

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE ENSAYO PARA
EL ESTUDIO DE PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN Y
SINGULARIDAD”**

Presentado por:

RAFAEL GREGORIO POMA SOLANO

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÍCOLA

Lima – Perú

2015

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de Riego y Drenaje del Departamento de Recursos Hídricos de la Universidad Nacional Agraria La Molina. El objetivo fue el diseño y construcción de un Banco de Pruebas para evaluar las pérdidas de carga en tuberías de PVC lisas, en válvulas esféricas, en válvulas de asiento inclinado, en un tubo de Venturi, en el filtro de anillos, y en accesorios de conexión como reducciones, tees, codos de 90° y 45°. Se evaluó también el comportamiento de válvulas hidráulicas reguladoras de presión (reductora y sostenedora de presión). El Banco de Pruebas estuvo conformado por una estructura de soporte de 2.50x1.30x1.20m, 02 electrobombas centrífugas de 0.85 HP y 0.70 HP, 5 líneas de conducción de agua, y un recipiente de almacenamiento de agua con una capacidad de 350 lt. Como objetivo complementario se contempló usar el Banco de Ensayo como apoyo académico en cursos de la Facultad de Ingeniería Agrícola tales como: Mecánica de Fluidos, Hidráulica, Ingeniería de Riegos I, Ingeniería de Riegos II y Saneamiento I.

El soporte del Banco de Pruebas es móvil facilitando el acople o desacople del equipo de bombeo a través de uniones universales. El ingreso de agua se realiza a través de una tubería de PVC de 1", y el retorno al recipiente se hace mediante una manguera de polietileno de 32mm.

El equipo de bombeo consta de accesorios y válvulas de 1", lo que hizo posible la configuración en serie o en paralelo para darle al Banco de Pruebas mayor presión o caudal, respectivamente, según los elementos a evaluar. El caudal de agua se midió con un caudalímetro electrónico de 1".

Se instalaron 5 líneas de conducción; en la primera línea se evaluaron las pérdidas de carga por fricción en tuberías lisas de 1", ¾" y ½". En la segunda línea se evaluaron las pérdidas de carga en una válvula de asiento inclinado de ¾" marca PLASSON y las pérdidas de energía en una expansión y reducción con diámetros nominales de ¾" a 2 ½". En la tercera línea se observó el comportamiento de válvulas hidráulicas de 1" con pilotos reductores y sostenedores de presión; las válvulas fueron controladas a través de líneas de mandos hidráulicos instalados a la salida del equipo de bombeo. En la cuarta línea se evaluó la pérdida de carga en un tubo de Venturi de 1" en relación a su

caudal de succión como inyector de fertilizante, y la pérdida de carga en un filtro de anillos de 1" de 120 mesh. En la quinta línea se evaluaron las presiones en una red en paralelo y en serie de ¾", así como las pérdidas de carga en tees, codos de 90° y 45° y válvulas esféricas de ¾".

Sobre las líneas de conducción de agua se colocaron collarines con puntos de toma manométricos en los que se insertaron manómetros para la medida de presión antes y después de cada elemento.

Para la evaluación de tuberías de PVC se calcularon las pérdidas de carga teóricas mediante las fórmulas de Darcy-Weisbach, Hazen-Williams y Blasius. Se compararon los cálculos obtenidos con los resultados de la evaluación directa del Banco de Pruebas. Se eligió la fórmula más adecuada utilizando la fórmula de Equilibrio de NASH y la observación gráfica de las curvas caudal vs pérdida de carga.

En la evaluación de la válvula PLASSON se halló la curva caudal vs pérdida de carga para la válvula completamente abierta y semiabierta. En la expansión y reducción se compararon las líneas de pérdida de energía con las líneas de presión para caudales diferentes.

En la evaluación del tubo de Venturi se halló la curva de caudal vs pérdida de carga, referido al caudal de agua succionado por el Venturi desde un recipiente respecto a la pérdida de carga generada a través de él. Para el filtro de anillos se halló la curva caudal vs pérdida de carga.

En la evaluación de las válvulas esféricas, codos y tees se halló la curva caudal vs pérdida de carga.

