dada en el ítem anterior.

Los procedimientos descritos a continuación son dados de forma genérica, es decir, independientes de que línea fue seleccionada. Por lo tanto se utilizarán los subíndices “s”, para designar la serie de líneas seleccionada, y “b” y “l” para diferenciar los resultados y procedimientos a realizar en la “tubería y accesorios base” (acero inoxidable, SCH 40S, D.N. ½”), y los que deben realizarse en la “tubería y accesorios característicos de línea” (Línea 1: Acero inoxidable, SCH 40, D.N. ¾”; Línea 3: Acero galvanizado, SCH 40, D.N. ½”), respectivamente.

4. Mida las longitudes de cada tipo de tubería y determine las cantidades de accesorios incluidos en la línea a trabajar. (Longitudes de tubería medidas entre los puntos donde se toman las presiones de entrada y salida para las líneas en serie, incluyendo la longitud de bridas y excluyendo la longitud de válvulas y accesorios).

5. Determine la configuración de bombas a trabajar y póngala en funcionamiento.

6. Abra completamente la válvula globo de principal (VGP) y la válvula de globo de final de línea trabajada VGs. Todas las demás válvulas de final de línea deben permanecer cerradas.

7. Abra las válvulas VPESD y VPSSD para llevar las señales de presión al manómetro diferencial.

8. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VGP, tome datos de DPs y Qs para la línea seleccionada. Para medir DPs, abra las válvulas VPELS/P y VPSLS/P.

Trate de abarcar un amplio rango de caudales, teniendo en cuenta siempre, para todas las tomas de datos, que a bajos caudales ($Q_s \leq 5$ gpm para una bomba o dos en serie, y $Q_s \leq 10$ gpm para bombas en paralelo), la toma de datos debe ser ágil y rápida a fin de evitar el sobrecalentamiento de los motores de las bombas.

9. Al finalizar la toma de datos, siga el orden de apagado de bombas para la configuración seleccionada, y cierre completamente las válvulas VPESD, VPSSD, VPELS/P, VPSLS/P, VGs y VGP.

10. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura final del fluido (T_f).

Cálculos:


11. Con los datos medidos de T_i y T_f , calcule el promedio aritmético (T_{prom}) y obtenga de tablas los datos de Densidad (ρ) y Viscosidad cinemática (ν) para el agua a esta temperatura.

12. Determine los valores de (ϵ/D) y Re respectivos para los diferentes valores de Q_s medidos.

13. Calcule el valor de $K_{teórico}$ para cada tipo de accesorio a partir de las ecuaciones y gráficas adecuadas contenidas en el numeral 4.3 del **Marco teórico** de este manual de pruebas. Tome los datos necesarios sobre la geometría interna de cada accesorio del capítulo de **Información técnica**.
14. Calcule, para cada Q_s medido, la caída de presión debida a la tubería y accesorios base (DP_{fb}), utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.
15. Calcule la caída de presión (DP_{fl}), para cada Q_s medido, debida a la tubería característica de la línea (tubería + accesorios), utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.
16. Calcule los valores de $DP_{s-teórico}$ para cada Q_s , según la siguiente ecuación: $DP_{steórico} = DP_{fb} + DP_{fl}$.
17. Determine los %Error resultantes de comparar cada DP_{s-exp} (medido), con su respectivo $DP_{s-teórico}$.
18. Realice una gráfica mostrando las curvas: (DP_{s-exp} vs. Q_s), (DP_{fb} vs. Q_s) y (DP_{fl} vs. Q_s).

Análisis de resultados:

19. Con base en la gráfica realizada, establezca un procedimiento que permita obtener gráficamente la curva (DP_{s-exp} vs. Q_s) a partir de las curvas (DP_{fb} vs. Q_s) y (DP_{fl} vs. Q_s). Realícelo explicando cada paso y analice los resultados obtenidos.
20. Enuncie las posibles fuentes de error que usted considere influyen determinantemente en la experiencia realizada, y explique cuál es la influencia de cada una.

 	LABORATORIO DE SISTEMA DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.			
Elaboró:	César Augusto Sanabria G. - Ricardo Sánchez B.	Fecha:	
Auxiliar:		Grupo:	
PRUEBA No 10	MODULO ANÁLISIS DE LÍNEAS DE TUBERÍA EN SERIE Y PARALELO.		

EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA A TRAVÉS DE LÍNEAS DE TUBERÍAS EN PARALELO.

Objetivos de la prueba:

Verificar los principios hidráulicos que rigen el comportamiento de líneas de tuberías en paralelo.

Desarrollar habilidades en el manejo gráfico de los parámetros DP vs. Q para sistemas de líneas en paralelo.

Procedimiento de toma de datos:

1. Disponga el banco en condiciones de operación.
2. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura inicial del fluido (T_i).
3. Seleccione la configuración de líneas a trabajar:

Por facilidades de cálculo se estudiarán paralelos de tubería conformados **solo** por dos (2) líneas.

Para la realización de la experiencia, se debe seleccionar una línea superior (1 a 5) y una línea inferior (6 a 8, 9A, 9B, 9D o 9E), con el fin de lograr la mayor proximidad entre los puntos de medición de presión de entrada y salida al paralelo, y los puntos de bifurcación y unión del caudal.

Cuando se seleccione como línea superior la línea 1 o la 3, debido a que estas constituyen en sí mismas líneas en serie, la toma de datos (longitudes de tuberías y cantidades de accesorios) y los cálculos (determinación de $D_{P\text{línea}}$ o $Q_{\text{línea}}$) propios de estas líneas, se deben desarrollar según los pasos descritos en el procedimiento para líneas de tubería en serie.

Los procedimientos descritos a continuación son dados de forma genérica, es decir, independientes de que línea superior o inferior fueron seleccionadas. Por lo tanto se utilizarán los subíndices “s” e “i” para diferenciar los pasos a realizar en la línea superior e inferior, respectivamente.

4. Mida las longitudes de tubería y determine los tipos y cantidades de accesorios correspondientes a cada una de las líneas a trabajar. (Longitudes de tubería medidas entre los puntos donde se toman las presiones de entrada y salida para las líneas en paralelo, incluyendo la longitud de bridas y excluyendo la longitud de válvulas y accesorios. Se debe discriminar en la medida, la longitud total de tubería por la que circula QT (LQT), ya que esta tubería no pertenece a ninguna de las líneas y la pérdida a través de ella debe descontarse al DP_{total} medido).
5. Determine la configuración de bombas a trabajar y póngala en funcionamiento.
6. Abra completamente la válvula globo de principal (VGP) y las válvulas de globo VGs y VGi. Todas las otras válvulas de final de línea deben permanecer cerradas.
7. Abra las válvulas VPESD y VPSSD para llevar las señales de presión al manómetro diferencial.
8. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VGP, tome datos de DP_{total}, QT, DP_s y DP_i para la configuración de líneas seleccionada. Para medir DP_{total}, abra las válvulas VPELS/P y VPSLS/P; para medir DP_s, cierre VPELS/P y VPSLS/P y abra las válvulas VPELs y VPSLs; para medir DP_i, cierre VPELs y VPSLs y abra las válvulas VPELi y VPSLi.
La medición de DP_{total}, DP_s y DP_i para un mismo QT deben realizarse antes de variar la apertura de la válvula VGP para modificar QT a un nuevo valor. Trate de abarcar un amplio rango de caudales, teniendo en cuenta siempre, para todas las tomas de datos, que a bajos caudales ($QT \leq 5$ gpm para una bomba o dos en serie, y $QT \leq 10$ gpm para bombas en paralelo), la toma de datos debe ser ágil y rápida a fin de evitar el sobrecalentamiento de los motores de las bombas.
9. Al finalizar la toma de datos anterior, cierre completamente las válvulas VPELS/P y VPSLS/P, VPELi y VPSLi y abra completamente las válvulas VGP, VGs, VPELs y VPSLs.
10. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VGs, determine, para cada uno de los valores de QT medidos, el caudal Q_s que genera en la línea superior un DP_s igual al medido para esta línea cuando trabajaba en paralelo y con el QT respectivo.
11. Cierre completamente las válvulas VGs, VPELs y VPSLs y abra completamente las válvulas VGP, VGi, VPELi y VPSLi.

12. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VGi, determine, para cada una de los valores de QT medidos, el caudal Qi que genera en la línea inferior un DPi igual al medido para esta línea cuando trabajaba en paralelo y con el QT respectivo.

13. Al finalizar la toma de datos, siga el orden de apagado de bombas para la configuración seleccionada, y cierre completamente las válvulas VPESD, VPSSD, VPELi, VPSLi, VGi y VGP.

14. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura final del fluido (Tf).

Cálculos:

15. Con los datos medidos de Ti y Tf, calcule el promedio aritmético (Tprom) y obtenga de tablas los datos de Densidad (ρ) y Viscosidad cinemática (ν) para el agua a esta temperatura.

16. Determine, para todos los valores de QT medido, $QT^* = Q_s + Q_i$ y determine los porcentajes de error (%Error) resultantes de comparara QT y QT^* .

17. Determine los valores de (ϵ/D) y Re respectivos para los diferentes valores de QT medidos.

18. Calcule la caída de presión debida a la tubería LQT (DPfQT), utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

19. Calcule los valores de DP//-exp para cada QT, según la siguiente ecuación:

$$DP_{//-exp} = DP_{total} - DP_{fQT}$$

20. Calcule, para cada QT medido, el caudal que debe circular por la línea superior del paralelo Q_s -teórico, tal que el DP sea: DP_s -teórico = DP//-exp. \pm Error. El valor del

Error será especificado por el auxiliar. Se recomienda sin embargo que:

- Error = (0,01 a 0,03) · DP//-exp. sí DP//-exp. < 0,15Bar.
- Error = 500Pa sí DP//-exp. \geq 0,15Bar.

Para obtener Q_s se sugiere seguir el siguiente procedimiento:

a) Asuma que Q_s -teórico = 0,5 · QT.

b) Calcule el valor de K teórico para cada tipo de accesorio a partir de las ecuaciones y gráficas adecuadas contenidas en el numeral 4.3 del **Marco teórico** de este manual de pruebas. Tome los datos necesarios sobre la geometría interna de cada accesorio del capítulo de **Información técnica**.

c) Calcule la caída de presión (DP_s -teórica) debida a la línea superior (tubería + accesorios), utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.




d) ¿ $|DP_{//-exp} - DP_s$ -teórica| \leq Error?

- **Sí:** Q_s -teórico = solución. Continué en el numeral 21.

- **No:** Asuma un nuevo valor de Q_s -teórico y vuelva al numeral c).
21. Determine los %Error resultantes de comparar cada Q_s -exp (medido), con su respectivo Q_s -teórico.
22. Calcule, para cada QT medido, el caudal que debe circular la línea inferior del paralelo Q_i -teórico, tal que el DP_i sea: DP_i -teórico = $DP_{//}$ -exp. \pm Error.
Para obtener Q_i se sugiere seguir el siguiente procedimiento:
- a. Asuma que Q_i -teórico = QT – Q_s -teórico.
 - b. Calcule el valor de K -teórico para cada tipo de accesorio a partir de las ecuaciones y gráficas adecuadas contenidas en el numeral 4.3 del **Marco teórico** de este manual de pruebas. Tome los datos necesarios sobre la geometría interna de cada accesorio del capítulo de **Información técnica**.
 - c. Calcule la caída de presión (DP_i -teórica) debida a la línea inferior (tubería + accesorios) utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.
 - d. ¿ $|DP_{//}$ -exp. – DP_i -teórico| \leq Error?
 - **Sí:** Q_i -teórico = solución. Continué en el numeral 23.
 - **No:** Asuma un nuevo valor de Q_i -teórico y vuelva al numeral c.
23. Determine los %Error resultantes de comparar cada Q_i -exp(medido), con su respectivo Q_i -teórico.
24. Realice una gráfica mostrando las curvas:
($DP_{//}$ -exp vs. QT), (DP_s -exp vs. Q_s -exp) y (DP_i -exp vs. Q_i -exp).
- NOTA:** Se deja a criterio del auxiliar, la posibilidad de realizar el cálculo de DP_s -teórica y DP_i -teórica, a partir de las condiciones Q_s -teórico = Q_s -exp \pm Error2 y Q_i -teórico = Q_i -exp \pm Error2 respectivamente, en vez de ó además de los cálculos realizados en los numerales 20 a 23.
- Análisis de resultados:**
25. ¿Según los resultados obtenidos, resulta válido el procedimiento experimental realizado para medir Q_s -exp y Q_i -exp? Justifique.
26. Con base en la gráfica realizada, establezca un procedimiento que permita obtener gráficamente la curva ($DP_{//}$ -exp vs. QT) a partir de las curvas (DP_s -exp vs. Q_s -exp) y (DP_i -exp vs. Q_i -exp). Realícelo explicando cada paso y analice los resultados obtenidos.
27. Según el comportamiento observado en el paralelo estudiado, ¿Qué cree usted debe suceder al paralelo sí se le adiciona una tercera línea, manteniendo constantes la presión manométrica a la entrada del paralelo y QT? Justifique.
28. Según el comportamiento observado en el paralelo estudiado, ¿Qué cree usted debe suceder al paralelo sí se le adicionan varias líneas más, y deseo mantener constante el $DP_{//}$ -exp? Justifique.

29. Sí debo transportar un fluido a razón de 50 gpm, y tengo la opción de utilizar para ello un sistema de 2 líneas en paralelo ya existentes, una de D.N. = 2" y la otra de D.N. = 1"(ambas con la misma cantidad de accesorios), o una sola de las líneas:

¿Cuál de las 3 posibilidades me representa un mayor gasto de energía?, ¿Cuál me representa el menor gasto de energía? Justifique.

 	LABORATORIO DE SISTEMA DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.			
Elaboró:	César Augusto Sanabria G. - Ricardo Sánchez B.	Fecha:	
Auxiliar:		Grupo:	
PRUEBA No 11	MODULO OBTENCION DE CURVAS CARACTERÍSTICAS DP vs. Q DE BOMBAS CENTRIFUGAS.		

DETERMINACIÓN DE LA CURVA CARACTERÍSTICA DP vs. Q DE UNA BOMBA CENTRIFUGA.

Objetivos de la prueba:

Presentar los procedimientos a seguir en la obtención de la curva característica DP vs. Q de una bomba centrífuga.

Obtener la curva característica experimental DP vs. Q de una bomba centrífuga.

Ajustar los datos experimentales a una función parabólica del caudal bombeado.

