

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS,

FÍSICAS Y NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PRÁCTICA SUPERVISADA

BANCO DE PRUEBAS DE PÉRDIDAS DE CARGAS EN
TUBERÍAS Y ACCESORIOS

Autor: BRACCO, Mauricio

Tutor: REYNA, Estela

Supervisor Externo: BRACCO, Luis H.

Córdoba, Noviembre de 2016

INDICE

CAPÍTULO 1: AGRADECIMIENTOS	3
CAPÍTULO 2: OBJETIVO.....	4
CAPÍTULO 3: MARCO DE LA PRÁCTICA.....	5
CAPÍTULO 4: DEMANDAS A SATISFACER POR EL BANCO	7
CAPÍTULO 5: ACOTADO Y OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO	10
CAPÍTULO 6: EL DISEÑO.....	20
CAPÍTULO 7: CÓMPUTO Y PRESUPUESTO.....	24
CAPÍTULO 8: PROCESO DE CONSTRUCCIÓN.....	28
CAPÍTULO 9: GESTIÓN DE DONACIONES.....	42
CAPÍTULO 10: COLABORACIONES CON LA CÁTEDRA DE FENOMENO DE TRANSPORTE Y PARTICIPACION EN DICTADO DE LABORATORIO	43
CAPÍTULO 11: GUÍA DE LABORATORIO EDICIÓN 2016 DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN TUBERIAS Y ACCESORIOS.	46
CAPÍTULO 12: PRÁCTICO DE LABORATORIO – 5 DE OCTUBRE DE 2016	75

CAPÍTULO 1: AGRADECIMIENTOS

El principal agradecimiento es para mi familia que me apoyó incondicionalmente. En especial para mi papá, Ing. Luis Bracco, que me hizo amar esta carrera, me transmitió todo lo que pudo y de quien sigo aprendiendo cada día. Trabajo con él desde mi infancia (recuerdo ansiar las vacaciones del colegio para ir a hacerlo).

También al Ing. Martín Gandolfo y a la Ing. Estela Reyna, quienes me dieron el empujón que necesitaba para volver a la facultad y dar este último paso pendiente. Gracias por su apoyo y comprensión.

A la empresa “F.B.C. Empresa de Conexiones SRL”, en la cual trabajo y que me ayudó económicamente, siendo ésta la que proveyó todos los accesorios y la estructura sobre la que está instalado el banco, y que a su vez brindó personal capacitado para colaborar con su construcción.

El Ing. Gandolfo también tuvo gran importancia en este aspecto, ya que fue quien colaboró con la gestión de la donación de la bomba instalada.

CAPÍTULO 2: OBJETIVO

La construcción de este banco de prueba surgió de la necesidad de la facultad de uno nuevo, debido a que el anterior estaba muy deteriorado. Esto hacía que lamentablemente sólo se pudieran tomar lecturas sobre un diámetro de cañería, sumado a que el tanque ya tenía bastantes reparaciones.

Otro factor influyente ha sido la de incorporar y acompañar con la práctica a la parte teórica de la enseñanza, lo que ayuda en muchos casos a visualizar y entender los procesos que en la teoría son complejos o confusos.

Por estos motivos arriba mencionados, se planteó que el nuevo banco pudiera ser apto para ser manipulado por los alumnos, y que de esta manera, ellos puedan experimentar, comprobar y verificar, por sí mismos, lo que la teoría les indica.

Con el objeto de definir el alcance de la práctica y las necesidades del nuevo banco de pruebas, se organizaron reuniones para debatir acerca de requerimientos y lineamientos con representantes de todas las cátedras involucradas o que de alguna manera sean propensas a utilizarlo para explicar algún fenómeno o realizar algún práctico.

En conclusión, el nuevo proyecto, tenía que ser moderno pero a la vez simple y que satisfaga una amplia gama demandas. Por todo esto, es que el banco fue pensado y diseñado para que sea versátil y funcional.

CAPÍTULO 3: MARCO DE LA PRÁCTICA

El marco de esta práctica supervisada se dio bajo el programa “LOS EGRESADOS COLABORAN CON LA FACULTAD”. La Empresa “F. B. C. Empresa de Conexiones SRL” se adhirió al mismo, luego de que su gerente, el Ing. Luis H. Bracco considerara que ésta podía ser una buena oportunidad para contribuir con la antes mencionada institución universitaria. F. B. C. srl. es una entidad reconocida y de gran trayectoria en el rubro de las instalaciones sanitarias.

Luego de recibir este proyecto de Práctica Supervisada, la Empresa ayudó con la donación de los materiales y accesorios para la realización del banco de pruebas; así como también, con su infraestructura y personal idóneo para construirlo.

El día lunes 25 de agosto de 2014, a través del Programa “LOS EGRESADOS COLABORAN CON LA FACULTAD”, se convocó a integrantes de distintas carreras y cátedras a una reunión en el Laboratorio de Aeronáutica de la F.C.E.F.y N.

En dicho encuentro surgió el desafío de planificar la renovación de equipamiento didáctico para uso de los alumnos. En primera instancia, se planteó la renovación de un Banco de Ensayo para Análisis de Pérdidas de Carga en Componentes Hidráulicos, necesario para la práctica de laboratorio de estudiantes de 7 cátedras de la Facultad.

Asistieron autoridades de La Asociación de Egresados de Ingeniería y Ciencias Naturales:

- Ing. Civil Estela Reyna, docente de la Cátedra de Fenómenos de Transporte y Presidente de la Asociación de Egresados de Ingeniería y Ciencias Naturales de la F.C.E.F. y N;
- Ing. Civil Domingo Martín Gandolfo, Vice Presidente de la Asociación de Egresados de Ingeniería y Ciencias Naturales de la F.C.E.F. y N;
- Ing. Aeronáutico Jorge Osvaldo García, Director del Departamento de Aeronáutica;
- Ing. Civil Alejandro G. Baruzzi, Director de la Cátedra de Práctica Supervisada;
- Ing. ME Jorge González Conde, integrante del Laboratorio de Materiales;
- Dra Ing. Química Noelia Alasino, docente de la Cátedra de Fenómenos de Transporte;
- Ing. Aeronáutico Esteban Ibarrola, integrante de la Cátedra de Mecánica de los Fluídos;

- Ing. Aeronáutico Angel Galeasso, miembro del Departamento de Aeronáutica;
- Pablo Pedrotti, alumno de dicha facultad;
- Mauricio Bracco, alumno de la carrera de Ing. Civil y encargado de la presente Práctica Supervisada.

También se sumaron a este proyecto:

- Dr. Ing. Civil Marcelo García de la Cátedra de Mecánica de los Fluidos;
- Mgter. Ing. Civil Juan Weber.

Como resultado de este encuentro, surgieron los distintos requerimientos para el diseño del nuevo banco, donde cada área pudo especificar lo que necesitaba.

Además, se acordaron compromisos de colaboración de parte de algunos de los presentes:

- ✓ El Ing. Gandolfo se ofreció para gestionar la adquisición de una nueva bomba de agua trifásica, a través de las empresas Agualuc y Mr. Garden;
- ✓ El Ing. Gonzales Conde manifestó poder conseguir un caudalímetro mecánico, como los utilizados por la empresa Aguas Cordobesas;
- ✓ La cátedra de Fenómenos de Transporte contribuyó con la Guía de Trabajos Prácticos: “Pérdidas por Fricción en Tuberías y Accesorios”, que sirvió como base y orientación teórica para la confección y puesta en marcha del nuevo banco.

CAPÍTULO 4: DEMANDAS A SATISFACER POR EL BANCO

En primer lugar se investigó en internet para observar y comparar formatos y prestaciones de distintos bancos de ensayo de pérdidas, que se encuentran en distintos establecimientos como universidades, escuelas técnicas, grupos de investigación, etc.



Figura 1

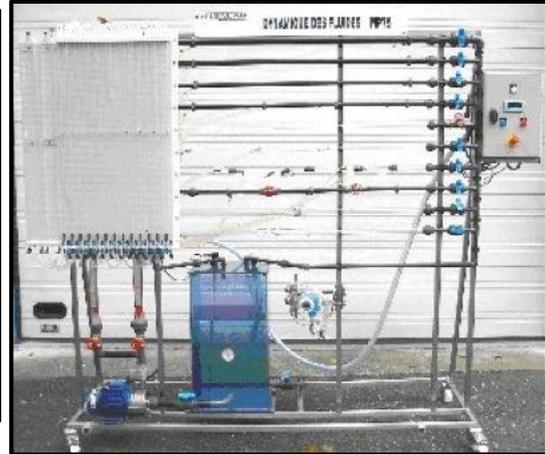


Figura 2



Figura 3



Figura 4



Figura 5



Figura 6



Figura 7



Figura 8

- Las imágenes enumeradas en este capítulo (fig. 1 a fig. 8) han sido obtenidas de diversas páginas de Internet.

Al evaluar las características de cada uno de los bancos cotejados, tratamos de construir uno en que es puedan integrar todos los aspectos y del cual pudiéramos obtener todos los beneficios y alternativas. Esto generaba un gran reto.

La metodología, en un inicio, se realizó con requerimientos vía mail acerca de propuestas y/o necesidades para el nuevo banco:

- ✓ La Ing. Estela Reyna inició el intercambio de correos colocándonos en copia a todos los interesados en el proyecto.
- ✓ El Ing. Jorge García adjuntó un manual de un sistema de entrenamiento para tuberías e ideas interesantes como las siguientes:
 - Debe tener un medidor de caudal con lectura directa, ver ítem Model 46760 – Flowmeter
 - Un manómetro ítem Model 46761 – Pressure Gauge
 - Bandejas de almacenamiento ítems
 - Un lugar donde guardar diferentes tipos de caños a ensayar.
 - Medidor de caudal por disco
 - Medidor de caudal por Venturi

- Diversos tipos de válvulas (esclusa, globo, etc.) para poder determinar su pérdida de carga
- ✓ El Ing. Esteban Ibarrola adjuntó el esquema del banco de la Universidad de Navarra y el listado de componentes con algunas observaciones, que en su opinión eran convenientes de ser incorporadas.
- ✓ El Ing. Jorge García manifestó la importancia de contar con un dispositivo donde se puedan colocar diferentes tipos de orificios calibrados. Por ese motivo, envió links con textos relacionados:
 - <http://www.tecnoficio.com/docs/doc16.php>
 - <http://www.tecnoficio.com/docs/doc17a.php>
- ✓ La Ing. Noelia Alasino aportó requerimientos interesantes a tener en cuenta después de una charla con el Ing. Carlos Quagliotti para el laboratorio de Operaciones Unitarias 1:
 - "Determinación de la curva H-Q de una bomba" para OUI;
 - Agregar parte práctica con el uso del EPANET.

CAPÍTULO 5: ACOTADO Y OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO

Con la Ing. Estela Reyna, estuvimos deliberando acerca del alcance del proyecto, para así tratar de cumplir con la mayor cantidad de necesidades de las cátedras, sin dejar de lado la factibilidad de su construcción.

Una vez que aclaramos el panorama de las diferentes demandas, se comenzó a trabajar en el proyecto del banco propiamente dicho. Lo primero que se hizo fue diseñar algunos bocetos con distintas alternativas que fuimos analizando para optimizarlo.

Una vez definida la tipología del banco, se estudió qué tipos de materiales y accesorios podían ser los más apropiados y versátiles para su construcción, y para poder tener la mayor gama de pruebas posibles. Luego del análisis de las posibles opciones y de su disponibilidad en el mercado, se llegó a la decisión de utilizar la cañerías y accesorios de polipropileno sanitario, marca Hidro 3 de la fábrica Saladillo.



Figura 9

Estas cañerías presentan la particularidad que además de poder ser termo-fusionadas, como son la mayoría de las instalaciones sanitarias en la actualidad, pueden ser roscadas para conectarse a otro material, como cañería de Hierro Galvanizado con mucha simplicidad.

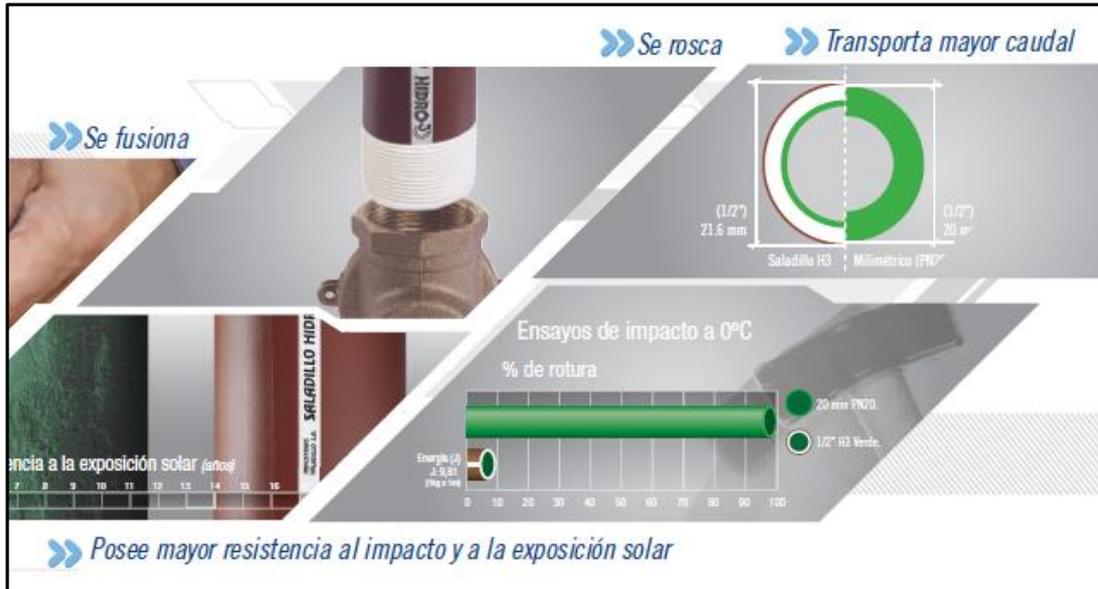


Figura 10

Además, cabe mencionar que por el gran reconocimiento y trayectoria de la marca Hidro 3, poseen una gran variedad de accesorios que permiten solucionar la mayoría de las situaciones en una instalación.

El accesorio que fue decisivo para la construcción de este banco fue el de las válvulas esféricas con doble unión doble. Esto proporciona una gran versatilidad al sistema, ya que por medio de los mismos se puede desacoplar y conectar prácticamente cualquier material con gran facilidad, y por lo tanto amoldarse a una amplia variedad de soluciones.

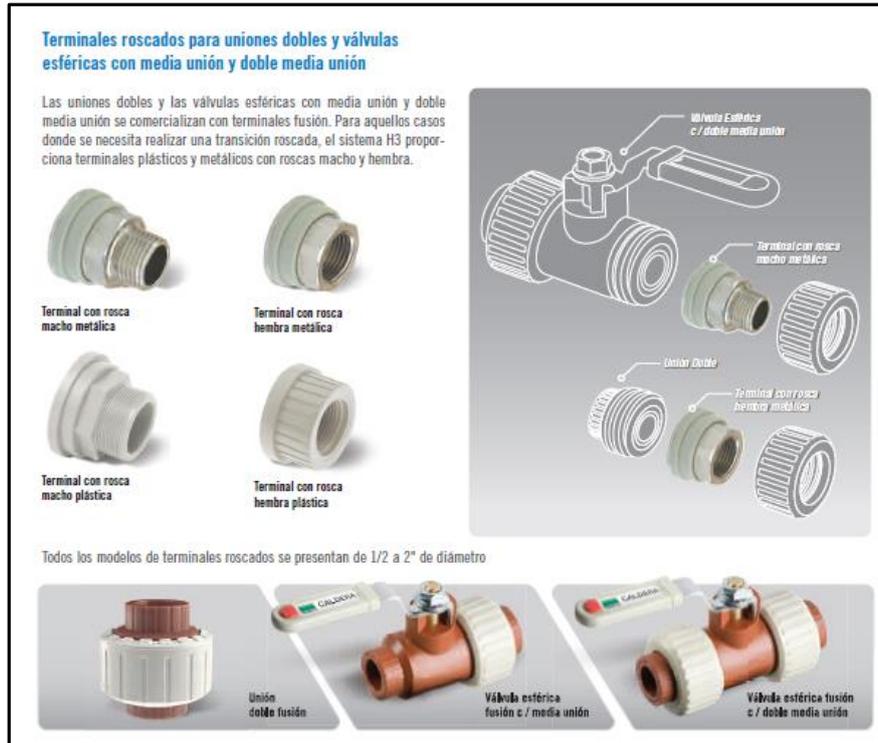


Figura 11

En el banco se plantea la posibilidad de poder calcular pérdidas de cargas en cañerías de los 3 diámetros más usados en instalaciones internas: 1/2" pulgada, 3/4" pulgada y 1" pulgada.