	Pág.
TITULO	I
JURADOS	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
INDICE GENERAL	V

INDICE GENERAL

RESUMEN

I. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivos generales	2
1.2. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Definiciones básica	3
2.1.1. Tuberías y accesorios de PVC	3
2.1.2. Válvula de 3 vías	6
2.1.3. Válvula hidráulica	6
2.1.4. Pilotos reguladores de presión	8
2.1.5. Válvula reductora de presión	9
2.1.6. Válvula sostenedora de presión	10
2.1.7. Válvula reductora y sostenedora de presión	11
2.1.8. Filtro de anillos o de discos	12
2.1.9. Tubo de Venturi	13
2.2. Hidráulica aplicada al riego	13
2.2.1. Pérdidas de carga por fricción	13
2.2.2. Pérdidas lineales	14
2.2.3. Pérdidas singulares	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. Materiales	18
3.1.1. construcción del soporte del Banco de Pruebas	18
3.1.2. construcción del Banco de Pruebas	18

3.1.3. Equipos y accesorios del laboratorio	20
3.2. Metodología	20
3.2.1. Fase de laboratorio	20
a. Diseño del Banco de Pruebas	20
b. Construcción del Banco de Pruebas	21
c. Evaluación del Banco de Pruebas	21
A. Tuberías de PVC lisas	21
B. Válvula de asiento inclinado	21
C. Expansión y reducción con transición	22
D. Válvula hidráulica con piloto sostenedor de presión	22
E. Válvula hidráulica con piloto reductor de presión	22
F. Tubo de Venturi	22
G. Filtro de Anillos	23
H. Redes en paralelo y en serie	23
I. Singularidades	23
3.2.2. Fase de gabinete	23
3.3. Descripción del Banco de Pruebas	24
3.3.1. Equipo de bombeo	24
3.3.2. Depósito de agua	28
3.3.3. Estructura de soporte del Banco de Pruebas	28
3.3.4. Elementos del banco de Pruebas	29
a. Conducción y distribución del agua	29
b. Puntos de prueba de presión	30
c. Líneas de evaluación de los elementos	30
c.1. Línea de evaluación I	31

	Pag.
c.2. Línea de evaluación II	31
c.3. Línea de evaluación III	32
c.4. Línea de evaluación IV	33
c.5. Línea de evaluación V	34
d. Mandos hidráulicos para la apertura y cierre de válvulas	35
3.4. Operación del banco	36
3.4.1. Evaluación de tuberías lisas	36
3.4.2. Evaluación de válvula de asiento inclinado	38
3.4.3. Evaluación de expansión y reducción con transición	39
3.4.4. Evaluación de válvula hidráulica con piloto sostenedor	41
3.4.5. Evaluación de válvula hidráulica con piloto reductor	42
3.4.6. Evaluación de tubo de Venturi	42
3.4.7. Evaluación de filtro de anillos	44
3.4.8. Evaluación de redes en serie y en paralelo	45
3.4.9. Evaluación de singularidades	46
3.4.10. Operación de mandos hidráulicos	47
IV. RESULTADOS	49
4.1. Línea de evaluación I	49
4.1.1. Tubería de PVC lisa de 1”	49
4.1.2. Tubería de PVC lisa de ¾”	51
4.1.3. Tubería de PVC lisa de ½”	54
4.2. Línea de evaluación II	57
4.2.1. Válvula de asiento inclinado de ¾”	57
4.2.2. Tubería con expansión y reducción de ¾” a 2 ½”	59
4.3. Línea de evaluación III	65
4.3.1. Válvula hidráulica de 1”	65

	Pag.
4.3.2. Válvula hidráulica de 1 con piloto regulador de presión	66
4.4. Línea de evaluación IV	67
4.4.1. Tubo de Venturi de 1"	67
4.4.2. Filtro de Anillos de 1"	69
4.5. Línea de evaluación V	70
4.5.1. Singularidades	72
a. Válvula esférica PVC de ¾" SP	72
b. Codo PVC ¾" x 90° SP	72
c. Codo PVC ¾" x 45° SP	73
d. Tee PVC ¾" SP	74
4.5.2. Red de tuberías en serie	75
4.5.3. Red de tuberías en paralelo	76
V. CONCLUSIONES	78
VI. RECOMENDACIONES	79
VII. BIBLIOGRAFIA	80

ANEXOS

- Anexo N° 01: Datos de las pruebas experimentales realizado para la determinación de pérdidas de carga en los elementos del banco de pruebas
- Anexo N° 02: Costo de la construcción del banco de pruebas
- Anexo N° 03: Manuales del laboratorio para uso del banco de pruebas y el desarrollo de prácticas para los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Agrícola
- Anexo N° 04: Esquema del Banco de Pruebas
- Anexo N° 05: Plano Isométrico del soporte del banco de pruebas