Procedimiento de toma de datos:

1. Disponga el banco en condiciones de operación.
2. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura inicial del fluido (T_i).
3. Seleccione la configuración de bombas a trabajar:
Debido a que se va a trabajar con una sola bomba, se debe seleccionar entre poner en funcionamiento solo la bomba A (abrir válvula VB1), o solo la bomba B (abrir válvula VB2).
4. Mida las longitudes de tubería y determine los tipos y cantidades de accesorios contenidos entre los puntos "S" y "D" de acuerdo a la bomba a trabajar.
(Longitudes de tubería medidas entre los puntos donde se toman las presiones de succión y descarga, incluyendo la longitud de bridas y excluyendo la longitud de válvulas y accesorios).
5. Realice la medición de la distancia vertical (DZM o ΔZM) que separa los de medición de presiones de succión y de descarga.

6. Abra completamente la válvula de globo principal (VGP) y las válvulas de globo de final de línea de todas las líneas (VG1 a VG9). Todas las válvulas de línea (VL4 a VL7 y VL9-1 a VL9-4) deben permanecer totalmente abiertas.
7. Ponga en funcionamiento la bomba seleccionada.
8. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VGP, tome datos de PMd, Q, y PMS1 (o PMS2) para la bomba seleccionada. Para medir PMS1 abra la válvula VPS1 (o VPS2); para medir PMd abra la válvula VPD. Trate de abarcar un amplio rango de caudales, teniendo en cuenta siempre, para todas las tomas de datos, que a bajos caudales ($Q \leq 5$ gpm), la toma de datos debe ser ágil y rápida a fin de evitar el sobrecalentamiento de los motores de las bombas.
9. Al finalizar la toma de datos, siga el orden de apagado de bombas para la configuración seleccionada, y cierre completamente las válvulas de final de línea de todas las líneas (VG1 a VG9), las válvulas de línea (VL4 a VL7 y VL9-1 a VL9-4) y VGP.
10. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura final del fluido (Tf).

Cálculos:

11. Con los datos medidos de T_i y T_f , calcule el promedio aritmético (T_{prom}) y obtenga de tablas los datos de Densidad (ρ) y Viscosidad cinemática (ν) para el agua a esta temperatura.
12. Determine los valores de (ϵ/D) y Re respectivos para los diferentes valores de Q medidos.
13. Calcule la caída de presión (DP_{fS-d}) debida a la tubería y accesorios contenidos entre los puntos "S" y "D" de acuerdo a la bomba seleccionada y para cada Q medido, utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.
14. Calcule los valores de DP_{Bomba} para cada Q , según la siguiente ecuación:
 $DP_{Bomba} = PMd - PMS + DP_{fS-d} + (\rho \cdot g \cdot DZM)$.
15. Realice una gráfica mostrando la curva: (DP_{Bomba} vs. Q).
16. Sobre la gráfica anterior obtenga y realice la curva de tendencia según un modelo polinomial de orden 2 ($Y = a \cdot X^2 + b \cdot X + c$), con su respectiva ecuación.




Análisis de resultados:

17. Demuestre la ecuación enunciada en el numeral 14.

18. ¿Sigue la curva (DPBomba vs. Q) un comportamiento polinomial de orden 2 aproximado al de la curva de tendencia determinada o se ajusta mejor a otro tipo de modelo (logarítmico, exponencial, polinómico...)? Justifique.

19. Realice un análisis sobre las características de la curva (DPBomba vs. Q) obtenida para la bomba trabajada (máximos, mínimos, irregularidades, inestabilidad de la curva, etc.).

20. Sí una bomba centrífuga que opera en el banco de pruebas, desarrolla un caudal de 17,35 gpm a una cabeza de bomba, expresada en presión, de 7,28 Bar, ¿Cuál será la pérdida de energía total en las tuberías del banco por las cuales hay flujo?. Sí la misma bomba se pone en operación en otro sistema hidráulico, el cual posee una cabeza estática de 20 mts, y la bomba trabaja al mismo valor de caudal, ¿Cuál es la pérdida de energía en el nuevo sistema?. Justifique sus respuestas de manera gráfica.

 	LABORATORIO DE SISTEMA DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.			
Elaboró:	César Augusto Sanabria G. - Ricardo Sánchez B.	Fecha:	
Auxiliar:		Grupo:	
PRUEBA No 12	MODULO OBTENCION DE CURVAS CARACTERÍSTICAS DP vs. Q DE BOMBAS CENTRIFUGAS.		

DETERMINACIÓN DE LA CURVA CARACTERÍSTICA DP vs. Q DE DOS BOMBAS CENTRIFUGAS EN SERIE.

Objetivos de la prueba:

Presentar los procedimientos a seguir en la obtención de la curva característica DP vs. Q de bombas centrifugas en serie.

Obtener la curva característica experimental DP vs. Q de dos bombas centrifugas en serie.

Ajustar los datos experimentales a una función parabólica del caudal bombeado.

Procedimiento de toma de datos:

1. Disponga el banco en condiciones de operación.
2. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura inicial del fluido (T_i).
3. Seleccione la configuración de bombas a trabajar:
La única disposición de bombas en serie que permite el banco de pruebas es A→B.
Para ello se debe abrir la válvula VB3, mientras las demás válvulas de bola de las líneas de succión y descarga permanecen cerradas.
4. Mida las longitudes de tubería y determine los tipos y cantidades de accesorios contenidos entre los puntos "S1" a "S3" y "S3" a "D". (Longitudes de tubería medidas entre los puntos donde se toman las presiones de succión y descarga, incluyendo la longitud de bridas y excluyendo la longitud de válvulas y accesorios).
5. Realice la medición de la distancia vertical (DZM o ΔZM) que separa los manómetros de medición de presiones de succión y de descarga.

6. Abra completamente la válvula de globo principal (VGP) y las válvulas de globo de final de línea de todas las líneas (VG1 a VG9). Todas las válvulas de línea (VL4 a VL7 y VL9-1 a VL9-4) deben permanecer totalmente abiertas.

7. Ponga en funcionamiento la disposición de bombas seleccionada.

8. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VGP, tome datos de PMd, Q, PMS1 y PMS3. Para medir PMS1, abra la válvula VPS1 (VPS2 y VPS3 deben estar cerradas); para medir la presión PMS3, cierre la válvula VPS1 y abra la válvula VPS3; para medir PMd, cierre la válvula VPS3 y abra la válvula VPD. La medición de PMd, PMS1 y PMS3 para un mismo Q debe realizarse antes de variar la apertura de la válvula VGP para modificar Q a un nuevo valor.

Trate de abarcar un amplio rango de caudales, teniendo en cuenta siempre, para todas las tomas de datos, que a bajos caudales ($Q \leq 5$ gpm), la toma de datos debe ser ágil y rápida a fin de evitar el sobrecalentamiento de los motores de las bombas.

9. Al finalizar la toma de datos, siga el orden de apagado de bombas para la configuración seleccionada, y cierre completamente las válvulas de final de línea de todas las líneas (VG1 a VG9), las válvulas de línea (VL4 a VL7 y VL9-1 a VL9-4) y VGP.

10. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura final del fluido (T_f).

11. Si no se ha realizado previamente la prueba de determinación de la curva característica DP vs. Q para una sola bomba, realícela a continuación.

Cálculos:

12. Con los datos medidos de T_i y T_f , calcule el promedio aritmético (T_{prom}) y obtenga de tablas los datos de Densidad (ρ) y Viscosidad cinemática (ν) para el agua a esta temperatura.