A continuación, se adjunta una planilla con las características de las cañerías y las dimensiones (sobre todo el diámetro interno que será necesario para el cálculo de las pérdidas). El caño que se utilizó es la versión que tiene alma de aluminio, "Hidro 3 Aluminio", que en la práctica se utiliza para instalaciones de calefacción. En nuestro caso se optó por éste, ya que tiene mayor rigidez, lo que evita que se deforme. El Diámetro interno es el mismo que el "Hidro 3 Verde", que es el utilizado para instalaciones de agua caliente, ya que tiene una pared de espesor mayor que el utilizado para agua fría, el "Hidro 3 Azul". El polipropileno (material que conforma el caño) con el calor pierde resistencia.



Figura 12

Presiones y temperaturas admisibles a 50 años para Tuberías Hidro 3 verde.										
Ø Nominal	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"
Temperatura	Presión de servicio admisible para tubos Hidro 3 unidos por fusión (bar)									
20°	23.7	21.2	21.3	19.5	18.8	17.8	16.8	16.4	15.6	15.3
40°	19.0	17.0	17.0	15.6	15.0	14.2	13.4	13.1	12.5	12.2
60°	14.0	12.5	12.5	11.5	11	10.5	9.9	9.6	9.2	9.00
80°	6.1	5.4	5.4	5.0	4.8	4.5	4.3	4.2	4	3.90

Presiones y temperaturas admisibles a 50 años para Tuberías Hidro 3 azul.										
Ø Nominal	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"
Temperatura	Presión de servicio admisible para tubos Hidro 3 unidos por fusión (bar)									
20°	23.7	21.2	16.6	13.4	11.5	10.7	9.8	9.4	8.7	8.3

1 bar = 1 kg/cm² = 10 m de columna de agua

Figura 13

Programa del Sistema Hidro 3 // Tuberías								
Hidro 3 Unifusión			Tuberías para agua fría y caliente					
	Código Nº	d mm	dn pulg.	di mm	s mm	Sp cm ²	P kg/m	Vu l/m
	7102	21.30	1/2"	16.20	2.7	2.06	0,154	0,206
	7103	26.90	3/4"	20.40	3.4	3.27	0,244	0,327
	7104	33.70	1"	25.60	4.2	5.15	0,377	0,515
	7105	42.20	1 1/4"	32.00	5.3	8.04	0,596	0,804
	7106	48.30	1 1/2"	36.80	6.0	10.64	0,774	1,064
	7107	60.30	2"	45.90	7.5	16.55	1,208	1,655
Presentación: Tiras por 4 m.								
Hidro 3 verde			Tuberías para agua caliente					
	Código Nº	d mm	dn pulg.	di mm	s mm	Sp cm ²	P kg/m	Vu l/m
	65	21.30	1/2"	14.5	3.4	1.66	0.173	0.166
	66	26.90	3/4"	19.1	3.9	2.9	0.256	0.290
	67	33.70	1"	23.9	4.9	4.5	0.402	0.450
	68	42.20	1 1/4"	30.8	5.7	7.45	0.593	0.745
	69	48.30	1 1/2"	35.7	6.3	10.00	0.754	1.000
	70	60.30	2"	45.3	7.5	16.10	1.128	1.610
	71	76.10	2 1/2"	58.1	9.0	26.50	1.721	2.650
	72	88.90	3"	68.3	10.3	36.65	2.307	3.665
	64	114.30	4"	88.9	12.7	62.10	3.677	6.210
	63	139.70	5"	101.5	13.1	80.91	6.947	8.090
Presentación: Tiras por 6 m.								
Hidro 3 azul			Tuberías para agua fría					
	Código Nº	d mm	dn pulg.	di mm	s mm	Sp cm ²	P kg/m	Vu l/m
	35	21.30	1/2"	14.5	3.4	1.65	0.173	0.165
	36	26.90	3/4"	19.1	3.9	2.9	0.256	0.290
	37	33.70	1"	23.9	3.6	5.50	0.308	0.550
	38	42.20	1 1/4"	34.8	3.7	9.50	0.406	0.950
	39	48.30	1 1/2"	40.9	3.7	13.15	0.470	1.315
	40	60.30	2"	51.7	4.3	21.00	0.686	2.100
	41	76.10	2 1/2"	66.1	5.0	34.30	1.013	3.430
	42	88.90	3"	77.7	5.6	47.40	1.329	4.740
	43	114.30	4"	100.9	6.7	80	2.054	8.000
	30	139.7	5"	123.9	7.9	120.5	2.960	12.05
Presentación: Tiras por 6 m.								
Hidro 3 aluminio			Tuberías para calefacción por radiadores					
	Código Nº	d mm	dn pulg.	di mm	s mm	Sp cm ²	P kg/m	Vu l/m
	75	22.8	1/2"	14.5	4.1	1.65	0.253	0.165
	76	28.4	3/4"	19.1	4.6	2.9	0.345	0.290
	77	34.2	1"	23.9	5.1	4.5	0.530	0.450
	78	43.7	1 1/4"	30.8	6.5	7.45	0.761	0.745
	79	49.8	1 1/2"	35.7	7.0	10	0.960	1.000
	80	61.8	2"	45.3	8.2	16.10	1.450	1.610
Presentación: Tiras por 6 m.								
Referencias: d: Diámetro exterior - dn: Diámetro nominal - di: Diámetro Interior - s: Espesor - Sp: Sección de paso - P: Peso - Vu: Volumen								

Figura 14

Luego, había que evaluar qué accesorios iban a ser utilizados para poder dimensionar las pérdidas de carga. Se diagramó un esquema en el cual se puedan instalar y medir la mayor cantidad de ellos (o al menos los más usados). Se trabajó con diámetro de $\frac{3}{4}$ " y se incluyeron las siguientes piezas:



Figura 15

Se logró acotar los accesorios y las cañerías. Después, restaba definir los elementos de medición: medidores de caudal y medidores de presión.

El banco antiguo poseía dos medidores de caudal: mediante plara orificio y un venturi. Ambos fueron limpiados y adaptados al banco nuevo. También, gracias al aporte del Ing. Jorge Gonzales Conde, se instaló un medidor de caudal mecánico como el utilizado por la empresa prestadora del servicio de agua potable en Córdoba, Aguas Cordobesas.

Ademas se ideó un sistema para poder medir caudal volumétricamente de una forma muy didáctica y a su vez intuitiva. El recipiente debe estar interpuesto entre el final de la

instalación y el tanque de reserva. También tener una graduación para poder tomar mediciones y a su vez contar con una valvula de cierre para retener el liquido a medir. De esta manera es muy simple obtener el caudal sabiendo el tiempo que demora en llenar cierto volumen calibrado siendo el caudal $q = v/t$

Se le incorporó también un manómetro en el Colector de distribución de entrada, para saber que presión nos está entregando la Bomba.

El Laboratorio de química cuenta con medidores dual de presión de la fabrica Pasco, el "PASPORT Dual Pressure Sensor. El cual será otro implemento para medir presiones con gran precisión tanto en los accesorio como en cañerías y hasta en la placa orificio y venturi.

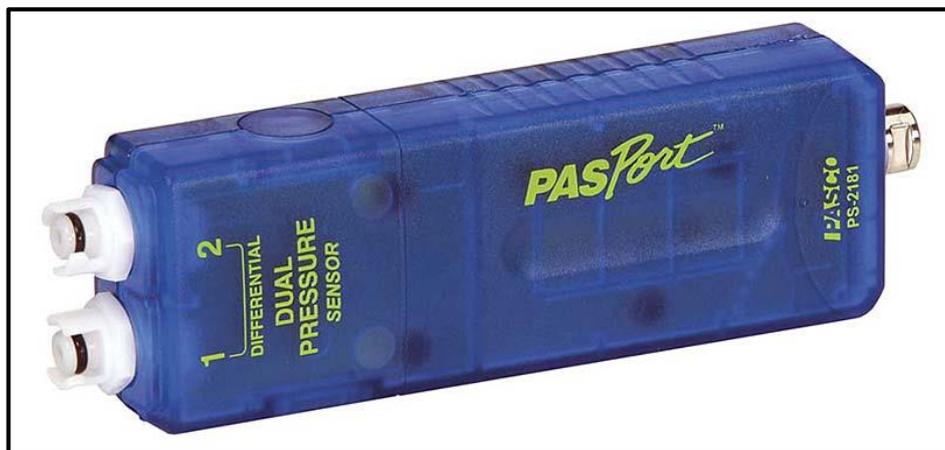


Figura 16

A su vez se ideó uno sistema para poder tomar mediciones en las cañerías y accesorios, donde se dejaron llaves de paso para conectar el Medidor diferencial, y así poder medir la caída de presión en accesorios y los distintos diámetros de las cañerías.



Figura 17

Estos puntos para toma de presión de los accesorios están distanciados a 10 cm del eje del accesorio, para alejarnos de la zona de turbulencia. En las cañerías los puntos de medición están a 1 m de distancia.

Se instaló un recipiente de 100 litros como reservorio de agua para la alimentación de la bomba. Ésta es una Lowara C E modelo CEA 70/3/A Trifásica de 0.50 hp de potencia, que nos fue donada por La empresa Agualuc por medio de su dueño, el señor Oscar Oliva y gracias a las gestiones del Ing. Martin Gandolfo.



Figura 18



Figura 19

CAUDALES DETALLADOS para la serie CEA-CEAM
Series 70 a 370

TIPO BOMBA	POTENCIA		Q= Caudal (m ³ /h)																	
	kW	HP	0	1,8	2,4	3,6	4,8	6	7,2	8,4	9,6	10,8	12	15	18	21	24	26	29	31
			ALTURA TOTAL METROS COLUMNA DE AGUA																	
CEA(M) 70/3	0,37	0,5	22	20,1	19,1	16,6	12,8													
CEA(M) 70/5	0,55	0,75	31,1	28,8	27,7	24,7	20,2													
CEA(M) 80/5	0,75	1	32	30	29,3	27,4	24,7	21												
CEA(M) 120/3	0,55	0,75	22,4			18,9	17,5	15,9	14	11,8	9,2									
CEA(M) 120/5	0,9	1,2	31,8			28,2	26,5	24,6	22,4	20	17,3									
CEA(M) 210/2	0,75	1	17,7						16,5	16,1	15,6	15	14,4	12,6	10,4					
CEA(M) 210/3	1,1	1,5	20,8						19,7	19,3	19	18,5	18	16,5	14,4					
CEA(M) 210/4	1,5	2	25,5						24,8	24,5	24	23,6	23	21,3	19					
CEA(M) 210/5	1,85	2,5	29						28,2	27,9	27,5	27,1	26,6	25,1	23,1					
CEA(M) 370/1	1,1	1,5	16,3									15,5	15,2	14,3	13	11,4	9,4	8,1		
CEA(M) 370/2	1,5	2	20,4										19,1	18,3	17,2	15,8	14,1	13	10,8	
CEA(M) 370/3	1,85	2,5	24,4										22,9	22,1	21,1	19,8	18,2	17,1	15	13
CEA370/5	3	4	30,3										28,3	27,5	26,5	25,3	23,8	22,8	21	19

Figura 20

- Las imágenes enumeradas en este capítulo (fig. 9 a fig. 15) han sido extraídas del manual de instalación de Hidro 3 – industria Saladillo.
- Las imágenes enumeradas en este capítulo (fig. 16) ha sido obtenida de la página oficial de la marca Pasco.
- Las imágenes enumeradas en este capítulo (fig. 18 y fig 20) han sido obtenidas de la página oficial de la Marca Lowara.

CAPÍTULO 6: EL DISEÑO

Una vez obtenidas las necesidades, los diámetros y accesorios que se necesitaban instalar, se procedió al diseño del formato para poder incorporar todas las piezas y las cañerías. En primer lugar, necesitábamos un reservorio de agua para alimentar a la bomba, para lo cual se utilizará un tacho de 100 litros de plástico, al que se le hará una perforación en la parte lateral inferior para instalar una conexión de tanque, de ahí se alimentaría la bomba. Esta última impulsará a un colector en forma de peine, desde el cual se harán las derivaciones para los distintos diámetros y para el circuito de accesorios. Sobre dicho colector se previó la instalación de un manómetro para tomar la presión que la bomba entrega al colector de entrada. A las salidas de cada derivación se instalará una válvula con doble media unión según le diámetro correspondiente. Esta válvula de doble media unión le dará al sistema una versatilidad inigualable, ya que se puede desacoplar la media unión muy fácilmente (con la mano, no hace falta herramientas) y acoplarle prácticamente cualquier tipo de cañería o instalación.



Figura 21

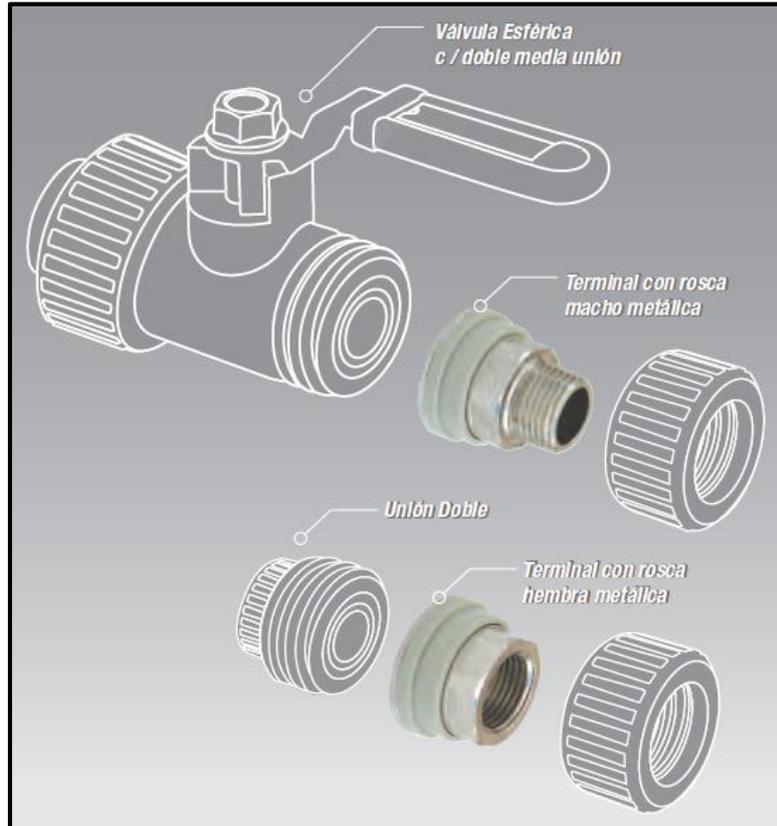


Figura 22

Del colector de Ingreso saldrán 3 diámetros distintos de Cañerías. De $\frac{1}{2}$ " con un diámetro interno de 14,5 mm; de $\frac{3}{4}$ " con un diámetro interno de 19,1 mm; de 1" con un diámetro interno de 23,9 mm. Sobre estas tres cañerías se colocarán tomas de presión distanciadas a un metro de manera de poder tomar lecturas de presión en dichos tramos para verificar la pérdida de carga de ese tramo.