LISTA DE TABLAS

- Tabla N° 01: Presiones Nominales de trabajo de tuberías de PVC
- Tabla N° 02: Especificaciones técnicas de tuberías de PVC C-5 UF
- Tabla N° 03: Especificaciones técnicas de tuberías de PVC C-10 UF
- Tabla N° 04: Especificaciones técnicas de tuberías de PVC C-10 SP
- Tabla N° 05: Equivalencias comerciales de tuberías de PVC. Normas ISO e ITINTEC
- Tabla N° 06: Pérdidas de carga en tuberías lisas de PVC de 1" x 1.80m
- Tabla N° 07: Pérdidas de carga en tuberías lisas de PVC de ¾" x 1.80m
- Tabla N° 08: Pérdidas de carga en tuberías lisas de PVC de ½" x 1.80m
- Tabla N° 09: Pérdidas de carga en válvula de asiento inclinado de ¾" – abierta.
- Tabla N° 10: Pérdidas de carga en válvula de asiento inclinado de ¾" – semiabierta.
- Tabla N° 11: Pérdidas de carga en conductos de PVC con expansión y reducción.
- Tabla N° 12: Pérdidas de energía en conductos de PVC con expansión y reducción.
- Tabla N° 13: Pérdidas de carga válvula hidráulica plástica de 1"
- Tabla N° 14: Pérdidas de carga en tubo de Venturi de 1"
- Tabla N° 15: Pérdidas de carga en filtro de anillos de 1" de 120mesh.
- Tabla N° 16: Pérdidas de carga en singularidades.
- Tabla N° 17: Pérdida de carga en tuberías y accesorios en serie.

LISTA DE FORMATOS

- Formato N° 01: Recopilación de datos para pérdidas de carga por fricción en tuberías lisas de PVC.
- Formato N° 02: Recopilación de datos para pérdidas de carga en válvula de asiento inclinado – Plasson.
- Formato N° 03: Recopilación de datos para las pérdidas de carga en conductos de PVC con expansión y reducción.
- Formato N° 04: Recopilación de datos para pérdidas de carga en tubo de Venturi y aforo de caudales.
- Formato N° 05: Recopilación de datos para pérdidas de carga en filtro de anillos.
- Formato N° 06: Recopilación de datos para pérdidas de carga en singularidades.

LISTA DE FIGURAS

- Figura N° 01: Válvula de 3 vías (open-auto-close)
- Figura N° 02: Válvula hidráulica normalmente cerrada.
- Figura N° 03: Válvula hidráulica normalmente abierta.
- Figura N° 04: Piloto regulador de presión.
- Figura N° 05: Válvula hidráulica con piloto reductor de presión.
- Figura N° 06: Válvula hidráulica con piloto sostenedor de presión.
- Figura N° 07: Válvula hidráulica con piloto reductor y sostenedor de presión.
- Figura N° 08: Filtros de anillos.
- Figura N° 09: Tubo de Venturi.
- Figura N° 10: Pérdida de carga en conductos cerrados.
- Figura N° 11: Esquema de conducto con expansión y reducción.
- Figura N° 12: Válvula hidráulica con piloto sostenedor de presión en funcionamiento.
- Figura N° 13: Válvula hidráulica con piloto reductor de presión en funcionamiento.

LISTA DE GRAFICOS

- Gráfico N° 01: Curva de funcionamiento Electrobomba CPM 610x – de laboratorio y fábrica.
- Gráfico N° 02: Curva de funcionamiento Electrobomba JSW 1B – de laboratorio y fábrica.
- Gráfico N° 03: Curva de funcionamiento Electrobombas en serie – de laboratorio.
- Gráfico N° 04: Curva de funcionamiento Electrobombas en paralelo – de laboratorio.
- Gráfico N° 05: Curvas de pérdida de carga en tuberías de PVC 1" – teóricas y experimentales.
- Gráfico N° 06: Curvas de pérdida de carga en tuberías de PVC ¾" – teóricas y experimentales.
- Gráfico N° 07: Curvas de pérdida de carga en tuberías de PVC ½" – teóricas y experimentales.
- Gráfico N° 08: Curvas de pérdida de carga en válvula de asiento inclinado de ¾" – abierta y semiabierta.
- Gráfico N° 09: Curva de pérdidas de carga en expansión y reducción de 2 ½" a ¾".
- Gráfico N° 10: Curva de Presión vs Energía en conducto con expansión y reducción – Caudal: 18.4 l/min.
- Gráfico N° 11: Curva de Presión vs Energía en conducto con expansión y reducción – Caudal: 31.7 l/min.
- Gráfico N° 12: Curva de Presión vs Energía en conducto con expansión y reducción – Caudal: 40.6 l/min.
- Gráfico N° 13: Curva de Presión vs Energía en conducto con expansión y reducción – Caudal: 51.5 l/min.
- Gráfico N° 14: Curva de Presión vs Energía en conducto con expansión y reducción – Caudal: 60.3 l/min.
- Gráfico N° 15: Curva de Presión vs Energía en conducto con expansión y reducción – Caudal: 65.0 l/min.
- Gráfico N° 16: Curva de pérdidas de carga en válvula hidráulica de 1".
- Gráfico N° 17: Curva de Pérdida de carga vs Caudal de succión. Tubo de Venturi 1".
- Gráfico N° 18: Curva de pérdida de carga en Filtro de Anillos 1" de 120mesh.