13. Determine los valores de (ϵ/D) y Re respectivos para los diferentes valores de Q medidos.

14. Calcule la caída de presión (DP_{fS1-S3}) debida a la tubería y accesorios contenidos entre los puntos "S1" y "S3" para cada Q medido, utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

15. Calcule los valores de $DP_{Bomba A}$ para cada Q, según la siguiente ecuación:

$$DP_{Bomba A} = PMS3 - PMS1 + DP_{fS1-S3} + (\rho \cdot g \cdot DZM).$$

16. Calcule la caída de presión (DP_{fS3-d}) debida a la tubería y accesorios contenidos entre los puntos "S3" y "D" para cada Q medido, utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

17. Calcule los valores de $DP_{Bomba B}$ para cada Q, según la siguiente ecuación:

$$DP_{Bomba B} = PMd - PMS3 + DP_{fS3-d}.$$

18. Calcule los valores de DPBombas Serie para cada Q, según la siguiente ecuación:

$$\text{DPBombas serie} = \text{DPBomba A} + \text{DPBomba B} = \text{PMd} - \text{PMS1} + \text{DPfS1-d} + (\rho \cdot g \cdot \text{DZM}).$$

19. Realice una gráfica mostrando las curvas: (DPBomba A vs. Q), (DPBomba B vs. Q) y (DPBombas serie vs. Q).

20. Sobre la gráfica anterior, realice las 3 curvas de tendencia según un modelo polinomial de orden 2 ($Y = a \cdot X^2 + b \cdot X + c$), y determine las respectivas ecuaciones.

(Estas curvas y ecuaciones serán consideradas como experimentales).

Análisis de resultados:

21. Demuestre las ecuaciones enunciadas en los numerales 15, 17 y 18.

22. ¿Qué función desempeña la válvula VCh3 en la operación de las bombas A y B en serie?, Explique




23. ¿Siguen las 3 curvas (DPBombas vs. Q) un comportamiento polinomial de orden 2 aproximado al de las curvas de tendencia determinadas o se ajustan mejor a otro tipo de modelo (logarítmico, exponencial, polinómico...)? Justifique.

24. Realice un análisis sobre las características de cada una de las curvas (DPBombas vs. Q) obtenidas (máximos, mínimos, irregularidades, inestabilidad de la curva, etc.).

25. Asuma la ecuación y curva de tendencia, obtenida en la prueba de determinación de la curva característica DP vs. Q para una sola bomba, como curva de bomba A y bomba B teóricas (ambas bombas son iguales). Compare las ecuaciones teóricas y experimentales de las bombas A y B. Explique y comente resultados.

26. Realice una nueva gráfica con la curva teórica de una bomba y obtenga gráficamente la curva característica teórica para las bombas A y B en serie. Grafique además la curva DPbombas serie vs. Q experimental y compárela con la teórica.

Explique y comente resultados.

 		LABORATORIO DE SISTEMA DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
BANCO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.					
Elaboró:		César Augusto Sanabria G. - Ricardo Sánchez B.		Fecha:	
Auxiliar:				Grupo:	
PRUEBA No 13		MODULO OBTENCION DE CURVAS CARACTERÍSTICAS DP vs. Q DE BOMBAS CENTRIFUGAS.			

DETERMINACIÓN DE LA CURVA CARACTERÍSTICA DP vs. Q DE DOS BOMBAS CENTRIFUGAS EN PARALELO.

Objetivos de la prueba:

Presentar los procedimientos a seguir en la obtención de la curva característica DP vs. Q de bombas centrifugas en paralelo.

Obtener la curva característica experimental DP vs. Q de dos bombas centrifugas en paralelo.

Ajustar los datos experimentales a una función parabólica del caudal bombeado.

Procedimiento de toma de datos:

1. Disponga el banco en condiciones de operación.
2. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura inicial del fluido (T_i).
3. Seleccione la configuración de bombas a trabajar: A //B. Para ello se deben abrir las válvulas VB1 y VB2, mientras las demás válvulas de bola de las líneas de succión y descarga permanecen cerradas.
4. Mida las longitudes de tubería y determine los tipos y cantidades de accesorios contenidos entre los puntos "1" a "S1", "S1" a "X", "1" a "S2", "S2" a "X" y "X" a "D". (Longitudes de tubería medidas entre el nivel de agua en el tanque (1) y los puntos donde se toma la presión de succión (S), entre los puntos donde se toman las presiones de succión y donde se unen los caudales (X), y finalmente, entre (X) y el punto donde se toma la presión de descarga; incluyendo la longitud de bridas y excluyendo la longitud de válvulas y accesorios).

5. Realice la medición de la distancia vertical (DZM o ΔZM) que separa los manómetros de medición de presiones de succión y de descarga.
6. Abra completamente la válvula de globo principal (VGP) y las válvulas de globo de final de línea de todas las líneas (VG1 a VG9). Todas las válvulas de línea (VL4 a VL7 y VL9-1 a VL9-4) deben permanecer totalmente abiertas.
7. Abra la válvula VPS1 y realice la medición de la presión de succión 1 a cero caudal ($PMS1(Qa = 0) = PMS2(Qb = 0)$), terminada la medición cierre la válvula VPS1.
8. Ponga en funcionamiento la disposición de bombas seleccionada.
9. Variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VGP, tome datos de PMd, Q, PMS1 y PMS2. Para medir PMS1, abra la válvula VPS1 (VPS2 y VPS3 deben estar cerradas); para medir la presión PMS2, cierre la válvula VPS1 y abra la válvula VPS2; para medir PMd, cierre la válvula VPS3 y abra la válvula VPD. La medición de PMd, PMS1 y PMS2 para un mismo Q debe realizarse antes de variar la apertura de la válvula VGP para modificar Q a un nuevo valor. Trate de abarcar un amplio rango de caudales, teniendo en cuenta siempre, para todas las tomas de datos, que a bajos caudales ($Q \leq 10$ gpm para bombas en paralelo), la toma de datos debe ser ágil y rápida a fin de evitar el sobrecalentamiento de los motores de las bombas.
10. Al finalizar la toma de datos, siga el orden de apagado de bombas para la configuración seleccionada, cierre completamente las válvulas VPS2 y VPD, abra completamente las válvulas VGP y VPS1.
11. Ponga en funcionamiento la bomba A, y variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VGP, determine, para cada uno de los valores de Q medidos, el caudal Q_a que genera en la línea de succión de esta bomba (1-S1), un PMS1 igual al medido para esta línea cuando trabajaban las bombas A y B en paralelo y con el Q respectivo.
12. Al finalizar la toma de datos, siga el orden de apagado de la bomba, cierre completamente la válvula VPS1, abra completamente las válvulas VGP y VPS2.
13. Ponga en funcionamiento la bomba B, y variando el caudal mediante estrangulación del flujo con la válvula VGP, determine, para cada uno de los valores de Q medidos, el caudal Q_b que genera en la línea de succión de esta bomba (1-S2), un PMS2 igual al medido para esta línea cuando trabajaban las bombas A y B en paralelo y con el Q respectivo.

14. Al finalizar la toma de datos, siga el orden de apagado de la bomba B, y cierre completamente las válvulas de final de línea de todas las líneas (VG1 a VG9), las válvulas de línea (VL4 a VL7 y VL9-1 a VL9-4), VGP y VPS2.