Además se instalará un circuito de accesorios de $\frac{3}{4}$ ", donde se colocarán distintas piezas para las mediciones de pérdidas de cargas puntuales en dichas particularidades. Se instalarán: Codo a 45°, codo a 90°, curva a 90° (la cual tiene un radio de desarrollo mayor, lo que produce una pérdida de presión menor al ser más gradual el cambio de dirección); Te en el cual se podrá medir pérdidas cuando el fluido pasa a través de el a 180° o cuando pasa a 90° (cambia la pérdida es las distintas situaciones); Válvula esférica y llave de paso (también llamada válvula de asiento), que son dos formas diferentes de producir un cierre en la instalación pero que tienen distintas configuraciones, y por lo tanto distintas pérdidas de carga. En las siguientes figuras se muestran como están formadas y como trabajan las distintas válvulas de cierre antes mencionadas:

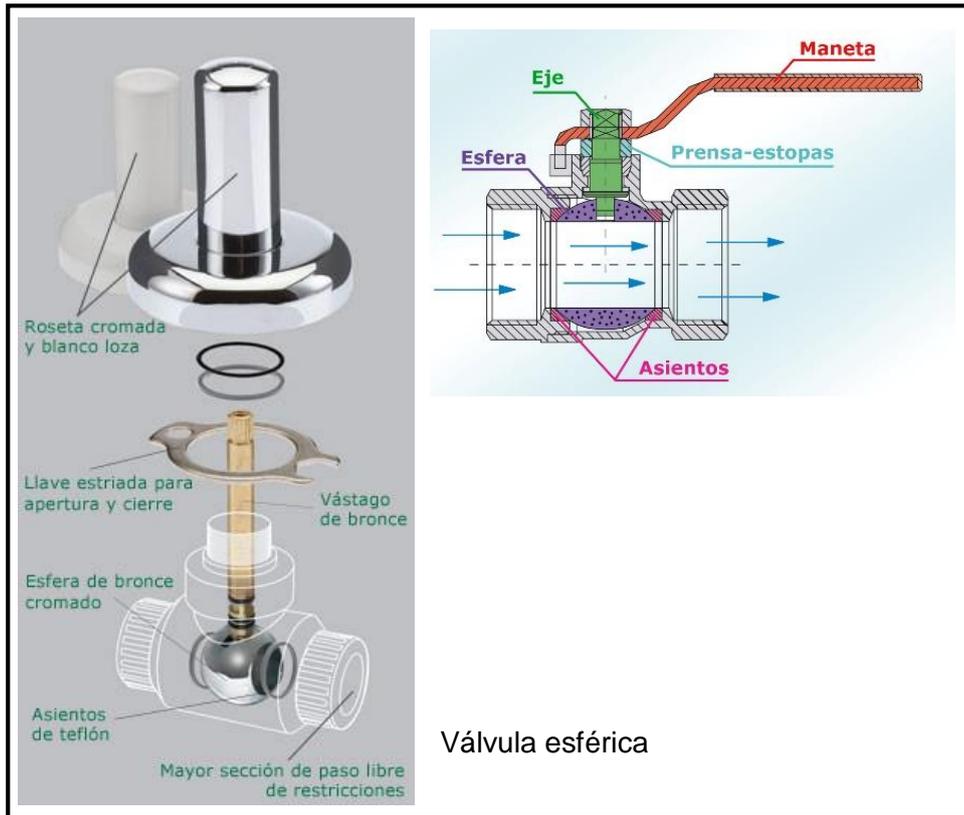


Figura 23

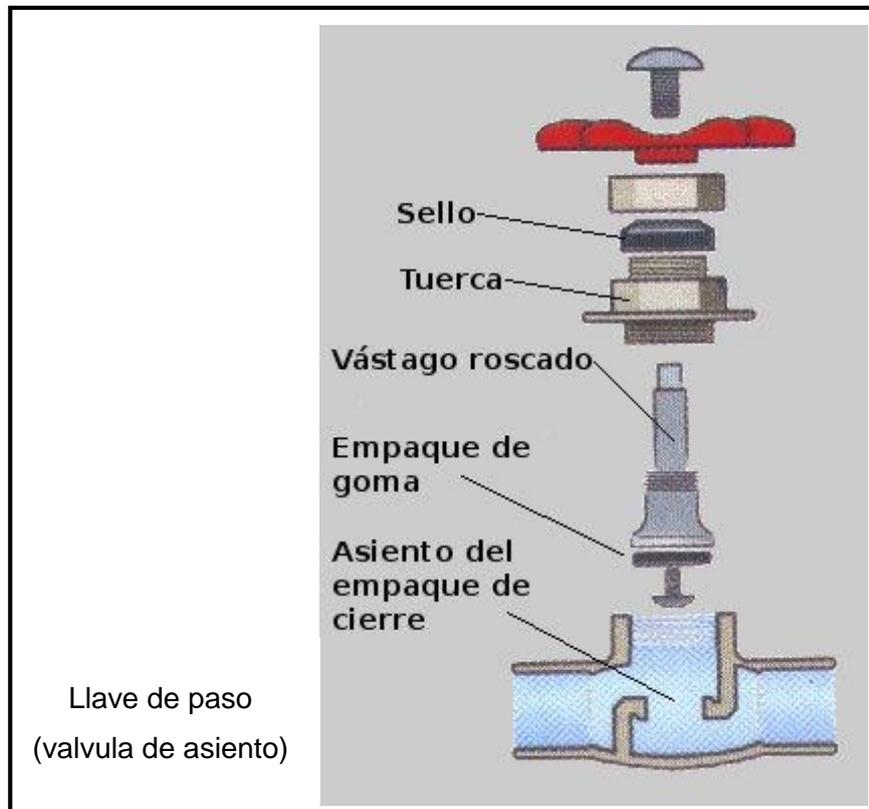


Figura 24

Todas estas instalaciones llegan a un colector de salida con un formato similar al de entrada, desde el cual sale el retorno de la instalación, donde se encuentran instalados los medidores de caudal. Para instalar el medidor de caudal mecánico se le hará rosca a la cañería de polipropileno, como así también para conectar los medidores de caudal de Venturi y Orificio. Al final de la cañería de retorno y sobre en tanque de reserva de agua se instalará el recipiente graduado en el que se realizará la medición de caudal volumétricamente. Dicho recipiente deberá tener en la parte inferior una válvula, de manera que pueda ser accionada para comenzar la medición de caudal como para proceder al vaciado del mismo y evitar que desborde.

CAPÍTULO 7: CÓMPUTO Y PRESUPUESTO

Una vez definido y acotado, se procedió a realizar el cómputo y presupuesto del proyecto. En éste no sólo había que incorporar las cañerías y accesorios propios del sistema, sino también los materiales para la estructura de soporte y los trabajos de personal especializado, tanto para hacer las soldaduras de la estructura como del personal encargado de realizar las fusiones de la instalación. En dicho presupuesto hubo que estimar los tiempos que se insumirían en la construcción de cada rubro para así poder computarlo. La confección del presupuesto se encaró como si se tratase de un trabajo concreto por el que se nos pide una cotización y nosotros debemos hacer una estimación de las cantidades y costos tanto de materiales como de mano de obra (estimando el tiempo que insumiría cada una de las tareas y qué operario las ejecutaría, teniendo en cuenta sus honorarios, las cargas sociales asociadas según la categoría de los empleados, el proporcional de Vacaciones y aguinaldo), evaluación de costos de imprevistos e incertidumbres asociadas, y hasta un beneficio.

Se adjunta planilla de cómputo y presupuesto.

Computo y Presupuesto - Banco de Prueba									
Mauricio Bracco									
Los precios son a Octubre de 2015									
Nº				precio mat.	total mat.	precio m.o.	total m.o.	incidencia	incidencia
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	unit. (\$)	ítem (\$)	unit. (\$)	ítem (\$)	rubro %	ítem %
ESTRUCTURA SOPORTE								20,65%	
1	Caño cuadrado 40x40 e: 1,2mm - L: 6m	ud	5	235,00	1.175,00				4,98%
2	Ruedas reforzadas	ud	2	284,00	568,00				2,41%
3	Electrodos Conarco 6013 punta azul de 2,5mm	kg	2	45,00	90,00				0,38%
4	Discos corte 4,5' 1,2mm	ud	5	38,00	190,00				0,81%
5	Pintura tripleaccion	lt	2	125,00	250,00				1,06%
6	Jornales soldador	dias	2			800,00	1.600,00		6,78%
7	Jornales ayudante	dias	2			500,00	1.000,00		4,24%
CAÑERIAS Y ACCESORIOS								34,61%	
1	BUJE RED H3 FF 1X1/2	ud	1	3,66	3,66				0,02%
2	CAÑO 6M H-3 <ALUM/FC> 1"	ud	1	523,29	523,29				2,22%
3	CAÑO 6M H-3 <ALUM/FC> 1/2"	ud	1	230,14	230,14				0,98%
4	CAÑO 6M H-3 <ALUM/FC> 3/4"	ud	1	355,39	355,39				1,51%
5	CAÑO 6M H-3 <FC/VDE> 1"	ud	1	262,51	262,51				1,11%
6	CANILLA MGA MJA/LGA DUKE 1/2"	ud	1	23,66	23,66				0,10%
7	CODO 45G H3 FF 3/4"	ud	2	11,23	22,46				0,10%
8	CODO H3 FF 3/4"	ud	2	6,97	13,94				0,06%
9	CONEX/TQUE PP-R COMP 2"	ud	1	54,08	54,08				0,23%
10	CONEX/TQUE PP-R COMP 1"	ud	1	30,61	30,61				0,13%
11	CUPLA RED H3 F/R.M(H) 1X1/2	ud	1	37,72	37,72				0,16%
12	CURVA 90G H3 FF 3/4"	ud	1	11,22	11,22				0,05%
13	LL.PASO CAMP/BCO 3/4" H3-6322	ud	1	100,89	100,89				0,43%
14	TE H3 FF 1"	ud	8	15,67	125,36				0,53%
15	TE H3 FF 3/4"	ud	2	10,38	20,76				0,09%

Computo y Presupuesto - Banco de Prueba									
Mauricio Bracco									
					Los precios son a Octubre de 2015				
Nº				precio mat.	total mat.	precio m.o.	total m.o.	incidencia	incidencia
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	unit. (\$)	ítem (\$)	unit. (\$)	ítem (\$)	rubro %	ítem %
16	TE RED H3 FF 1X1/2	ud	1	21,43	21,43				0,09%
17	TE RED H3 FF 1X3/4	ud	4	21,32	85,28				0,36%
18	UNION DOBLE H3 FF 1"	ud	4	52,40	209,60				0,89%
19	V.ESF 2MU TF-MAR 1" H3-6472	ud	3	225,46	676,38				2,87%
20	V.ESF 2MU TF-MAR 1/2" H3-6470	ud	2	112,75	225,50				0,96%
21	V.ESF 2MU TF-MAR 3/4" H3-6471	ud	4	143,24	572,96				2,43%
22	V.ESF TF-MAR 1" H3-6442	ud	3	170,23	510,69				2,16%
23	V.ESF ROSCADA 2"	ud	1	180,00	180,00				0,76%
24	BUJE FUSION R-H 1x3/4"	ud	2	300,00	600,00				2,54%
25	Tacho para deposito 100 lt	ud	1	350,00	350,00				1,48%
26	Tacho intermediario 25 lt	ud	1	100,00	100,00				0,42%
27	Manometro de presión 0-4 kg	ud	1	220,00	220,00				0,93%
28	Jornal plomero especialista	dia	2			800,00	1.600,00		6,78%
29	Jornal Ayudante	dia	2			500,00	1.000,00		4,24%
								4,32%	
MATERIALES PARA TOMAS DE PRESIÓN									
1	Mecha 2mm	ud	2	34,00	68,00				0,29%
2	Pico cubierta auto	ud	50	3,00	150,00				0,64%
3	Zuncho perforado x 30mt	ud	1	248,00	248,00				1,05%
4	Bulón con tuerca	ud	20	14,50	290,00				1,23%
5	Llave de paso peceras	ud	20	12,00	240,00				1,02%
6	Manguera cristal 5mm	mt	5	4,50	22,50				0,10%
INSTALACIÓN ELECTRICA									
1	Tablero plastico 15x20	ud	1	270,00	270,00			3,14%	1,14%

Computo y Presupuesto - Banco de Prueba									
Mauricio Bracco									
Los precios son a Octubre de 2015									
Nº				precio mat.	total mat.	precio m.o.	total m.o.	incidencia	incidencia
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	unit. (\$)	ítem (\$)	unit. (\$)	ítem (\$)	rubro %	ítem %
2	Termica Trifásica	ud	1	240,00	240,00				1,02%
3	Cable TPR 3x2,5mm	mt	5	18,00	90,00				0,38%
4	Ficha industrial macho	ud	1	140,00	140,00				0,59%
BOMBA ELECTRICA TRIFASICA								21,19%	
1	Bomba electrica trifasica acero inox	ud	1	5.000,00	5.000,00				21,19%
APORTE Y CARGAS SOCIALES								11,86%	
1	Cargas Sociales oficial	jornal	4			450,00	1.800,00		7,63%
2	Cargas Sociales Ayudante	jornal	4			250,00	1.000,00		4,24%
VARIOS								4,24%	
1	Gestión y movilidad	gl	1	1.000,00	1.000,00				4,24%
SUBTOTAL MATERIALES Y MANO DE OBRA					15.599,03		8.000,00		100,00%
SUB TOTAL					23.599,03				
Gastos generales: entre un 10%.				0,1	2.359,90				
Beneficios: entre el 20 %				0,2	4.719,81				
IVA: 21%				0,21	4.955,80				
Ingresos Brutos: 0,3%				0,03	707,97				
Imprevistos: 10%				0,1	2.359,90				
TOTAL GENERAL \$					38.702,41				

Tabla 1 – Cómputo y Presupuesto

CAPÍTULO 8: PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

Como primera instancia para su construcción debíamos comenzar por la estructura, necesitábamos que sea lo suficientemente fuerte y estable para alojar nuestra instalación y para poder volcar las cañerías sobre la misma.

Primero, se confeccionó un plano donde figuraban las dimensiones necesarias. Con dicho plano se verificaron los materiales necesarios que se habían calculado en el presupuesto sobre el proyecto. Luego se compraron los materiales y se le indicó al soldador con el plano correspondiente la estructura que había que fabricar. Ésta estructura se diseñó para que sea posible transportarla de forma cómoda, por lo que primero se construyó el marco inferior (al cual se le colocaron las ruedas en un extremo y las manijas el otro) y sobre éste se montó el resto de la estructura para soportar las cañerías y los tanques.



Figura 25



Figura 26

Posteriormente, se verificó el listado de materiales necesarios antes de la compra. Esto no fué una tarea menor, ya que en la mayoría de los casos el presupuesto se hace con mucha antelación a la obra o con información acotada. Fue muy necesario al momento de la compra definitiva de los materiales hacer algunos ajustes y controles más estrictos. Una vez terminada la estructura por el soldador capacitado en conjunto con un ayudante, se inspeccionó para corregir imperfecciones y se continuó con la pintura. Para darle lugar al plomero con su ayudante para poder ejecutar y montar la instalación. Estos trabajos fueron ejecutados por personal capacitado e idóneo de la Empresa F.B.C. Empresa de Conexiones srl y estuvieron bajo mi supervisión constante, para así tener el mayor de los cuidados en las dimensiones y tiempos de fusión, para que las fusiones fueran realizadas de acuerdo a las sugerencias del fabricante.

Unión por termofusión

Un proceso simple, seguro e inalterable. Entre un tubo y una conexión H3 Termofusión no existe unión, existe termofusión. Esto significa que tubos y conexiones se fusionan entre sí molecularmente, dando lugar a una cañería continua, que garantiza el más alto grado de seguridad en instalaciones de agua caliente, fría y calefacción.



Recomendaciones para fusión de tuberías Hidro 3 verde, azul y aluminio

TERMOFUSION SIMULTANEA				
Díámetro del tubo (pulgadas)	Tiempo de calentamiento (segundos)	Intervalo máximo (segundos)	Tiempo de enfriamiento (minutos)	Profundidad de inserción (milímetros)
1/2	8	3	2	15
3/4	12	3	2	16
1	16	4	2	18
1 1/4	20	4	3	22
1 1/2	24	4	4	24
2	28	4	5	27
2 1/2	35	4	6	33
3	40	4	6	36
4	50	5	8	48
5	60	6	10	51

TIEMPOS DE CALENTAMIENTO		
Díámetro (pulgadas)	Tubos (segundos)	Conexiones (segundos)
1/2	8	24
3/4	12	36
1	16	48
1 1/4	20	60
1 1/2	24	72
2	28	84
2 1/2	35	105
3	40	120
4	50	150
5	60	180

24

Figura 27

Se ejecutó la instalación tomando cuidadosamente las medidas y de la manera más prolija posible. Esto fue una tarea distinta a la habitual en el trabajo en obra, ya que acá la precisión era fundamental, cosa que en la realidad y con los tiempos que obra sería económicamente inviable. De hecho, por lo que se pudo observar, para esta construcción se insumió el doble de tiempo que si se tratase de una instalación similar en obra.