15. Tome una muestra de agua a través de la válvula de drenaje VD2 y mida la temperatura final del fluido (Tf).

16. Si no se ha realizado previamente la prueba de determinación de la curva característica DP vs. Q para una sola bomba, realícela a continuación.

Cálculos:

17. Con los datos medidos de Ti y Tf, calcule el promedio aritmético (T_{prom}) y obtenga de tablas los datos de Densidad (ρ) y Viscosidad cinemática (ν) para el agua a esta temperatura.

18. Determine los valores de (ϵ/D) y Re respectivos para los diferentes valores de Q medidos.

19. Para todos los Q medidos, Calcule: $Q_{teórico} = Q_a + Q_b$, compárelos y obtenga los %Error resultantes.

20. Calcule la caída de presión (DP_{fX-d}) debida a la tubería y accesorios contenidos entre los puntos “X” y “D” para cada Q medido, utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook-White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

21. Calcule la caída de presión (DP_{f1-S1-X}) debida a la circulación del caudal Q_a por la tubería y accesorios contenidos entre los puntos “S1” y “X” pasando por la bomba A, para cada Q medido, utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook- White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

22. Calcule la caída de presión (DP_{f1-S2-X}) debida a la circulación del caudal Q_b por la tubería y accesorios contenidos entre los puntos “S2” y “X” pasando por la bomba

B, para cada Q medido, utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Colebrook407 White y $DP_f = \rho \cdot g \cdot H_f$.

23. Calcule los valores de DP_{Bomba Areal} para cada Q, según la siguiente ecuación:

$$DP_{BombaAreal} = PM_d - PMS_1(Q_a=0) + DP_{f1-S1-X} + DP_{fX-d} + (\rho \cdot g \cdot DZM) + [(8 \cdot \rho \cdot Q^2) / (\pi^2 \cdot D^4)].$$

24. Calcule los valores de DP_{Bomba Breal} para cada Q, según la siguiente ecuación:

$$DP_{BombaBreal} = PM_d - PMS_2(Q_b=0) + DP_{f1-S2-X} + DP_{fX-d} + (\rho \cdot g \cdot DZM) + [(8 \cdot \rho \cdot Q^2) / (\pi^2 \cdot D^4)].$$

25. Calcule los valores de DP_{Bomba Avirtual} para cada Q, según la siguiente ecuación:

$$DP_{BombaAvirtual} = PM_d - PMS1(Q_a=0) + DP_{f1X-d} + (\rho \cdot g \cdot DZM) + [(8 \cdot \rho \cdot Q^2)/(\pi^2 \cdot D^4)].$$

26. Calcule los valores de $DP_{BombaBvirtual}$ para cada Q , según la siguiente ecuación:

$$DP_{BombaBvirtual} = PM_d - PMS1(Q_a=0) + DP_{f1X-d} + (\rho \cdot g \cdot DZM) + [(8 \cdot \rho \cdot Q^2)/(\pi^2 \cdot D^4)].$$

27. Realice una gráfica mostrando las curvas: ($DP_{BombaAreal}$ vs. Q_a), ($DP_{BombaAvirtual}$ vs. Q_a) y ($DP_{f1-S1-X}$ vs. Q_a).

28. Sobre la gráfica anterior, trace la curva de tendencia (DP_{bomba} vs. Q), obtenida de la prueba “determinación de la curva característica DP vs. Q para una bomba centrífuga”; compárela con las curvas de bomba A real y virtual.

29. Realice una gráfica mostrando las curvas: ($DP_{BombaBreal}$ vs. Q_b), ($DP_{BombaBvirtual}$ vs. Q_b) y ($DP_{f1-S2-X}$ vs. Q_b).

30. Sobre la gráfica anterior, trace la curva de tendencia (DP_{bomba} vs. Q), obtenida de la prueba “determinación de la curva característica DP vs. Q para una bomba centrífuga”; compárela con las curvas de bomba B real y virtual.

31. Realice una gráfica mostrando las curvas: ($DP_{BombaAvirtual}$ vs. Q_a) y ($DP_{BombaBvirtual}$ vs. Q_b) y obtenga gráficamente la curva de bombas A y B en Paralelo (curva 1 experimental).

32. Sobre la gráfica anterior, trace la curva de tendencia (DP_{bomba} vs. Q), obtenida de la prueba “determinación de la curva característica DP vs. Q para una bomba centrífuga”, y obtenga gráficamente la curva de bombas A y B en Paralelo (curva 1 teórica).

33. Realice una gráfica mostrando las curvas: ($DP_{BombaAreal}$ vs. Q_a) y ($DP_{BombaBreal}$ vs. Q_b) y obtenga gráficamente la curva de bombas A y B en Paralelo (curva 2 experimental).

34. Sobre la gráfica anterior, trace la curva de tendencia (DP_{bomba} vs. Q), obtenida de la prueba “determinación de la curva característica DP vs. Q para una bomba”, y obtenga gráficamente la curva de bombas A y B en Paralelo (curva 2 teórica).

Análisis de resultados:

35. Demuestre las ecuaciones enunciadas en los numerales 23 y 24.

36. ¿Qué puede usted concluir de los %Error obtenidos en el numeral 19?, Justifique.

37. ¿Qué función desempeñan las válvulas VCh1 y VCh2 en la operación de las bombas A y B en paralelo?, Explique.

38. ¿Cuál de las curvas de bomba realizadas en los numeral 27 y 29 presenta mayor coincidencia con las realizadas en los numerales 28 o 30, respectivamente?, ¿Por qué ocurre esto?.

39. ¿Cuál de las curvas 1 teórica y 2 teórica, presenta mayor coincidencia con las curvas 1 experimental y 2 experimental, respectivamente?, ¿Por qué ocurre esto?.

40. Sí usted tuviera que instalar las bombas A y B utilizadas en la experiencia, en otro sistema hidráulico con líneas de succión y descarga diferentes a las presentes en el banco de pruebas, (pero conocidos los datos de su configuración), para ponerlas a operar en paralelo, ¿Cómo obtendría el punto de operación (Q y DP_{paralelo}) de esta configuración de bombas con el nuevo sistema?, ¿Podría o debería hacerlo con alguna de las curvas ya realizadas en esta experiencia?; sí se desconoce del nuevo sistema, únicamente, la configuración de las líneas de succión y descarga hasta el punto de unión de los caudales, ¿Cómo estimaría de forma aproximada los parámetros de operación a partir de los datos y curvas obtenidos en esta experiencia? Justifique sus respuestas.

41. Elija un valor de caudal Q^* tal que, siendo numéricamente diferente de uno de los

Q medidos, cumpla la condición: $Q_{\text{min. medido}} < Q^* < Q_{\text{max. medido}}$. Sí el sistema de líneas se configurara de forma tal que, el caudal total circulante, operando este con las bombas A y B en paralelo, fuera Q^* , determine gráficamente los valores de

$DP_{\text{bombas paralelo}}$, DP_{bombaA} , $DP_{\text{bomba B}}$, Q_a , Q_b , $DP_{f1-s1-X}$ y $DP_{f1-s2-X}$ que se presentarían.

Anexo C. FICHAS TECNICAS

Tubos soldados y sin soldadura

Dimensiones según ASME / ANSI B 36.19 y B 36.10

Pesos lineales en lbs/pie y Kg/metro.