El Plomero hizo la conexión de la bomba y colocó las conexiones de tanque, tanto en el tanque de reserva como el intermediario.

Para la conexión eléctrica del sistema se instaló un pequeño tablero eléctrico con una térmica trifásica, la que se utilizará para encender y apagar la bomba, como así también para protegerla. Además, se le colocó en la punta del cable un enchufe industrial macho para ser conectado en el variador de velocidad del laboratorio de aeronáutica.



Figura 28

Dicho variador es de la Marca WEG modelo CFW08, que se utiliza para poder cambiar la velocidad de giro de la bomba y de esa manera variar el caudal que circula por el circuito.



Figura 29



Figura 30

El laboratorio de aeronáutica cuenta con dos variadores. Estos equipos electrónicos varían la frecuencia entre las fases de la instalación trifásica, por lo que se puede variar la velocidad de giro de un motor trifásico. Por eso fue que en nuestro caso se optó por una bomba trifásica, ya que de esta manera podíamos hacer variar muy fácilmente la velocidad de giro de la bomba y por ende el Caudal.

Con todo instalado y la bomba conectada eléctricamente, se hizo la primera prueba con agua. Se llenó con agua el depósito y se puso en funcionamiento. Se hizo circular agua por todos los circuitos, se manipularon las válvulas y todo funcionó a la perfección.

En este punto se llevó el Banco a la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, al laboratorio de Aeronáutica.



Figura 31

En dicho laboratorio fui yo personalmente a realizar las últimas instalaciones, colocar las tomas de presión y hacer la calibraciones necesarias. Se recuperaron los medidores de caudal del viejo banco: Uno Venturi y uno de orificio. Estos se desarmaron, limpiaron e instalaron en el nuevo banco sobre la cañería de polipropileno, la cual se roscó, se le colocó cáñamo y sellador en las roscas para evitar filtraciones.



Figura 32



Figura 33



Figura 34

La ejecución de los puntos para toma de mediciones fue una tarea minuciosa y delicada. Esta demandó mucha precisión y tiempo, ya que a su vez era lo más importante, porque si se cometía algún error, las mediciones no iban a ser confiables y no reflejarían realmente el fenómeno de lo que estaba sucediendo en la instalación.

El diseño y la construcción de los puntos para toma de presión fue todo un reto y fue uno de los aspectos que más tiempo nos llevó solucionar. Se me ocurrieron varias alternativas que fui probando para ver cómo se comportaban; Había que tener en cuenta que sean lo suficientemente robustos para poder ser manipulados por los alumnos, (que es en definitiva uno de los factores fundamentales de este banco: que los alumnos puedan hacer las mediciones por ellos mismos). Intenté con elementos roscados a la cañería, pero primero no conseguía conexiones pequeñas para ser utilizadas. Además, debido al poco espesor de pared del caño, lo que obtenía no quedaba lo suficientemente seguro para su manipulación. Probé luego con unos tubos de bronce, prensándolos al caño con una junta de goma, pero tampoco quedaba lo suficientemente firme y a veces costaba hacer que no perdieran. Por último y tras muchos intentos, se me ocurrió utilizar los picos de auto que se usan en las llantas para cubiertas sin cámara. Estos tienen una base de goma, los que serían presionados al caño con un suncho perforado y tensado con un bulón a modo de abrazadera. Esta conexión quedó muy segura, bien presentada y logré una manera fácil y cómoda de cambiar el conector en caso de rotura.

La forma de instalarlo sería la siguiente: se hace una pequeña perforación de 2mm al caño, sobre la que se coloca el pico con la parte de goma centrado en la perforación y pasando por el centro fleje. Se coloca el bulón, se centra en la perforación y se lo ajusta, de manera que presione la goma al caño para evitar pérdidas. Además al ser

el pico roscado, puede ser fácil de instalar una conexión al mismo. En estas roscas se instalaron válvulas plásticas, en las que se pueden insertar a presión las mangueras de los sensores para tomar mediciones.



Figura 35



Figura 36



Figura 37



Figura 38

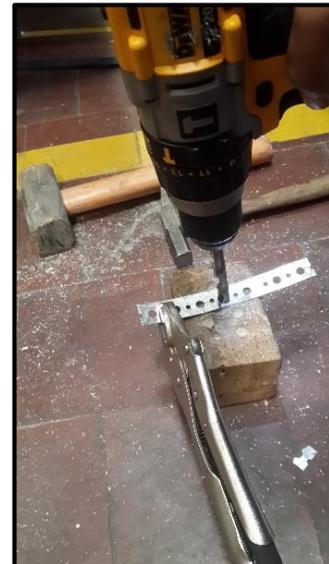


Figura 39



Figura 40



Figura 41

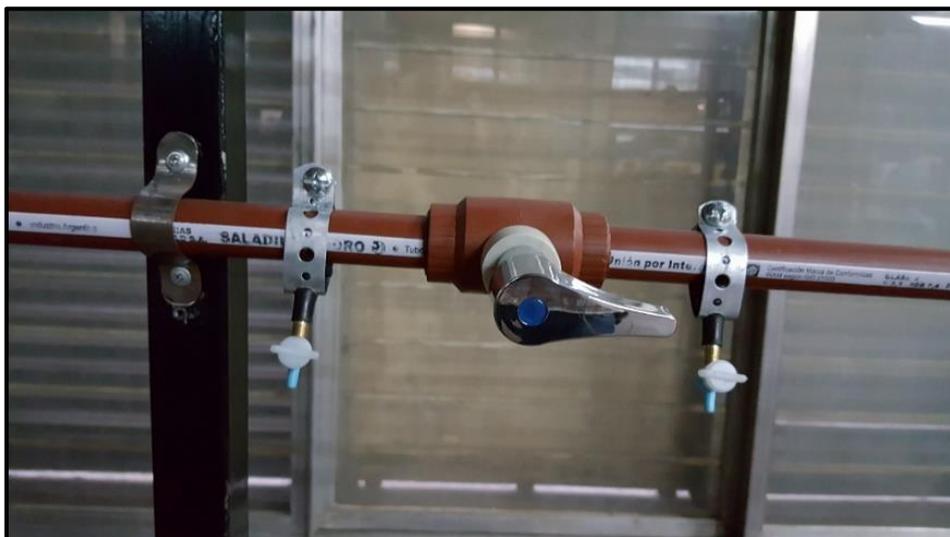


Figura 42

Las conexiones de los puntos de toma de presión se instalaron en los tramos rectos, exactamente distanciados a 100 cm (1 m). En los accesorios se ubicaron a 10 cm del eje de las piezas. Esta medida se tomó, ya que tras averiguaciones hallamos sugerencias de instalarlas a no menos de 3 diámetros de las particularidades, para evitar la turbulencia de las mismas. Al instalarlos a 10 cm y teniendo el caño un diámetro interno de 19,1mm, nos pareció una medida cómoda para cálculos posteriores y además alejado de la influencia del accesorio.

Al tanque intermediario donde tomaríamos las mediciones de caudal en forma volumétrica, se le colocó adosado una manguera cristal conectada en el interior del mismo y con una regla graduada. Hubo que calibrarlo, para lo que se cerró la válvula esférica inferior y se comenzó a llenar; se tomó como cero de medición aproximadamente el cuarto inferior del recipiente, coincidente con el valor 300 de la regla graduada. Se fueron incorporando de a un litro medidos con una probeta graduada y se dejaron marcados los 5 litros y 10 litros, que se utilizarán después para cronometrar el tiempo necesario para llenar 5 y 10 litros estos volúmenes y poder medir el caudal por medio de la formula, $q = v/t$.



Figura 43



Figura 44

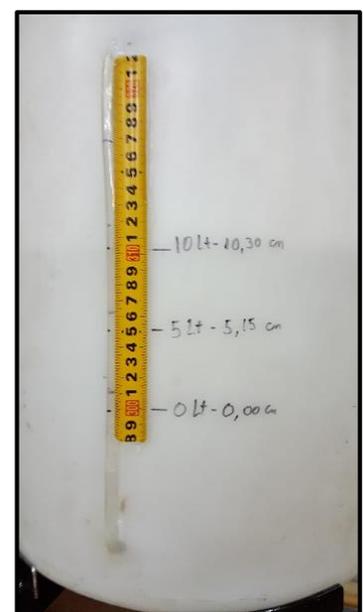


Figura 45

En este punto, ya está el banco listo para ser utilizado por las cátedras para las amplias aplicaciones que fue diseñado y construido.



Figura 46

Para completar y como complemento útil a este banco se entrega junto con el mismo la siguiente documentación:

- Cinco ejemplares de Manual de instalación y características de cañería de polipropileno, para instalaciones sanitarias marca Hidro 3 (la utilizada en el banco de pruebas), de la Fábrica Saladillo S.A.
- Tres Ejemplaras de Manual Técnico de cañería de polipropileno Cloacal, para instalaciones de desagüe y cloacal marca Awaduct, de la Fábrica Saladillo S.A.
- Dos Ejemplares de Catálogo completo de Productos de la Fábrica Saladillo S.A.



Figura 47



Figura 48



Figura 49

Como también se agrega como elemento didáctico y de historia. Distintas muestras de materiales usados anteriores al Polipropileno, como así también accesorios fusionados con un corte para poder apreciar la unión química en el proceso de unión.

Elemento entregados:

- Cuatro accesorios de Hidro 3 Fusionados con costes longitudinales en la uniones
- Dos tramos de caño galvanizado extraídos de una remodelación donde se puede observar el grado de deterioro y la gran cantidad de incrustaciones que presenta en sus paredes internas.
- Dos tramos de caño de plomo extraídos de una remodelación donde se observa no que tiene incrustaciones pero que con el uso se gasta y disminuye el espesor de sus paredes.



Figura 50

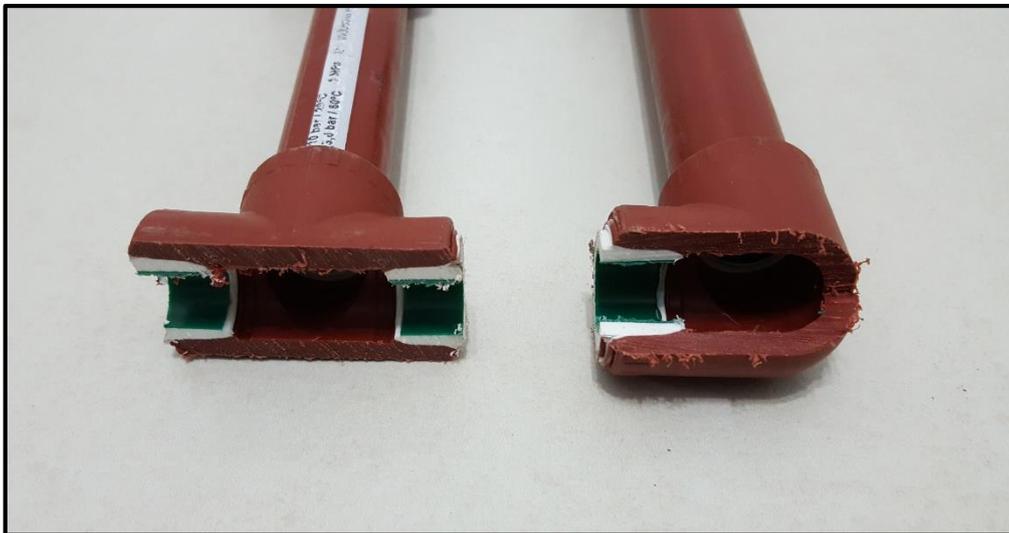


Figura 51



Figura 52



Figura 53



Figura 54

CAPÍTULO 9: GESTIÓN DE DONACIONES

A los fines de poder construir el banco de trabajo se trató de conseguir donaciones de algunos los materiales.

Nos pusimos en contacto con la representante de esta fábrica Saladillo en Córdoba, la que fabrica los caños Hidro 3 que necesitábamos para el banco de pruebas. Hicimos algunas llamadas para que nos informaran acerca de cómo teníamos que manejarnos para solicitar a fábrica dicha donación o aporte de algunos de los materiales necesarios para el proyecto. Nos comentaron que debíamos mandar una nota firmada por la facultad, solicitando dicha donación a Buenos Aires, la cual sería evaluada y respondida. Pero nos desalentó diciendo que iba a demorar mucho y además era muy difícil que fuera positiva la respuesta, ya que la fábrica no acostumbraba a hacer ese tipo de donaciones. Por esto nos vimos obligados a prescindir de esa ayuda y fue ahí que la Empresa FBC Empresa de conexiones srl, se comprometió a ayudarnos en todo lo que nos hiciera falta.

Por otra parte se gestionaron por intermedio de la facultad, y gracias al Ing. Martín Gandolfo, la posibilidad de obtener la bomba. Se intentó a través de distintos medios: De la empresa Agua luc srl, por medio del Sr. Oscar Oliva, dueño de la misma, se consiguió la donación de la bomba que está instalada hoy en el banco. Una trifásica con cuerpo de acero inoxidable marca Lowara modelo CEA70/3/A. Más tarde, cuando el banco ya estaba terminado se planteó agregar otra bomba para poder hacerlas funcionar en paralelo, pero ya con la bomba instalada obtenemos una presión de 2kg en la cañería, por lo que si instalábamos otra bomba corríamos el riesgo de romper los sensores que están preparados para trabajar con ese límite de presión.

CAPÍTULO 10: COLABORACIONES CON LA CÁTEDRA DE FENOMENO DE TRANSPORTE Y PARTICIPACION EN DICTADO DE LABORATORIO

Luego de haber colaborado con el dictado del Laboratorio de Pérdidas de Cargas con dos grupos el día 06 de octubre de 2014; y con otros dos grupos el 28 de septiembre de 2015 y 07 de octubre de 2015, logramos entender la metodología de trabajo y la forma en que los alumnos podrían interactuar con el banco para que sea más interactivo y para que puedan ser ellos los que realicen el práctico, y así entender mejor el fenómeno de pérdida de carga por fricción en tuberías a presión, como así también en accesorios



Figura 55



Figura 56

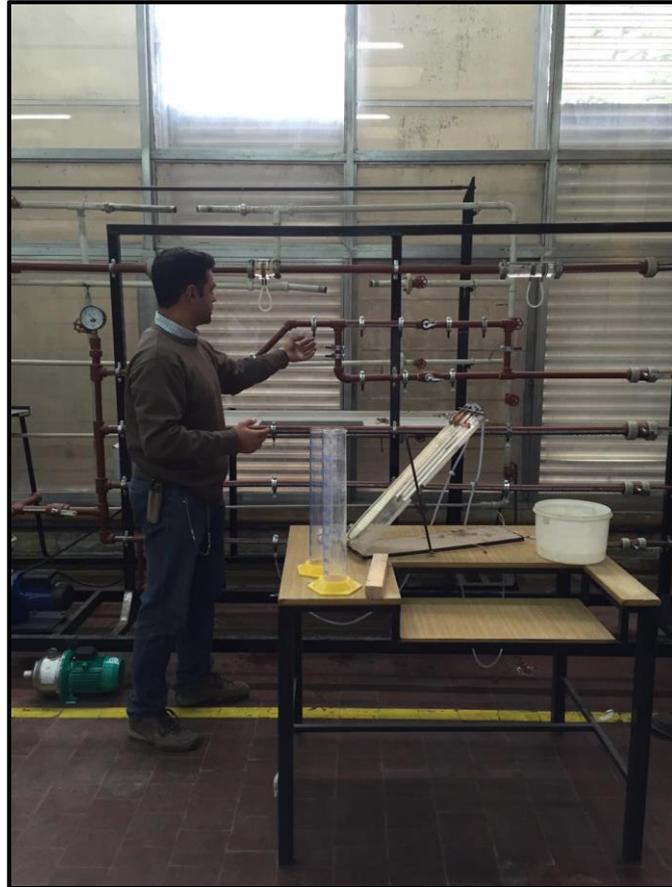


Figura 57

Tras haber Colaborado con el dictado de los laboratorios en los años 2014 y 2015, en el año 2016 estuve a cargo de adecuar la guía de laboratorio de pérdidas por fricción en cañerías y accesorios. Además, se le hicieron algunas correcciones y se le agregaron algunas tablas para que los alumnos puedan tener como base para la toma de datos durante el laboratorio. Se le agregaron Tablas de pérdidas por fricción teóricas en accesorios.