Pulgadas nominales	Diámetro D	Schedule 5 S		Schedule 10 S		Schedule 40 S/STD		Schedule 80 S/XS		Schedule 160		Schedule XXS	
	Exterior	Espesor T	Peso	Espesor T	Peso	Espesor T	Peso	Espesor T	Peso	Espesor T	Peso	Espesor T	Peso
	Pulgadas	Pulgadas	lbs/p	Pulgadas	lbs/p	Pulgadas	lbs/p	Pulgadas	lbs/p	Pulgadas	lbs/p	Pulgadas	lbs/p
	mm	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m
1/4"	0.540			0.065	0.33	0.088	0.43	0.119	0.54				
	13,72			1,65	0,49	2,24	0,64	3,02	0,80				
3/8"	0.675			0.065	0.42	0.091	0.57	0.126	0.74				
	17,15			1,65	0,63	2,31	0,85	3,20	1,11				
1/2"	0.840	0.065	0.54	0.083	0.68	0.109	0.86	0.147	1.10	0.188	1.32		
	21,34	1,65	0,81	2,11	1,01	2,77	1,28	0,73	1,64	4,78	1,97		
3/4"	1.050	0.065	0.69	0.083	0.87	0.113	1.14	0.154	1.49	0.219	1.97	0.308	2.48
	26,67	1,65	1,03	2,11	1,30	2,87	1,71	3,91	2,23	5,56	2,94	7,82	3,70
1"	1.315	0.065	0.88	0.109	1.42	0.133	1.70	0.179	2.20	0.250	2.88	0.358	3.71
	33,40	1,65	1,31	2,77	2,12	3,38	2,54	4,55	3,28	6,35	4,29	9,09	5,53

Tolerancias				
Espesor nominal	Diámetro nominal	Diámetro exterior		Longitud
		+	-	
Todas dimensiones - según ASTM A-530 - 12,5%	1/8" a 1 1/2"	0,4 mm	0,8 mm	Ø de 1/8" a 8" Largos 4,6 a 7,3 m Tolerancia: por acuerdo Largos fijos Tolerancia: + 6 mm - 0 mm
	2" a 4"	0,8 mm	0,8 mm	
	5" a 8"	1,6 mm	0,8 mm	
	10" a 18"	2,4 mm	0,8 mm	
	20" a 26"	3,2 mm	0,8 mm	
	28" a 34"	4 mm	0,8 mm	
	36" a 48"	4,8 mm	0,8 mm	

Aplicación: Para trabajos a alta temperatura y ambiente corrosivo.

Fabricación: La tubería será soldada, sin aportación de material o sin soldadura.

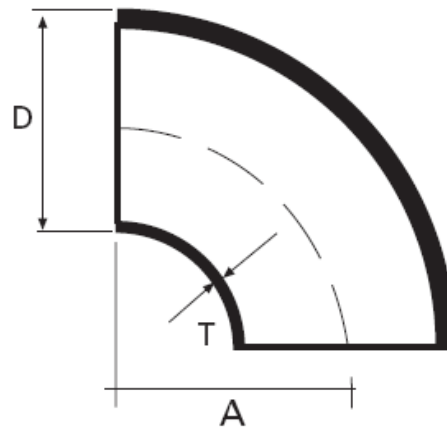
Análisis químico: Ver tabla página 6.

Los valores indicados para pesos lineales corresponden a aceros austeníticos y han sido calculados según la fórmula:

$P = T (D - T)$ (Para una densidad de 7,97, K = 40)

Codos de acero inoxidable soldados y sin soldadura

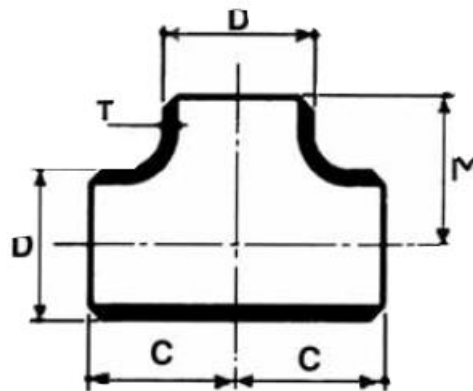
ASME / ANSI B 16.9



Codos 90° radio largo							Codos 90° radio corto									
DN	Diámetro D	Espesor=T				A Radio largo	A Radio corto	Radio largo / Peso				Radio corto / Peso				
		Sch 5S	Sch 10S	Sch 40S	Sch 80S			Sch 5S	Sch 10S	Sch 40S	Sch 80S	Sch 5S	Sch 10S	Sch 40S	Sch 80S	
Pulg.	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
1/2"	21,34	1,65	2,11	2,77	3,73	38,10	-	0,05	0,06	0,08	0,10	-	-	-	-	-
3/4"	26,67	1,65	2,11	2,87	3,91	28,50	-	0,06	0,08	0,10	0,10	-	-	-	-	-
1"	33,40	1,65	2,77	3,38	4,55	38,10	25,40	0,08	0,12	0,15	0,20	0,08	0,09	0,12	0,13	-

Tes iguales de acero inoxidable soldadas y sin soldadura

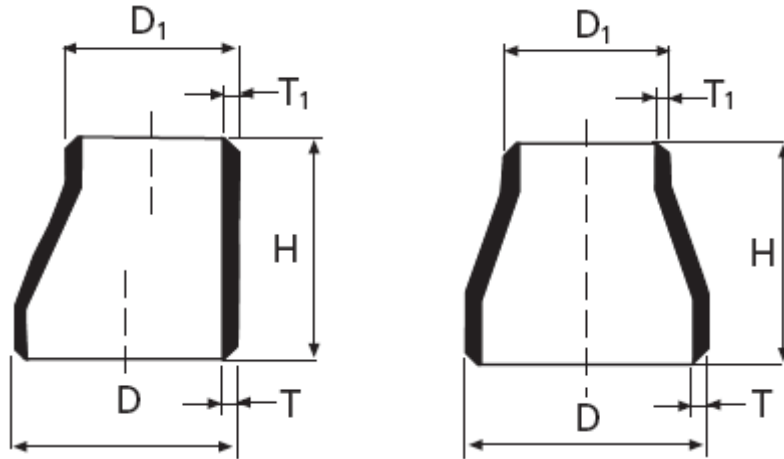
ASME / ANSI B 16.9



Tes iguales										
DN	Diámetro D	Espesor=T				C y M	Peso (Kg)			
		Sch 5S	Sch 10S	Sch 40S	Sch 80S		Sch 5S	Sch 10S	Sch 40S	Sch 80S
Pulg.	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Kg	Kg	Kg	Kg
1/2"	21,34	1,65	2,11	2,77	3,73	25,40	0,09	0,09	0,16	0,20
3/4"	26,67	1,65	2,11	2,87	3,91	28,60	0,13	0,13	0,20	0,29
1"	33,40	1,65	2,77	3,38	4,55	38,10	0,22	0,27	0,34	0,40

Reducciones concéntricas y excéntricas de acero inoxidable soldadas y sin soldadura

ASME / ANSI B 16.9



Reducciones concéntricas y excéntricas																
Diámetro nominal		Diámetro exterior D	Diámetro reducido D ₁	Espesor (mm)								Longitud mm H	Peso (Kg)			
				Sch. 5S		Sch. 10S		Sch. 40S		Sch. 80S			Sch. 5S	Sch. 10S	Sch. 40S	Sch. 80S
Paso	Red	D	D ₁	T	T ₁	T	T ₁	T	T ₁	T	T ₁	H	Sch. 5S	Sch. 10S	Sch. 40S	Sch. 80S
3/4"	1/2"	26,67	21,34	1,65	1,65	2,11	2,11	2,87	2,77	3,91	3,73	38	0,05	0,09	0,10	0,15
1"	1/2"	33,40	21,34	1,65	1,65	2,77	2,11	3,38	2,77	4,55	3,73	51	0,06	0,08	0,10	0,16
	3/4"	33,40	26,67	1,65	1,65	2,77	2,11	3,38	2,87	4,55	3,91	51	0,06	0,09	0,11	0,18

Tolerancias dimensionales para accesorios de acero inoxidable

ASME / ANSI B 16.9

Todos los accesorios				Codos 45°-90° y tes	Reducciones y Stub-ends	Caps	Stub-ends		
Diámetro nominal	Diámetro exterior al chaffán	Diámetro interior al extremo	Espesor de pared T	Centro a extremo Dimension A, C, M	Longitud H	Longitud H	Diámetro exterior G	Espesor T	Radio R
Pulgada	mm	mm		mm	mm	mm	mm	mm	mm
1/2" a 2 1/2"	+ 1,58 -0,79	± 0,79	No inferior al 87,5% del	± 1,58	± 1,58	± 3,17	+ 0 - 0,79	+ 1,58 - 0	+ 0 - 0,79
3" a 3 1/2"	± 1,58	± 1,58		± 1,58	± 1,58	± 3,17	+ 0 - 0,79	+ 1,58 - 0	+ 0 - 0,79
4"	± 1,58	± 1,58		± 1,58	± 1,58	± 3,17	+ 0 - 0,79	+ 1,58 - 0	+ 0 - 1,58
5" a 8"	+ 2,38 - 1,58	± 1,58		± 1,58	± 1,58	± 6,35	+ 0 0,79	± 1,58 - 0	+ 0 - 1,58

Bridas y accesorios forjados de acero inoxidable

ASME / ANSI B16.5

Especificación de materiales													
Material	Propiedades mecánicas				Composición química %								
	Resistencia MPa	L. elástico MPa	Alargamiento %	Estricción %	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti
A-182 F-304	515 485 min.*	205 min.	30 min.	50 min.	0,08 máx.	2,00 máx.	1,00 máx.	0,030 máx.	0,040 máx.	18-20	8-11	-	-
A-182 F-304 L	485 450 min.*	170 min.	30 min.	50 min.	0,035 máx.	2,00 máx.	1,00 máx.	0,030 máx.	0,040 máx.	18-20	8-13	-	-
A-182 F-316	515 485 min.*	205 min.	30 min.	50 min.	0,08 máx.	2,00 máx.	1,00 máx.	0,030 máx.	0,040 máx.	16-18	10-14	2,0-3,0	-
A-182 F-316 L	485 450 min.*	170 min.	30 min.	50 min.	0,035 máx.	2,00 máx.	1,00 máx.	0,030 máx.	0,040 máx.	16-18	10-15	2,0-3,0	-
A-182 F-321	515 485 min.*	205 min.	30 min.	50 min.	0,08 máx.	2,00 máx.	1,00 máx.	0,030 máx.	0,040 máx.	17 min.	9-12	-	>5xC <0,70%
A-182 F-310	515 485 min.*	205 min.	30 min.	50 min.	0,15 máx.	2,00 máx.	1,00 máx.	0,030 máx.	0,040 máx.	24-26	19-22	-	-

Bridas slip-on de acero inoxidable

ASME / ANSI B 16

Slip-on - ANSI 150 Lbs										
Diámetro nominal	Brida				Cuello x mm	Resalte R mm	Taladros			Peso aprox Kg
	D mm	J mm	b mm	h mm			Número	I mm	K mm	
1/2"	88,90	22,30	11,10	15,90	30,20	34,90	4	15,75	60,30	0,50
3/4"	98,40	27,70	12,70	15,90	38,10	42,90	4	15,75	69,80	0,90
1"	107,90	34,50	14,30	17,50	49,20	50,80	4	15,75	79,40	0,90

Calculo de presion maxima permitida

Tubos sin costura:

$$P = \frac{2 \times T_{min} \times S}{D - (2 \times Y \times T_{min})}$$

$$P = \frac{D - (2 \times T_{min})}{2 \times (D - T_{min})} \text{ p/ } T_{min} \geq \text{ou } \frac{D}{6}$$

P = Presión interna en psi

Tmin = espesor de lo tubo en mm

S = Tensión de escoamiento (16.700 psi)

D = Diámetro de lo tubo en mm Y=0,4 para Tmin < $\frac{D}{6}$

6

- **Cálculo de la máxima presión interna aceptable para tubos de las normas ASTM A 312 y ASTM A 358:**

Para tubos de acero inoxidable austeníticos:

Límite mínimo de elasticidad: 30.000 psi, TP 304L y 316L.

Límite mínimo de elasticidad de 25.000 psi.

Fórmula de la ASTM A 530:

$$P = \frac{2St}{D}$$

P = Presión en bares (1 bar = 14,5037 psi),

t = Espesor de lo tubo (mm)

D = Diámetro externo (mm)

$$S = \text{para ASTM A 312: } 50\% \text{ de límite mínimo de elasticidad} = \frac{30.000 \times 50}{14,50 \times 100} = 1.034$$

$$S = \text{para ASTM A 358: } 75\% \text{ de límite mínimo de elasticidad} = \frac{30.000 \times 75}{14,50 \times 100} = 1.551$$

Temperatura Temperature	(B) Variedades Type	(A) Limite Max. trabajo Max. Work. Limit	1/2"		3/4"		1"		1 1/4"		1 1/2"		2"		2 1/2"	
			Sch.		Sch.		Sch.		Sch.		Sch.		Sch.		Sch.	
C°	AISI	h/bar	5S	10S	5S	10S	5S	10S	5S	10S	5S	10S	5S	10S	5S	10S
-29° a + 38° -29° to +38°	304	10,840	155	202	122	158	97	167	76	130	66	113	53	90	56	81
	321-347 316 (2)	10,840	155	202	122	158	97	167	76	130	66	113	53	90	56	81
93°	304	9,590	137	178	108	140	85	147	67	115	58	100	46	79	49	72
	321-347 316 (2)	10,840	155	202	122	158	97	167	76	130	66	113	53	90	56	81

Caudal cole parmer

Specifications

Max pressure	250 psi
Flow rate	0.8 to 80 GPM
Accuracy	±1% of full scale
Connections	1" NPT(F)
Wetted materials	Brass, Kynar [®] , ceramic, ruby bearings
Max operating temperature	250°F (120°C)
Output	4 to 20 mA, 0.1 s open collector pulse
Power	12 to 32 VDC
Dimensions	6"L x 6 1/4"H
Pipe size	1"

Las bridas inoxidables de 1/4" 150 no se adquieren en el mercado por lo que se opto fabricarlas en el Centro de Mecanizado de la Escuela de Ingeniera Mecanica.