En el año 2016 también estuve colaborando con el dictado del práctico que se llevó a cabo con la nueva guía. En este práctico se le mostró a los alumnos cómo funciona el nuevo programa Capstone de la fábrica Pasco. Dicho software es el que provee la fábrica Pasco de los sensores Passport, que son con los que se trabajaba en el laboratorio tomando presiones absolutas y diferenciales para medir las pérdidas de cargas en accesorios y en tramos de cañerías.

Se adjunta print de pantalla de programa durante uno de los laboratorios dictados:

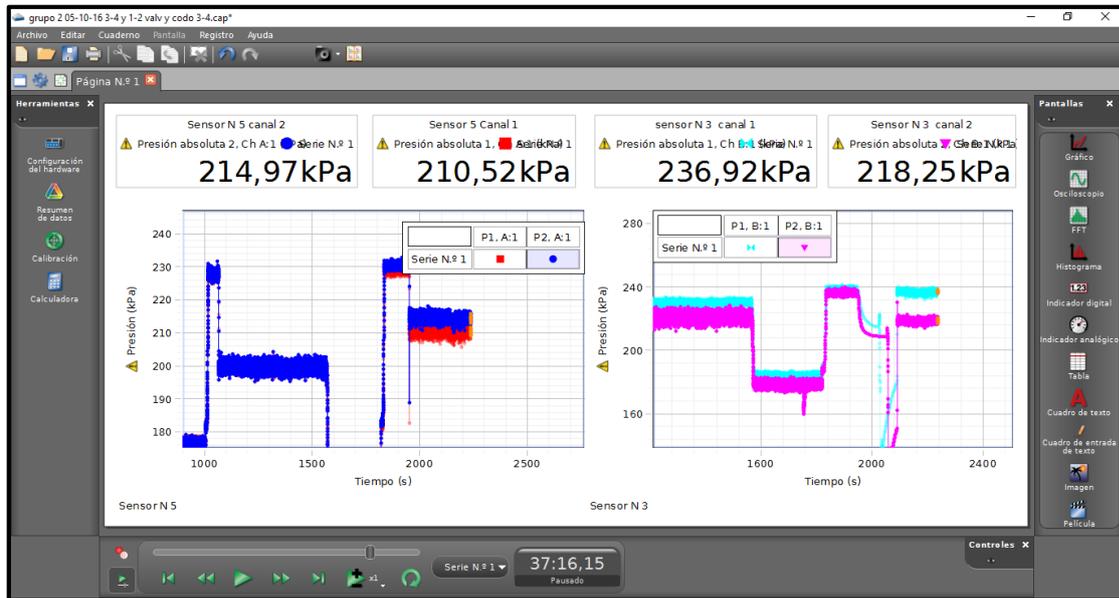


Figura 58

CAPÍTULO 11: GUÍA DE LABORATORIO EDICIÓN 2016 DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN TUBERIAS Y ACCESORIOS.

Se actualizó la Guía de Laboratorio para acondicionarla al nuevo banco de trabajo, con la colaboración de la Ing. Estela Reyna, ya que el mismo cuenta con materiales distintos al anterior:

- Se le agregaron tablas con los coeficientes de fricción para distintos materiales para las fórmulas de Darcy – Weisbach y la de Hazen – Williams.
- Se incorporaron planillas con las especificaciones de la cañería utilizada, marca Hidro 3.
- Se adicionaron planillas modelo para que a los alumnos les resulte más sencillo registrar las lecturas durante el práctico.
- Se insertaron fotografías del nuevo banco y accesorios adicionales que se le incorporaron.

A continuación se adjunta el laboratorio de pérdidas por fricción en tuberías y accesorios, como muestra del resultado final de dicha guía:

GUIA DE LABORATORIO: PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS 2016

INDICE

1 INTRODUCCIÓN

1.2- PÉRDIDAS DE ENERGÍA MECÁNICA. FACTORES DE FRICCIÓN

1.3- CÁLCULO DE FACTORES DE FRICCIÓN

1.3.1- Cálculo De Pérdidas En Cañeríascon

La Ecuación De Darcy - Weisbach

1.3.2- Cálculo De Pérdidas En Cañerías Con

La Ecuación De Hazen Williams

1.4- PÉRDIDAS MENORES DE ENERGÍA MECÁNICA

1.4.1 Pérdida de energía:

1.4.2 Coefficiente de Resistencia:

Dilatación súbita

Pérdida de Salida

Dilatación Gradual

Contracción Súbita

Contracción Gradual

Pérdida de entrada

1.4.3 Coefficientes de Resistencia para Válvulas y Uniones (codos, tes, reductores, boquillas y orificios)

2 OBJETIVOS

3 MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 MATERIAL

3.2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5 NOMENCLATURA

6 BIBLIOGRAFÍA

LABORATORIO: PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS

Cátedra Fenómenos de Transporte

Motivación

Una de las tareas más frecuentes del ingeniero en la industria es la de seleccionar el equipo adecuado a los propósitos de la empresa. Esto incluye innovaciones y sustituciones. Por ejemplo, se requiere decidir el diámetro de una tubería para llenar un tanque de almacenamiento en un determinado tiempo, con el fluido que se encuentra en un tanque elevado, situado a 1 Km de distancia y 30 m arriba del nivel del tanque receptor.

Preguntas disparadoras

¿Qué elementos debería conocer del sistema a diseñar? ¿Qué parámetros debería conocer de la tubería? ¿Cómo podrían determinar esos parámetros?

1 INTRODUCCIÓN

El problema fundamental que se presenta al estudiar el flujo de fluidos por el interior de tuberías es conocer y encontrar las ecuaciones que relacionen la pérdida de carga que experimenta el fluido a través de la tubería, con el flujo y con las propiedades del fluido, así como con las características y dimensiones de la tubería. Una vez conocidas estas relaciones, mediante los balances de materia y energía, es posible calcular la potencia necesaria para el transporte del fluido considerado a través de las tuberías.

Al aplicar un balance de energía mecánica al sistema entre los puntos 1 y 2 de un tubo de corriente (estando el punto 1 aguas arriba y el 2 aguas abajo), se obtiene la conocida *ecuación de Bernouilli* con pérdidas y ganancias:

$$\left(\frac{v_1^2 \alpha}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 \right) + \text{ganancias} - \text{pérdidas} = \left(\frac{v_2^2 \alpha}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 \right) \quad (1)$$

$$\left((z_1 - z_2) + \frac{(p_1 - p_2)}{\gamma} + \frac{(v_1^2 - v_2^2) \alpha}{2g} \right) + h_A - h_R - h_L = 0 \quad (2)$$

El primer término es la diferencia de energía potencial entre los puntos 1 y 2, debida a la diferente altura existente entre estos puntos.

El segundo término, representa la diferencia de presión existente entre los puntos de entrada y salida del fluido.

El tercero es el término cinético y representa la diferencia de energía cinética existente entre los citados puntos; v es la velocidad media, mientras que el parámetro α del término cinético depende del régimen de circulación y del comportamiento reológico del fluido. La velocidad media de circulación del fluido a través de una sección de la tubería se obtiene a partir de la expresión:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

siendo

Q: caudal volumétrico

A: Sección de paso de la tubería

El término h_A representa la energía aportada por la bomba para que el mismo pueda ser transportado con el caudal requerido.

El término h_R representa la energía removida o retirada del fluido mediante un dispositivo mecánico como podría ser una turbina.

El término h_L representa las pérdidas de energía mecánica que experimenta el fluido debido a las turbulencias y al rozamiento con las paredes de la tubería y todos los accesorios presentes en la instalación de transporte.

A partir de la ecuación (2) se pueden obtener los valores correspondientes a aquellas incógnitas planteadas en un sistema de transporte, tales como la potencia necesaria para que el fluido circule de un punto a otro, la altura necesaria para que un fluido sea descargado en algún punto de interés cuando no se dispone de una bomba, el flujo volumétrico de circulación, la presión necesaria en la entrada del sistema, la presión de descarga del sistema, las pérdidas de energía mecánica por fricción a través de los diferentes accesorios y de la tubería misma.

1.2- PÉRDIDAS DE ENERGÍA MECÁNICA. FACTORES DE FRICCIÓN

Las pérdidas de energía mecánica o pérdidas de carga h_L que se producen en el transporte de fluidos a través de una tubería, debidas a turbulencias y al rozamiento entre el fluido y la pared de la tubería, pueden ser evaluadas mediante la *ecuación de Bernouilli*, lo que no representa mayor grado de dificultad una vez que se conocen los demás términos.

Otra forma de evaluar dichas pérdidas de energía mecánica es a partir de las propiedades del fluido y de las características de la tubería, utilizando el denominado factor de fricción.

La fuerza:

$$F_K = A_{\text{contacto}} \cdot E_{\text{cinética}} \cdot f_F = \pi DL \cdot \frac{1}{2} \rho \langle v \rangle^2 \cdot f_F \quad (4)$$

Al ejercer dicha fuerza F_k el fluido pierde energía. Esa energía puede ser expresada en términos de altura (h_L) multiplicando (4) por $Cte \frac{1}{\rho g} = \frac{4}{\rho g D^2 \pi}$ encontrando:

$$h_L = F_k \left(\frac{4}{\pi \rho g D^2} \right) = (4f_F) \frac{L \langle v \rangle^2}{D 2g} \quad (5)$$

o teniendo en cuenta otras definiciones

$$4f_F = f_D = f \quad (6)$$

1.3- CÁLCULO DE FACTORES DE FRICCIÓN

1.3.1- CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN CAÑERÍAS CON LA ECUACIÓN DE DARCY - WEISBACH

Vimos que la fuerza que ejerce un fluido sobre la tubería que lo conduce se puede encontrar

$$h_L = f_D \frac{L \langle v \rangle^2}{D 2g} \quad (7)$$

Ecuación de Darcy-Weisbach, donde:

$$h_L = \text{pérdida de energía debido a la fricción} \left[\frac{\text{N.m}}{\text{N}} \right], [\text{m}], \left[\frac{\text{lb.pie}}{\text{lb}} \right], [\text{pies}]$$

$$L = \text{longitud de la corriente de flujo} [\text{m}], [\text{pie}]$$

$$D = \text{Diámetro del conducto} [\text{m}], [\text{pie}]$$

$$v = \text{velocidad de flujo promedio} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right], \left[\frac{\text{pie}}{\text{s}} \right]$$

Así, la pérdida de energía debido a la fricción h_L en un tramo de tubería recta se puede calcular con la *ecuación de Darcy*.

El factor de fricción es función del número de Reynolds y de la rugosidad absoluta (ϵ) de la tubería. Esta rugosidad es un parámetro que depende del tipo y características del material de la tubería, y está ligado a la altura y forma de las protuberancias internas de ella. Las unidades de la rugosidad son de longitud. Para tubos muy lisos como pueden ser los de vidrio y plásticos, la rugosidad se puede considerar cero.

Dependiendo del tipo de fluido y del régimen de flujo, existen diferentes ecuaciones y diagramas que permiten calcular el valor del factor de fricción.

En la siguiente tabla se muestran algunos valores de rugosidad absoluta para distintos materiales:

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

Fluidos newtonianos

Un modo práctico de calcular el factor de fricción, es a partir del diagrama de Moody en el que este factor (f_D) es función del módulo de Reynolds (Re) y de la rugosidad relativa (ϵ/D). Este diagrama permite el cálculo del factor de fricción, tanto en régimen laminar como turbulento, así como en el de transición.

Flujo Laminar

En fluidos newtonianos, para valores del módulo de Reynolds inferiores a 2.000 se considera que el flujo es laminar. Cuando se tiene un flujo laminar, el fluido parece desplazarse en forma de varias capas, una sobre otra. Debido a la viscosidad del fluido, se crea una tensión de corte entre las capas del fluido. La energía del fluido se pierde mediante la acción de vencer las fuerzas de fricción producidas por la tensión de corte. Puesto que el flujo laminar es tan regular y ordenado, derivamos una relación entre la pérdida de energía y los parámetros medibles del sistema de flujo: la *ecuación de Hagen-Poiseuille*:

$$Q = \frac{\pi(P_0 - P_L)R^4}{8\mu L} \quad \text{y} \quad \langle v \rangle = \frac{(P_0 - P_L)R^2}{8\mu L} \quad (8)$$

Igualando con la *ecuación de Darcy* (7), con $R=2D$ se despeja el valor del factor de fricción

$$f = \frac{64}{Re}, \quad \text{con} \quad Re = \frac{\rho D v}{\mu} \quad (9)$$

Se puede observar en el diagrama de Moody que para valores del número de Reynolds menores que 2.000, la variación de f con Re es lineal, lo que está en concordancia con la ecuación anterior.

Flujo en zona de transición

Para $2000 < Re < 4000$ el flujo se encuentra en zona crítica. Esta zona de transición se encuentra entre la zona de completa turbulencia y la línea que se identifica como conductos lisos. La *ecuación de la línea de conductos lisos* es

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \left(\frac{Re \sqrt{f}}{2,51} \right)$$

Siendo lisos, estos conductos no presentan irregularidades superficiales al flujo, de modo que el factor de fricción sólo es función del número de Reynolds.

Una de las ecuaciones más utilizadas para tubos rugosos en la zona de transición es la *ecuación de C. F. Colebrook*, donde el factor de fricción es función tanto del número de Reynolds como de la rugosidad relativa:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{1}{3,7} \frac{\varepsilon}{D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right]$$

Zona de completa turbulencia

Para $Re > 4000$, se considera que el flujo es turbulento. En el caso que el fluido circule en turbulencia completa, se puede observar (Diagrama de Moody) que el valor de f no depende

del Re sino sólo de la rugosidad relativa (D/ε). El segundo sumando del término logarítmico es despreciable con respecto al primero, obteniéndose una nueva ecuación, la *ecuación de Nikuradse*:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \left[3,7 \frac{D}{\varepsilon} \right]$$

En la zona de frontera de la zona de turbulencia y zona de transición, la ecuación de esta línea es

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{R_e}{200} \left(\frac{D}{\varepsilon} \right)$$

Ecuación explícita del factor de fricción en zona turbulenta: La *ecuación de P.K. Swamee y A.K. Jain*, permite el cálculo directo del factor de fricción.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{1}{3,7} \left(\frac{D}{\varepsilon} \right) + \frac{5,74}{R_e^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Produce valores para f que se encuentran entre un $\pm 1,0\%$ del valor de los correspondientes a la ecuación de Colebrook, dentro del intervalo de rugosidad relativa, D/ε , comprendido entre 1.000 y $1 \cdot 10^6$, y para números de Reynolds que van de $5 \cdot 10^3$ hasta $1 \cdot 10^8$. Ésta es virtualmente la zona de turbulencia completa del diagrama de Moody.

Se presenta a continuación una Tabla resumen del cálculo de los factores de fricción

<i>Factor de fricción para distintos tipos de flujo</i>		
Tipo de Flujo	Re	f (factor de Fricción)
Flujo laminar	$R_e \leq 2.000$	$f = \frac{64}{R_e}$
Flujo en zona crítica	$2.000 \geq R_e \leq 4.000$	
Flujo turbulento	$R_e \geq 4.000$	<p><i>Ecuación de P.K. Swamee y A.K. Jain. Para $1.000 > D/\varepsilon < 10^6$, y para $5 \cdot 10^3 < R_e < 10^8$</i></p> $f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{R_e^{0,9}} \right) \right]^2}$
Flujo en zona de transición	$R_e \geq 4.000$	<p><i>ecuación de la línea de conductos lisos</i></p> $\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \left[3,7 \frac{D}{\varepsilon} \right]$ <p><i>ecuación de C. F. Colebrook</i></p> $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{1}{3,7} \frac{\varepsilon}{D} + \frac{2,51}{R_e \sqrt{f}} \right]$
Flujo en zona de completa turbulencia	$R_e \geq 4.000$	<p><i>ecuación de Nikuradse</i></p> $\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \left[3,7 \frac{D}{\varepsilon} \right]$ <p><i>Ecuación de la zona de frontera de la zona de turbulencia y zona de transición</i></p> $\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{R_e}{200 \left(\frac{D}{\varepsilon} \right)}$

1.3.2- CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN CAÑERÍAS CON LA ECUACIÓN DE HAZEN WILLIAMS

Fórmula de Hazen Williams para flujo de agua

Para el caso de flujo de agua en un sistema de tuberías, es conveniente tener un planteamiento alternativo. La *fórmula de Hazen Williams para flujo de agua* es una de las más populares para el diseño y análisis de sistemas de agua. Su uso está limitado al flujo en conductos mayores de 2 pulg y menores de 6 pies de diámetro. La velocidad de flujo no debe exceder los 10 pies/s. Fue desarrollada para agua a 60°F. El tratamiento a temperaturas mucho menores o mayores podría dar como resultado algún error.

En el sistema Británico de unidades toma la forma:

$$v = 1,32 C_h R^{0,63} S^{0,54} \Rightarrow h_L = L \left[\frac{Q}{1,32 \cdot A \cdot C_h \cdot R^{0,63}} \right]^{1,85}$$

v = velocidad promedio de flujo en (pies/s)

C_h = Coeficiente de *Hazen Williams* (sin dimensiones)

R =Radio hidráulico del conducto del flujo (pie)

s =Cociente h_L/L : pérdida de energía entre la longitud del conducto (pie/pie)

En el SI de unidades toma la forma:

$$v = 0,85 C_h R^{0,63} S^{0,54} \Rightarrow h_L = L \left[\frac{Q}{0,85 \cdot A \cdot C_h \cdot R^{0,63}} \right]^{1,85}$$

v = velocidad promedio de flujo en (m/s)

C_h = Coeficiente de *Hazen Williams* (sin dimensiones)

R =Radio hidráulico del conducto del flujo (m)

s =Cociente h_L/L : pérdida de energía entre la longitud del conducto (m/m)

Fórmula de Hazen Williams para flujo de agua

En sistema Británico de unidades

$$v = 1,32 C_h R^{0,63} S^{0,54} \Rightarrow h_L = L \left[\frac{Q}{1,32.A.C_h.R^{0,63}} \right]^{1,85}$$

En SI de unidades

$$v = 0,85 C_h R^{0,63} S^{0,54} \Rightarrow h_L = L \left[\frac{Q}{0,85.A.C_h.R^{0,63}} \right]^{1,85}$$

Se presenta a continuación una tabla de valores del coeficiente de Hazen Williams

COEFICIENTE DE HAZEN-WILLIAMS PARA ALGUNOS MATERIALES			
Material	C	Material	C
Asbesto cemento	140	Hierro galvanizado	120
Latón	130-140	Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100	Plomo	130-140
Hierro fundido, nuevo	130	Plástico (PE, PVC)	140-150
Hierro fundido, 10 años de edad	107-113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89-100	Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años de edad	75-90	Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad	64-83	Acero rolado	110
Concreto	120-140	Lata	130
Cobre	130-140	Madera	120
Hierro dúctil	120	Hormigón	120-140

1.4- PÉRDIDAS MENORES DE ENERGÍA MECÁNICA

Hasta ahora sólo se ha analizado el modo de calcular las pérdidas de energía mecánica para tramos rectos de tuberías. Sin embargo, en todas ellas aparecen una serie de elementos, conocidos como accesorios, que provocan pérdidas de energía mecánica adicionales, las cuales se conocen como pérdidas menores. Estas pérdidas son debidas a ensanchamientos y estrechamientos en la tubería, presencia de válvulas, aparatos de medición, así como a cambios en la dirección del fluido, debidos generalmente a codos, tes y cruces. En general, las pérdidas debidas a cada uno de estos elementos son pequeñas e inclusive podrían despreciarse, pero en tuberías que contengan un número considerable de estos accesorios, dichas pérdidas pueden llegar a ser importantes.

1.4.1 Pérdida de energía:

Las pérdidas de energía son proporcionales a la altura de velocidad del fluido al fluir éste alrededor de un codo, a través de una dilatación o contracción de la sección de flujo, o a través de una válvula. Los valores experimentales de pérdidas de energía generalmente se calculan en términos de un coeficiente de resistencia K:

$$h_L = K \cdot \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (10)$$

Donde h_L : es la pérdida menor

K : es el coeficiente de resistencia (adimensional)

v: es la velocidad de flujo media en el conducto en la vecindad donde se presenta la pérdida menor.

1.4.2 Coeficiente de Resistencia:

Este coeficiente de resistencia se encuentra tabulado o en gráficos para:

Dilatación súbita

$$h_L = K \cdot \left(\frac{v_1^2}{2g} \right)$$

Donde : v_1 : es la velocidad de flujo media en el conducto menor que está delante de la dilatación y la pérdida y el coeficiente K; depende de la proporción de los tamaños de los conductos como de la velocidad de flujo.

$$K=f(D_2/D_1, v_1)$$

Pérdida de Salida

Pérdida de salida al fluir el fluido de un conducto hacia un gran depósito o tanque estático.

En este caso el valor de $K=1$

La energía cinética que el fluido poseía en el conducto, se disipa.

Dilatación Gradual

Si la transición de un conducto menor a uno mayor puede hacerse menos abrupta que la dilatación súbita de bordes cuadrados, la pérdida de energía se reduce. Esto se hace normalmente colocando una sección cónica entre los dos conductos

La pérdida se calcula:

$$h_L = K \cdot \left(\frac{v_1^2}{2g} \right)$$

Donde : v_1 : es la velocidad de flujo media en el conducto menor que está delante de la dilatación y la pérdida y el coeficiente K ; depende de la proporción de los tamaños de los conductos, y del ángulo del cono ϕ

$$K=f(D_2/D_1, \phi)$$

Contracción Súbita

La pérdida de energía debido a una contracción súbita se calcula:

$$h_L = K \cdot \left(\frac{v_2^2}{2g} \right)$$

Donde v_2 es la velocidad en la corriente hacia aguas abajo del conducto menor a partir de la contracción.

Contracción Gradual

Si la transición de un conducto mayor a uno menor puede hacerse menos abrupta que la contracción súbita de bordes cuadrados, la pérdida de energía se reduce. Esto se hace normalmente colocando una sección cónica entre los dos conductos

La pérdida se calcula:

$$h_L = K \cdot \left(\frac{v_2^2}{2g} \right)$$

Donde : v_2 : es la velocidad en la corriente hacia aguas abajo del conducto menor a partir de la contracción y la pérdida y el coeficiente K; depende de la proporción de los tamaños de los conductos, y del ángulo del cono ϕ

$$K = f(D_2/D_1, \phi)$$

Pérdida de entrada

Un caso especial de una contracción ocurre cuando un fluido fluye desde un depósito o tanque relativamente grande hacia un conducto.

La pérdida de energía se calcula:

$$h_L = K \cdot \left(\frac{v_2^2}{2g} \right)$$

Donde : v_2 es la velocidad de flujo en el conducto

1.4.3 Coeficientes de Resistencia para Válvulas y Uniones (codos, tes, reductores, boquillas y orificios)

La pérdida de energía para flujo de fluidos a través de una válvula o una unión se calcula a partir de la ecuación 8), sin embargo el método utilizado para determinar el coeficiente K es diferente. El valor de K se calcula como:

$$K = (L_e / D) \cdot f_T \quad (11)$$

Donde: (L_e / D) se designa proporción de longitud equivalente (de Tabla) y es constante para un tipo de válvula o unión dada.

L_e se denomina longitud equivalente y es la longitud del conducto recto del mismo diámetro nominal como la válvula que tendría la misma resistencia que ésta.

D diámetro interno real del conducto

f_T : es el factor de fricción en el conducto al cual está conectada la válvula o la unión tomado en la zona de turbulencia completa

La zona de turbulencia completa es donde el factor de fricción es independiente del número de Reynolds.

Algunos diseñadores prefieren calcular la longitud equivalente del conducto para una válvula y combinar este valor con la longitud real del conducto

Es decir, de la ecuación (11)

$$L_e = K.(D / f_T)$$

Esto es válido sólo si el flujo en el conducto está en zona de turbulencia completa.

Conclusión. Existen dos modos de calcular estas pérdidas menores, uno de ellos está basado en la longitud equivalente del accesorio, mientras que el otro utiliza los factores adimensionales de resistencia.

Se entiende por longitud equivalente (L_e) de un accesorio, la longitud de un tramo recto de tubería que provocaría la misma pérdida de energía mecánica. De esta forma, para el cálculo de la pérdida de energía mecánica se utiliza la misma *ecuación de Darcy* (7), sustituyendo la longitud por la equivalente:

El valor de la longitud equivalente de un accesorio puede obtenerse a partir de tablas o nomogramas. En la Tabla 1 se dan valores de L_e/D para diferentes tipos de accesorios. Para fluidos newtonianos que circulan en régimen turbulento es fácil encontrar datos que permitan evaluar las pérdidas menores de energía mecánica, sin embargo, no ocurre así con fluidos no newtonianos que circulan en régimen laminar.

Accesorio	L_e/D
Codo de 45° estándar	15
Codo de 90° estándar	30
Codo de 90° de radio largo	20
Codo de retorno de 180°	75
T estándar	
-utilizada como codo, entrada central	90

-utilizada como codo, entrada por brazo lateral	60
-paso recto	20
Válvula de asiento abierta	300
Válvula de ángulo abierta	170
Válvula de compuerta	
-abierta	7
-1/4 abierta	900
-1/2 abierta	200
-3/4 abierta	40
Entrada ordinaria	16
Entrada borda	30
Entrada redondeada, unión, acoplamiento	despreciable
Ensanchamiento brusco desde d1 a d2 (d1 < d2)	
-flujo laminar en d1	$\frac{R_e}{32} \left[1 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \right]^2$
-flujo turbulento en d1 (f evaluado en d1)	$\frac{f}{4} \left[1 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \right]^2$
Reducción brusca desde d2 a d1 (d2 > d1)	
-flujo laminar en d1	$\frac{R_e}{160} \left[1,25 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \right]^2$
-Flujo turbulento en d1 (f evaluado en d1)	$\frac{f}{10} \left[1,25 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \right]^2$

Tabla de Dimensiones de Cañería

Hidro 3 aluminio		Tuberías para calefacción por radiadores						
Código N°	d mm	dn pulg.	di mm	s mm	Sp cm ²	P kg/m	Vu lt/m	
75	22.8	1/2	14.5	4.1	1.65	0.253	0.165	
76	28.4	3/4	19.1	4.6	2.9	0.345	0.290	
77	34.2	1	23.9	5.1	4.5	0.539	0.450	
78	43.7	1 1/4	30.8	6.5	7.45	0.761	0.745	
79	49.8	1 1/2	35.7	7.0	10	0.969	1.000	
80	61.8	2	45.3	8.2	16.10	1.450	1.610	



Referencias: d: Diámetro exterior - dn: Diámetro nominal - di: Diámetro interior - s: Espesor - Sp: Sección de paso - P: Peso - Vu: Volumen

2 OBJETIVOS

El principal objetivo de la práctica es demostrar que en la circulación de fluidos se producen pérdidas de energía mecánica cuando circulan a través de tuberías. Se pretende encontrar experimentalmente la relación entre el flujo volumétrico y la pérdida de carga, para diversos conductos y accesorios. Se evaluarán las pérdidas de energía en un sistema en el que circulará agua. Se variará el caudal circulante y se compararán las pérdidas de energía medidas con las obtenidas teóricamente con la ecuación de Darcy.

El objetivo es que el alumno:

- Determine experimentalmente las pérdidas de energía debidas a la fricción en tuberías y accesorios.
- Encuentre correlaciones para el factor de fricción en tuberías como función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa.
- Compare los factores de fricción experimentales con los reportados en la literatura.
- Determine la longitud equivalente o el coeficiente de descarga para diversos accesorios.

3 MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 MATERIAL

La instalación experimental es la mostrada en la Figura 1. Esta práctica se realiza en un arreglo de tuberías y accesorios, cuyo manual de funcionamiento puede consultarse en el laboratorio de Aeronáutica de la F.C.E.F. Y N. (U.N.C). En la Figura 1 puede verse que el aparato consta de las siguientes partes principales:

- a) Un tanque de almacenamiento;
- b) Arreglo de tuberías y accesorios alimentados selectivamente desde la bomba, a través de un sistema de válvulas;
- c) Tomas para la medición de la caída de presión en tramos rectos y accesorios;
- d) Tomas para la medición de caudales por medio de caídas de presión en caudalímetros;
- e) Tanque intermediario para medición de caudal volumétricamente;
- f) Mediciones de caudal directo con caudalímetro mecánico;
- g) Manómetro de presión.



Figura 1: Tanque y bomba de impulsión

En el sistema se encuentran cuatro caudalímetros:

- a) Caudalímetro de Tubo de Venturi (Figura 2);
- b) Caudalímetro de Placa con Orificio(Figura 3);
- c) Caudalímetro mecánico como el usado por Aguas Cordobesas (Figura 4);
- d) Un recipiente Graduado con válvula inferior para medir caudal volumétricamente. (Figura 5)

También cuenta con tres medidores de presión:

- a) Manómetro mecánico de 0 a 4 Kg/m² (Figura 6)
- b) Manómetro diferencial de mercurio (Figura 7)
- c) Sensor de presión diferencial Pasco (Figura 8)



Figura 2: Caudalímetro de Tubo de Venturi

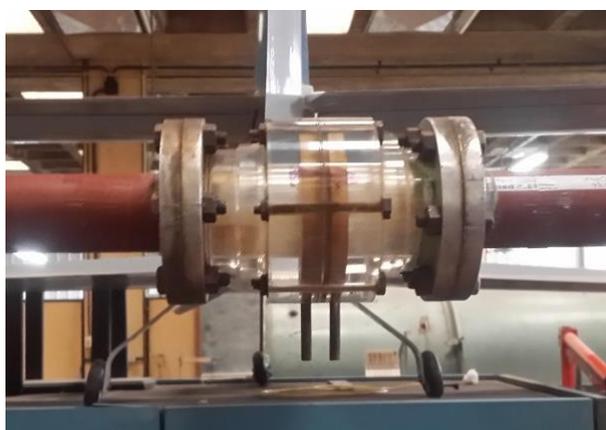


Figura 3: Caudalímetro de Placa con Orificio



Figura 4: Caudalímetro mecánico

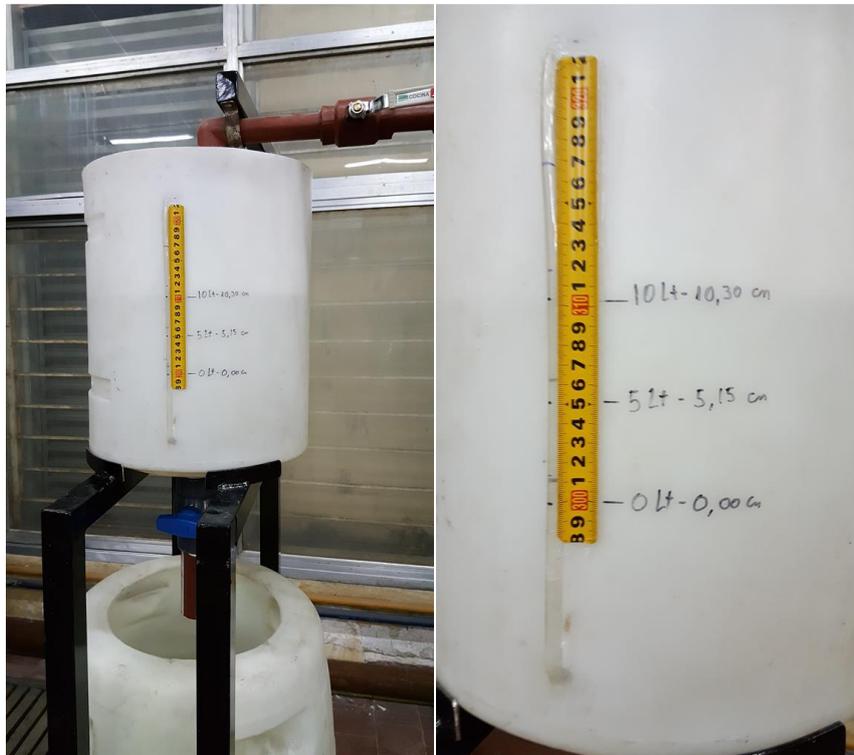


Figura 5: Recipiente Graduado para medición de Caudal

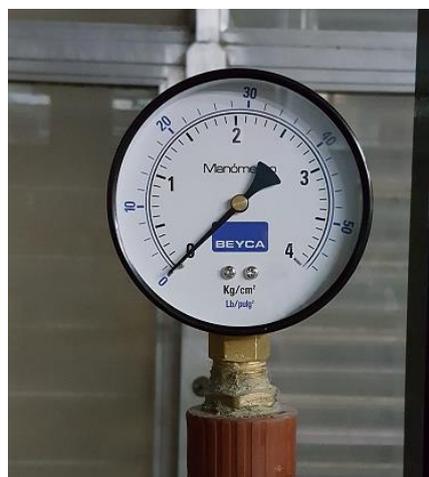


Figura 6: Manometro mecánico



Figura 7: Manómetro diferencial de mercurio

Además se cuentan con medidores de caída de presión diferencial Passport como se muestran en la Figura 8.