1.3.1 Programación de torneado para la obtención de bridas inoxidables para tubería de 1/4.

CARA FRONTAL

0312*

N5 T0000 G21 G40 G99*

N10 G28 U0 W0*

N15 G54*

N20 T0404*

N25 G50 X173.5 Z401.2 S1500*
N30 G96 S1500*
N30 G96 S1500 M4 M8 -FoZ*
N35 G0 X70 Z5*
N40 G1 X60 Z-140 M8*
N45 G1 X0.0*
N50 G0 Z5*
N55 G0 X60*
N60 G1 Z-2.32*
N65 G1 X0.0*
N70 G0 Z5*
N75 G0 X60*
N80 G1 Z-3.3*
N85 G1 X0.0*
N90 G0 Z5*
N95 G0 X60*
N100 G1 Z-4*
N105 G1 X30*
N110 Z5*
N115 G0 X60*
N120 G1 Z-4.6*
N125 G1 X30*
N130 G0 Z5*
N135 G0 X60*
N140 G1 Z-6.25*
N145 G1 X57.2*
N150 G2 X56 Z-5 R2*
N155 G1 X30*
N160 G1 Z-3.5*
N165 X28.5*
N170 Z-3.42*
N175 G1 X0.0*
N180 G0 Z5*
N185 G0 X60 M9 M5*
N185 G0 X100 Z100*
N190 M30*
CARA POSTERIOR
031 4 *
N5 T000 G21 G40 G99
N10 G28 U0 W0
N15 G54
N20 T04
N25 G50 X-173 -100 Z401.8 S1500
N30 G96 S1500 M4 F04

N35 G0 X70 Z5
N40 G1 X60 Z-0.2 M8
N45 G1 X0
N50 G0 Z5
N55 G0 X60
N60 G1 Z-0.5
N65 G1 X0
N70 G0 Z5
N75 G0 X60
N80 G1 X24.2
N90 G1 Z5
N95 G0 X60
N100 G1 Z-1.5
N105 G1 X24.2
N110 G1 Z5
N115 G0 X60
N120 G1 Z-2.0
N125 G1 X24.2
N130 G1 Z5
N135 G0 X60
N140 G1 Z-2.5
N145 G1 X24.2
N150 G1 Z5
N155 G0 X60
N160 G1 Z-3
N165 G1 24.2
N170 G1 Z-3
N175 G1 X60
N180 G1 Z-3.5
N185 G1 G1 X24.2
N190 G1 Z5
N195 G0 X60
N200 G1 Z-4.1
N205 G1 X24.2
N210 G1 Z5
N215 G0 X60
N220 G1 Z-4.7
N225 G1 X24.2
N230 G1 Z5
N235 X60 G0
N240 G1 Z-6.5 F0.15
N245 G1 X56 Z-5.3
N250 G1 X24
N225 G1 Z-1

N260 G1 X23 Z0
N265 G0 Z5
N270 G0 X70
N275 G0 X100 Z100 74
N280 M30

Cero de pieza
 $14.3 + 5 = 19.3 = Z$

Un inserto mecaniza 6 a 8 unidades por cada arista

Para la rectificadora del agujero interno de la brida y donde las medidas 13.79 con calibre para no para junto con el montaje y desmontaje de cada brida el tiempo fue de 5 minutos cada uno.

Coordenadas biselado

X149.8

Z-361.5

La maquina CNC registra

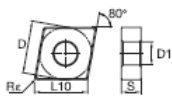
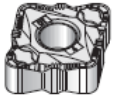



En cada brida trabajando a 1050 RPM 5'10"

Montaje y desmontaje de la pieza 1'50"

Biselado interno y externo de la brida 1'

Selección del inserto para el corte en el torno Fanuc

10 UND de CNMG120412MP con recubrimiento KUT30T marca Kennametal

	N° Catálogo ISO	N° Catálogo ANSI	Medidas										● primera elección ○ opción alternativa		<table border="1"> <tr><td>H</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>S</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>N</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>K</td><td></td><td></td><td>●</td></tr> <tr><td>M</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr> <tr><td>P</td><td>●</td><td>○</td><td>○</td></tr> </table>		H				S				N				K			●	M	○	○	○	P	●	○	○
			H																																					
			S																																					
N																																								
K			●																																					
M	○	○	○																																					
P	●	○	○																																					
D		L10		S		R _e		D1		KCo9105	KCo9225	KCo9320																												
mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.																															
 CNMG-CT	CNMG120408CT	CNMG432CT	12,70	1/2	12,90	.508	4,76	3/16	0,8	1/32	5,16	.203	●	○	○																									
	CNMG120412CT	CNMG433CT	12,70	1/2	12,90	.508	4,76	3/16	1,2	3/64	5,16	.203	●	○	○																									
 CNMG-FF	CNMG090304FF	CNMG321FF	9,53	3/8	9,67	.381	3,18	1/8	0,4	1/64	3,81	.150	●	○	○																									
	CNMG090308FF	CNMG322FF	9,53	3/8	9,67	.381	3,18	1/8	0,8	1/32	3,81	.150	●	○	○																									
	CNMG120404FF	CNMG431FF	12,70	1/2	12,90	.508	4,76	3/16	0,4	1/64	5,16	.203	●	○	○																									
	CNMG120408FF	CNMG432FF	12,70	1/2	12,90	.508	4,76	3/16	0,8	1/32	5,16	.203	●	○	○																									
 CNMG-FP	CNMG120404FP	CNMG431FP	12,70	1/2	12,90	.508	4,76	3/16	0,4	1/64	5,16	.203	●	○	○																									
	CNMG120408FP	CNMG432FP	12,70	1/2	12,90	.508	4,76	3/16	0,8	1/32	5,16	.203	●	○	○																									
	CNMG120412FP	CNMG433FP	12,70	1/2	12,90	.508	4,76	3/16	1,2	3/64	5,16	.203	●	○	○																									
 CNMG-FW	CNMG120404FW	CNMG431FW	12,70	1/2	12,90	.508	4,76	3/16	0,4	1/64	5,16	.203	●	○	○																									
	CNMG120408FW	CNMG432FW	12,70	1/2	12,90	.508	4,76	3/16	0,8	1/32	5,16	.203	●	○	○																									
	CNMG120412FW	CNMG433FW	12,70	1/2	12,90	.508	4,76	3/16	1,2	3/64	5,16	.203	●	○	○																									
 CNMG-MP	CNMG090308MP	CNMG322MP	9,53	3/8	9,67	.381	3,18	1/8	0,8	1/32	3,81	.150	●	○	○																									
	CNMG120404MP	CNMG431MP	12,70	1/2	12,90	.508	4,76	3/16	0,4	1/64	5,16	.203	●	○	○																									
	CNMG120408MP	CNMG432MP	12,70	1/2	12,90	.508	4,76	3/16	0,8	1/32	5,16	.203	●	○	○																									
	CNMG120412MP	CNMG433MP	12,70	1/2	12,90	.508	4,76	3/16	1,2	3/64	5,16	.203	●	○	○																									
	CNMG120416MP	CNMG434MP	12,70	1/2	12,90	.508	4,76	3/16	1,6	1/16	5,16	.203	●	○	○																									
	CNMG160608MP	CNMG542MP	15,88	5/8	16,12	.635	6,35	1/4	0,8	1/32	6,35	.250	●	○	○																									

Broca utilizada para el taladro de las bridas
 Broca de 5/16" marca Dormer

Para la realización de los agujeros se ubico los 4 centros de los agujeros de las bridas mediante Torno y luego se realizo el taladrado con un taladro de árbol con broca de HSS de 5/16"



ANEXO D. PLANOS