Figura 8: sensores de presión diferencial

3.2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Se abren todas las válvulas de paso del circuito y se enciende la bomba. Parte del aire en el circuito resulta evacuado en esta operación.
2. Se cierran las válvulas para cancelar el flujo por todas las tuberías, excepto una, empezando por mantener el flujo en la tubería inferior, luego en las intermedias y finalmente en la superior. En esta operación el aire remanente en las tuberías debe ser completamente evacuado. Las válvulas de purga de aire pueden auxiliar también en esta operación.
3. Conectar las tomas de presión a un accesorio o tubo que se desee inspeccionar y hacer las mediciones correspondientes (con los sensores Passport) para diversos flujos volumétricos, midiendo los flujos volumétricos mediante los caudalímetros.

Nota: Los caudalímetros instalados en el equipo son del tipo que miden el caudal mediante la caída de presión que provoca un dispositivo a través del cual circula la corriente. La ecuación general de estos aparatos es de la forma:

$$Q = K\sqrt{\Delta P}$$

* Cálculo del caudal mediante el Caudalímetro de Tubo de Venturi:

El efecto Venturi se explica por el Principio de Bernoulli y el principio de continuidad de masa: un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado es obligado a atravesar un tubo estrecho con posterior ensanchamiento de la conducción al mismo diámetro que la tubería principal (tanto en la entrada como en la salida del tubo, el cambio de sección se produce de manera gradual); si el caudal de un fluido es constante pero la sección disminuye, necesariamente la velocidad aumenta tras atravesar dicha garganta con una correspondiente disminución de la presión. De esta manera con un manómetro se puede medir la caída de presión y calcular el caudal instantáneo.

Para el intervalo de $4.500 \leq R_e \leq 35.000$ que corresponde al de los caudales con que puede trabajar el equipo, y la calibración fue realizada a temperatura ambiente de 12,5 °C y temperatura del agua de 12°C

$$Q = \frac{\sqrt{\Delta p}}{3,81 \cdot 10^4 - 6,35 \cdot 10^{-2} \sqrt{\Delta p}}$$

Siendo:

ΔP caída de presión (Kgf/m²)

Q: caudal circulante (m^3/s)

* Cálculo del caudal mediante el Caudalímetro de Placa con orificio:

Para el intervalo de $4.500 \leq R_e \leq 35.000$ que corresponde al de los caudales con que puede trabajar el equipo, y la calibración fue realizada a temperatura ambiente de 13°C y temperatura del agua de 12°C

$$Q = 1,9482 \cdot 10^{-5} \sqrt{\Delta p}$$

Siendo:

ΔP caída de presión (Kgf/m^2)

Q: caudal circulante (m^3/s)

Los caudales deberían estar comprendidos entre $12 \text{ l}/\text{min}$ ($0.0002 \text{ m}^3/\text{s}$) $< Q < 72 \text{ l}/\text{min}$ ($0.0012 \text{ m}^3/\text{s}$) aproximadamente.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- a) Para cada serie experimental anotar los ΔP o ΔL en los caudalímetro y calcular los caudales volumétricos.
- b) Comparar los Caudales obtenidos con los distintos métodos. Comentar causa de posibles diferencias
- c) Con el diámetro interno obtener la velocidad de circulación.
- d) Anotar los ΔP experimentales y calcular las pérdidas de energía ($h_{L, \text{experimental}}$ y $f_{\text{experimental}}$) en el tramo recto seleccionado o accesorio, midiendo con los sensores pasport.
- e) Calcular las pérdidas de energía teóricas ($h_{L, \text{teórica}}$ y $f_{\text{teórica}}$) aplicando la ecuación de Darcy (6).
- f) Graficar las pérdidas de energía ($h_{L, \text{experimental}}$ y $h_{L, \text{teórica}}$ o con $f_{\text{experimental}}$ y $f_{\text{teórica}}$) en función de los caudales, obtenidas en c) y d)
- g) Discutir cómo afecta el caudal de circulación sobre el valor de las pérdidas de energía mecánica.
- h) Discutir cómo afecta el tipo de fluido en las pérdidas de energía mecánica.
- i) Comparar los datos experimentales con los teóricos.

Se sugiere la construcción de una tabla del tipo siguiente:

Mediciones de caudal

Velocidad de la bomba en Hz:

Presión:

Diámetro de cañería:

Medidor de Caudal Volumétrico

Medición	Tiempo a 5 litros	Tiempo a 10 litros
1		
2		
3		

Medidor de Caudal Mecánico

Medición	Tiempo a 5 litros	Tiempo a 10 litros
1		
2		
3		

Medidor de Caudal Placa Orificio

Medición	Angulo indicación Manometor diferencial	H aguas arriba	H aguas abajo
1			
2			
3			

Medidor de Caudal Tubo Venturi

Medición	Angulo inclinación Manómetro diferencial	H aguas arriba	H aguas abajo
1			
2			
3			

Medidor de Caudal Sensores Pasport

Medición	H aguas arriba	H aguas abajo
1		
2		
3		

CÁLCULOS					OTROS	
ΔP_V (1)	Q (2)	$h_{L,experimental}$ (3)	R_e (4)	$f_{experimental}$ (5)	$f_{teórico}$ (6)	$h_{L,teórico}$ (7)

REFERENCIAS

$$v_{\text{Agua}} = \frac{\mu}{\rho} = 1.02 * 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s (Agua a } 20^{\circ}\text{C)} \quad ; \quad L_v \text{ ó } L_{\text{Orif. Cali.}} = \text{desequilibrio de la columna manométrica; } \gamma_{\text{Hg}} = 13.55$$

(1) $\Delta P_v = L_v \sin \alpha \left(\frac{\gamma_{\text{Hg}}}{\gamma_{\text{Agua}}} - 1 \right) \gamma_{\text{Agua}}$ (Venturi u Orificio Calibrado) con α :ángulo de inclinación del manómetro;

(2) de las fórmulas de los caudalímetros

(3) $h_L = \Delta P_{\text{Cañería}} / \gamma_{\text{Agua}} \quad ;$

(4) $R_e = \frac{D v \rho}{\mu} = 4 \frac{Q}{\pi D v_{\text{Agua}}}$;

(5) de la fórmula de Darcy: $f = \frac{1}{8} \left(\frac{h_L}{L} \right) g D^5 \frac{\pi^2}{Q^2}$

(6) con Re y diagrama de Moody ,

(7) de la fórmula de Darcy.

Gráficas sugeridas: R_e vs. h_f , f vs. R_e , Q vs. h_f

5 NOMENCLATURA

h_L = pérdida de energía debido a la fricción $\left[\frac{\text{N.m}}{\text{N}} \right]$, [m], $\left[\frac{\text{lb.pie}}{\text{lb}} \right]$, [pies]

L = longitud de la corriente de flujo [m], [pie]

D = Diámetro del conducto [m], [pie]

v = velocidad de flujo promedio $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$, $\left[\frac{\text{pie}}{\text{s}} \right]$

f = factor de fricción (adimensional)

v = velocidad promedio de flujo en (pies/s)

C_h = Coeficiente de *Hazen Williams* (sin dimensiones)

R = Radio hidráulico del conducto del flujo (pie)

s = Cociente h_L/L : pérdida de energía entre la longitud del conducto (pie/pie)

ΔP = caída de presión (Kgf/m²)

Q: caudal circulante (m³/s)

A₀: sección del orificio m²

6 BIBLIOGRAFÍA

Armfield, 1997. Fluid Friction Apparatus. Instructivo No. C6.

Crane, Co. 1986. Flow of Fluids Through Valves, Fittings, and Pipe. Technical Paper No. 410M.

Foust, AS., Wenzel, L.A, Clump, C.W., Maus, L. y Andersen, L.B. 1961. Principios de Operaciones Unitarias, C.E.C.S.A

Mott; Robert, 1996. Mecánica de Fluidos Aplicada. Prentice Hall.

Perry, R.H., Green, D.W. y Maloney, J.O., Manual del Ingeniero Químico. Mc. Graw Hill

[http://www.miliarium.com/Prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PerdidaCarga.asp#Hazen-Williams_\(1905\)](http://www.miliarium.com/Prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PerdidaCarga.asp#Hazen-Williams_(1905))

CAPÍTULO 12: PRÁCTICO DE LABORATORIO – 5 DE OCTUBRE DE 2016

Se probó todo el instrumental una semana antes del laboratorio; se hizo funcionar todo el circuito y se tomaron lecturas. Se utilizaron los sensores PASCO para tomar lecturas de presiones, corroborando que estuvieran bien las conexiones y el nuevo software “CAPSTONE” esté instalado y funcionando correctamente.

Se hizo una prueba el día anterior y se verificó que todos los elementos para el práctico del día siguiente estuvieran completos y en funcionamiento.

Se habló con el encargado del Laboratorio de Aeronáutica, José Bustamante, para avisar del horario del práctico y asegurarnos que estuviera abierto y que las prolongaciones trifásicas estén disponibles al día siguiente. Siempre, José Bustamante, nos atendió y colaboró con gran disposición con todo lo disponible a su alcance.

El día 5 de Octubre de 2016 se llevó a cabo la explicación del trabajo práctico a 3 grupos de entre 15 y 20 alumnos cada uno. El mismo estuvo supervisado por la Ing. Noelia Alasino y el Ing. Nicolás Gañan.

El práctico tuvo resultados satisfactorios y con ciertos aspectos a destacar:

- Gran dinamismo e interés por parte de los alumnos.
- Tuvieron oportunidad de tomar mediciones por ellos mismos y manipular el banco.
- El Banco como el instrumental funcionaron correctamente.
- Se les mostró como trabajar con los sensores PASCO y con el software CAPSTONE.
- Estuvieron atentos a la explicación y sorprendidos por grado de deterioro que pueden sufrir materiales que se utilizaban en la antigüedad como el Caño Galvanizado y Cañerías de Plomo.

A continuación se citan algunas de las imágenes antes expuestas, con el objetivo de resaltar y ejemplificar lo observado por los alumnos.



Figura 59



Figura 60

- Les llamó la atención las muestras de los accesorios fusionados al observar la unión perfectamente homogénea y sin poros. Y se les explicó la importancia de las recomendaciones del fabricante sobre los tiempos de fusión y enfriamiento, como así también de la profundidad de inserción.

A modo de ejemplo se cita una imagen del capítulo 8 “Proceso de Construcción” como apoyo visual.

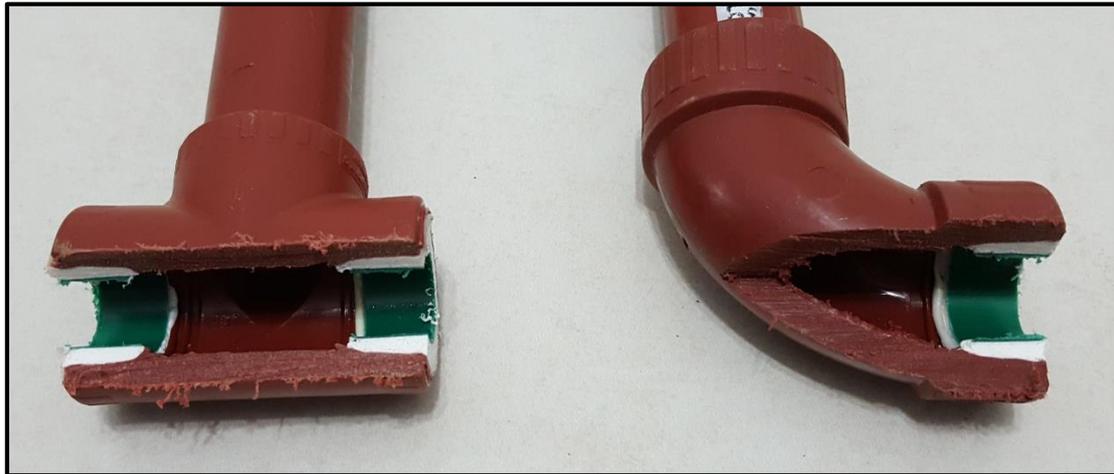


Figura 61

Como resultado final del trabajo realizado, y a modo de ejemplo, se puede observar los valores obtenidos por un grupo de alumnos, según la siguiente tabla resumen.

Como así también el desarrollo del práctico y gráficos correspondientes realizados por uno de los grupos de trabajo.

RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS DEL LABORATORIO				
	Bomba al 100% (50Hz--1,6)		Bomba al 80% (40Hz--1,0)	
CAUDALIMETRO MECANICO (tubería de 3/4")	Tiempo a 5 Litros (S)	tiempo a 10 Litros (S)	Tiempo a 5 Litros (S)	tiempo a 10 Litros (S)
LECTURA 1	7,50	14,20	9,42	16,48
LECTURA 2	7,40	14,30	9,28	18,25
LECTURA 3	7,30	14,20	8,86	16,17
CAUDALIMETRO VOLUMETRICO (tubería de 3/4")	Tiempo a 5 Litros (S)	tiempo a 10 Litros (S)	Tiempo a 5 Litros (S)	tiempo a 10 Litros (S)
LECTURA 1	6,88	14,11	8,96	17,92
LECTURA 2	7,24	14,11	8,83	18,11
LECTURA 3	7,16	13,94	9,05	17,74
MANOMETRO DIFERENCIAL (tubería 3/4") 45°	entrada (cm)	salida (cm)	entrada cm	salida cm
	14,10	21,80		4,90
SENSOR PASPORT	entrada (kPa)	salida (kPa)	entrada (kPa)	salida (kPa)
	235,00	232,00	187,50	185,80
	Bomba al 100% (50Hz--1,6)		Bomba al 80% (40Hz--1,0)	
CAUDALIMETRO MECANICO (tubería de 1/2")	Tiempo a 5 Litros (S)	tiempo a 10 Litros (S)	Tiempo a 5 Litros (S)	tiempo a 10 Litros (S)
LECTURA 1	7,66	15,36	8,17	17,97
LECTURA 2	7,74	15,72	10,00	19,98
LECTURA 3	8,09	15,57	9,96	19,97
CAUDALIMETRO VOLUMETRICO (tubería de 1/2")	Tiempo a 5 Litros (S)	tiempo a 10 Litros (S)	Tiempo a 5 Litros (S)	tiempo a 10 Litros (S)
LECTURA 1	7,70	15,72	10,04	19,80
LECTURA 2	7,93	15,72	9,72	19,55
LECTURA 3	7,79	15,68		
MANOMETRO DIFERENCIAL (tubería 1/2") 45°	entrada (cm)	salida (cm)	entrada (cm)	salida (cm)
	14,90	21,10	16,00	20,10
SENSOR PASPORT	entrada (kPa)	salida (kPa)	entrada (kPa)	salida (kPa)
	230,50	220,00	184,00	184,00

Tabla 2

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

2016



INGENIERÍA QUÍMICA CÁTEDRA DE FENÓMENOS DE TRANSPORTE

Pérdidas por fricción en tuberías y accesorios

Docente: Reyna, Estela

Alasino, Noelia

Gañan, Nicolás

Operador: Bracco, Mauricio

Integrantes:

Combina, Sebastián

Maldonado, Raúl

Heredia, María

Risso, María Candelaria

Desarrollo

Como se puede observar en las siguientes tablas, en donde se muestran los valores de los caudales que se obtuvieron mediante las mediciones de los tiempos en que se hacía circular un volumen de agua determinado, haciendo uso de diferentes medidores de caudal, es posible observar algunas diferencias.

Si comparamos los caudales obtenidos por el medidor volumétrico y los que se obtuvieron en el caudalímetro mecánico vemos que hay una diferencia de alrededor del 7 % en los caudales en casi todos los casos, e incluso llegando a coincidir cuando la bomba está al 80% de su capacidad y el fluido recorre la cañería de $\frac{1}{2}$ pulgada, por lo que podemos decir que las mediciones entre estos dos caudalímetros son muy precisas. Sin embargo, consideramos como mejor al medidor volumétrico, ya que tenemos una mayor precisión al tomar el tiempo en el que se cubre el volumen determinado, algo que no podemos decir del uso del caudalímetro mecánico, ya que las fracciones de vuelta de la escala graduada que tiene es muy pequeña como para tomar los tiempos exactos.

En cuanto al Venturi, vemos que los valores de caudal varían mucho más respecto a los demás, debido a que para calcularlo utilizamos el dato de caída de presión, en el cual se introducen errores; ya sea en la lectura de datos o debido a que utilizamos una ecuación empírica para calcularlo.

En cuanto a las velocidades de circulación, es posible hacer un análisis análogo. Si tomamos los resultados que corresponden a dos sistemas, que utilizan dos bombas a igual potencia pero con secciones de cañería diferentes, vemos que las velocidades promedio cambian, algo que es totalmente razonable ya que si la potencia de bomba es la misma pero el diámetro de la tubería se reduce, obviamente la velocidad tiene que aumentar, ya que no hay acumulación de masa en el sistema.

Como también es posible analizar que, a medida de que aumenta la sección de la tubería, la pérdida de carga disminuye, esto se debe a que circula mayor fluido sin tomar contacto con las paredes de la cañería. Y a medida que aumenta el caudal la pérdida de carga aumenta, debido a que aumenta la velocidad del fluido.

Mediciones

	Lv (m)	ΔP (kgf/m ²)	diámetro (m)
bomba 100% (3/4")	0,077	356,78	0,0191
bomba 80% (3/4")	0,049	188,58	0,0191
bomba 100% (1/2")	0,062	1070,34	0,0127
bomba 80% (1/2")	0,041	611,62	0,0127

Cálculos: Venturi

	ΔP_v (kgf/m ²)	Q (m ³)	hL Ex (m)	Re	f (exp)	f (teo)	hL T (m)	vel (m/s)
bomba 100% (3/4")	683,31	0,00050	0,68	32486,52	0,0844	0,023	0,19	1,74
bomba 80% (3/4")	434,84	0,00036	0,43	23618,44	0,1016	0,024	0,10	1,26
bomba 100% (1/2")	550,20	0,00086	0,55	84404,40	0,0030	0,019	3,50	6,78
bomba 80% (1/2")	363,84	0,00065	0,36	63802,88	0,0035	0,02	2,11	5,12

Cálculos: Caudalímetro Mecánico

	Q (m ³ /s)	hL Ex (m)	Re	f (exp)	f (teo)	hL T (m)	vel (m/s)
bomba 100% (3/4")	0,00069	0,36	45404,68	0,0226	0,021	0,33	2,43
bomba 80% (3/4")	0,00057	0,19	37142,15	0,0178	0,0225	0,24	1,99
bomba 100% (1/2")	0,00064	1,07	62575,64	0,0106	0,02	1,35	5,03
bomba 80% (1/2")	0,00051	0,61	50234,09	0,0094	0,021	0,91	4,03

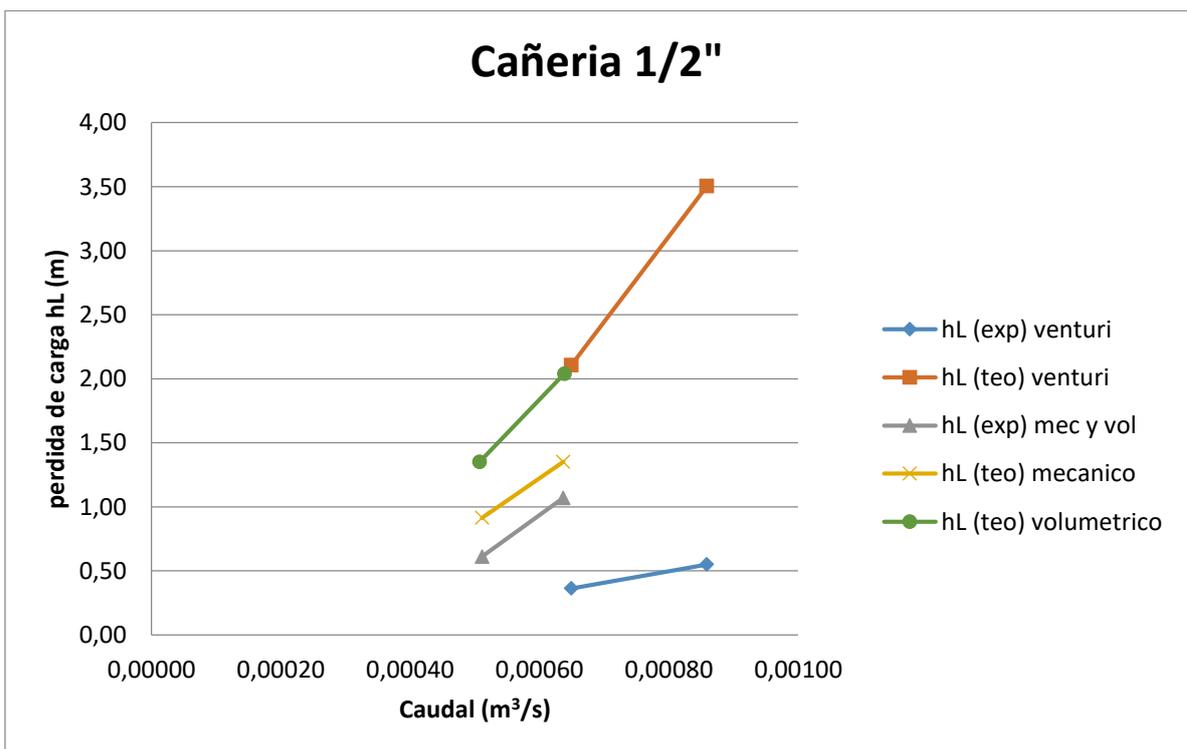
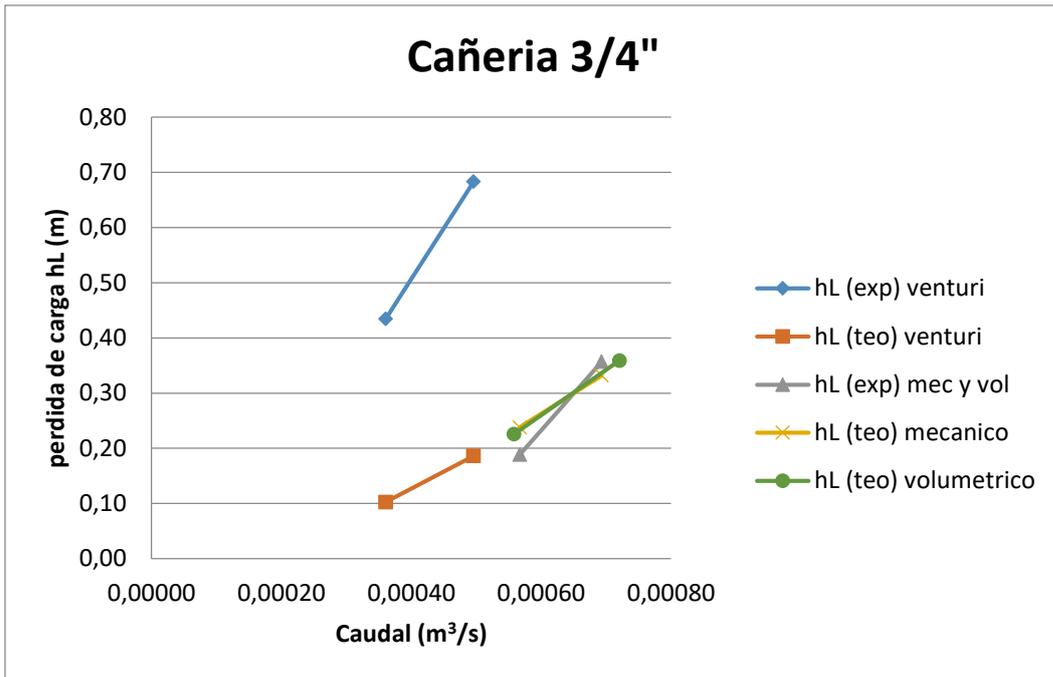
Cálculos: Caudalímetro Volumétrico

	Q (m ³ /s)	hL Ex (m)	Re	f (exp)	f (teo)	hL T (m)	vel (m/s)
bomba 100% (3/4")	0,00072	0,36	47205,62	0,0209	0,0210	0,36	2,53
bomba 80% (3/4")	0,00056	0,19	36566,28	0,0184	0,0220	0,23	1,96
bomba 100% (1/2")	0,00064	1,07	62765,11	0,0105	0,0200	2,04	5,04
bomba 80% (1/2")	0,00051	0,61	49848,99	0,0095	0,0210	1,35	4,00

Perdida de carga en accesorios

	ΔP (kgf/m ²)	D (m)	Q (m ³ /s)	hL exp (m)	Re	f (exp)	f (teo)	hL T (m)	vel (m/s)
codo	18,00	0,0191	0,0006545	0,0180	42886,90	0,0022325	0,0225	0,37	2,30
válvula globo	3,50	0,0191	0,0006545	0,0035	42886,90	0,0000434	0,0225	1,85	2,30

Gráficos de Perdida de carga vs. Caudal

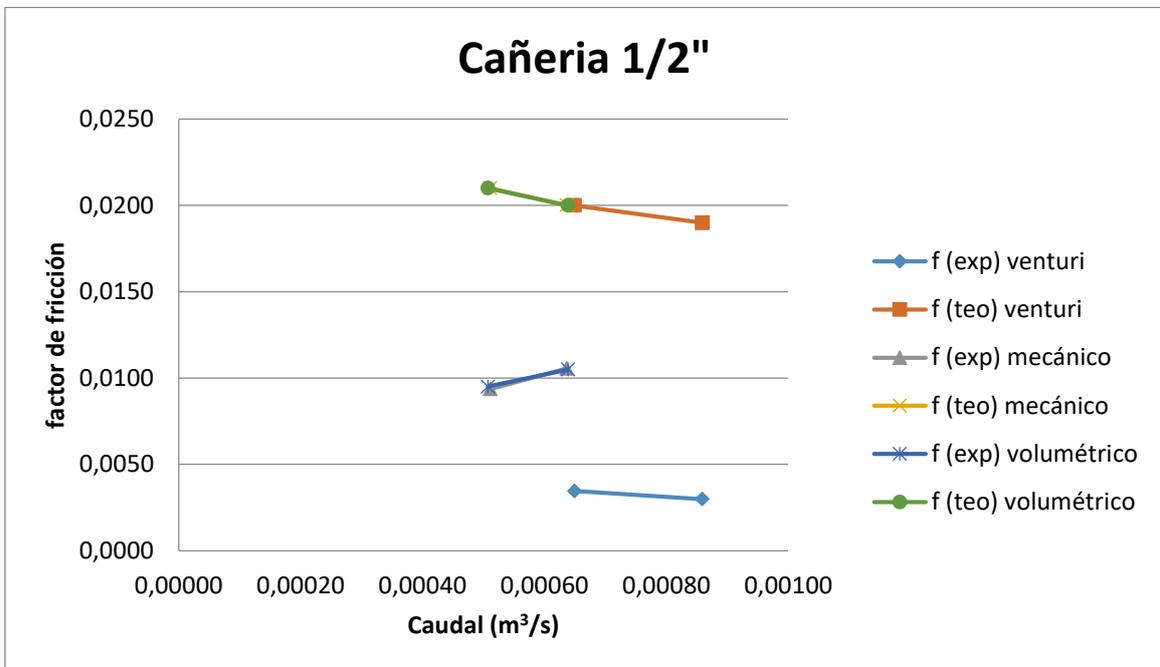
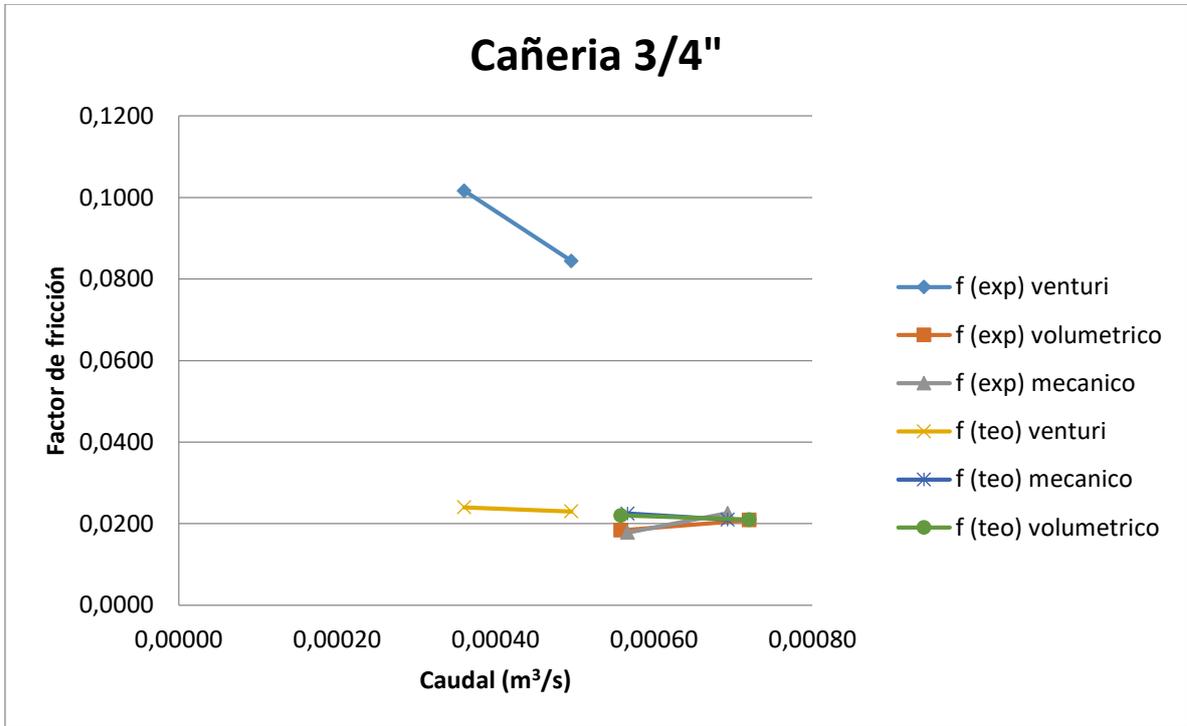


En estos gráficos podemos observar que a medida que aumenta el caudal, las pérdidas de carga aumentan, y que al aumentar el diámetro de la tubería, como hay una caída de presión menor, la pérdida de carga por fricción disminuye.

Para la cañería de $\frac{3}{4}$ " , los valores de pérdida de carga teóricos en los caudalímetros mecánico y volumétrico son muy próximos entre si ya que el factor de fricción varia muy poco; hL experimental en ambos casos ya que se calculó con la misma caída de presión.

También observamos que las mayores diferencias entre los cálculos teóricos y los experimentales se dan en el medidor de venturi; la ecuación empírica de Darcy-Weisbach prevé mayor pérdida de carga por fricción que la medida experimentalmente.

Gráficos de factor de fricción vs Caudal



Se observa en los gráficos anteriores que el factor de fricción teórico disminuye al aumentar el caudal y aumenta al aumentar el diámetro de la tubería; esto se debe a que cuando aumenta

el caudal, una mayor fracción de fluido circula sin entrar en contacto con las paredes de la cañería y cuando aumenta el diámetro, aumenta la superficie de contacto entre las paredes y el fluido.

En los valores experimentales se observa en algunos casos diferencias en estas tendencias, debido a la naturaleza turbulenta del fluido.

Al igual que en los gráficos de pérdida de carga la, mayor diferencia se observa en el tubo de venturi.

Relación del entre la pérdida de carga y el tipo de fluido

Como observamos anteriormente al aumentar el número de Reynolds aumentan las pérdidas de energía mecánica, ya que indica el tipo de comportamiento que sigue el fluido. Cuanto mayor sea Re más turbulento es el comportamiento y por lo tanto se producirá una mayor pérdida de carga.

El número de Reynolds es inversamente proporcional a la viscosidad dinámica del fluido. Por lo tanto, cuanto mayor sea la viscosidad dinámica del fluido menor será el número de Reynolds lo que se traduce en una menor pérdida de energía mecánica y viceversa.