Gráfico N° 19: Curva de pérdida de carga en válvula esférica de PVC ¾"

Gráfico N° 20: Curva de pérdida de carga en codo de PVC de ¾" x 90°

Gráfico N° 21: Curva de pérdida de carga en codo de PVC de ¾" x 45°

Gráfico N° 22: Curva de pérdida de carga en codo de PVC de ¾".

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto N° 01: Equipo de bombeo.

Foto N° 02: Estructura de soporte del banco de pruebas.

Foto N° 03: Líneas de conducción y distribución de agua del banco de pruebas.

Foto N° 04 y 05: Puntos de prueba de presión.

Foto N° 06: Tuberías lisas de PVC de 1", ¾" y ½".

Foto N° 07: Válvula de asiento inclinado.

Foto N° 08: Conducto PVC con expansión y reducción.

Foto N° 09: Válvula hidráulica con piloto sostenedor de presión.

Foto N° 10: Válvula hidráulica con piloto reductor de presión.

Foto N° 11: Tubo de Venturi y Filtro de anillos.

Foto N° 12: Singularidades, red en serie y en paralelo.

Foto N° 13: Control de mandos hidráulicos.

I. INTRODUCCION

En el análisis y diseño de las instalaciones hidráulicas es necesario conocer los conceptos que relacionan los cambios de energía hidráulica que sufre el fluido al atravesar un elemento o componente con cierto caudal, más aún cuando la diversidad actual de sistemas de transporte de fluidos se compone de tuberías y conductos de diferentes materiales y diámetros que tienen una extensa aplicación como en plantas de procesos, proyectos de riego presurizado, sistemas de suministro de agua a las ciudades, y saneamiento. A menudo, se enfrenta la tarea de diseñar estos sistemas compuestos por redes de cañerías, por tanto, su análisis debe realizarse en base a cálculos de las pérdidas de energía, que traen como resultado una disminución de la presión entre dos puntos del sistema de flujo producidos por la fricción que se genera cuando un líquido fluye a través de tuberías, válvulas, uniones, codos y otros elementos.

En la parte académica, se ha visto que los estudiantes captan con dificultad los conceptos relacionados a los cambios de energía hidráulica como “pérdida de carga” porque no se observa físicamente debido a la falta de un programa experimental adecuado, que cuente con el equipo necesario y se encuentre disponible en los laboratorios, lo cual, daría una visión más real de los cambios que sufren los fluidos al modificar las variables que están directamente relacionadas con su comportamiento, como lo son el diámetro, el caudal, el material, cantidad y calidad del resto de elementos existentes en el sistema.

El presente trabajo de tesis surgió por la necesidad de mostrar a los estudiantes los fenómenos que ocurren en los sistemas de transporte de fluidos (agua) y darles la oportunidad de interactuar con ellos modificando las variables. Por tales razones en la presente tesis se detalla el procedimiento y la construcción de un banco de ensayo para la evaluación de pérdidas de carga por fricción y singularidad en tuberías y accesorios de sistemas de riego. Así mismo se presentan los procedimientos para realizar los ensayos en cada elemento que conforma dicho banco de ensayo, y una breve explicación a los resultados obtenidos de cada ensayo.

1.1. Objetivos generales

- Construir un banco de pruebas hidráulico para el estudio de pérdidas de carga en accesorios de control y conducción fabricados en PVC y Polipropileno dentro de los rangos de trabajo del banco.
- Evaluar y comparar las pérdidas de carga obtenidas experimentalmente del banco pruebas con las pérdidas obtenidas de las diferentes fórmulas que rigen el comportamiento de los fluidos.

1.2. Objetivos específicos

- Realizar nuevos estudios y nuevos protocolos de ensayo, con el fin de aumentar la información dada por los fabricantes de tuberías y singularidades, así como el conocimiento de las utilidades y limitaciones de los elementos.
- Contar con un banco de pruebas en el laboratorio de Riego y Drenaje del Departamento de Recursos de Hídricos de la FIA, en el cual los estudiantes puedan interactuar con los distintos fenómenos involucrados en el uso y comportamiento de los fluidos, lo que será de gran utilidad en su posterior desempeño profesional.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. Definiciones básicas

2.1.1. Tuberías y accesorios de PVC

La denominación de tuberías PVC proviene del policloruro de vinilo, que es un polímero termoplástico de origen petroquímico.

Las instalaciones con tuberías PVC permiten hacer fluir fácilmente líquidos y desechos. Esto se debe a que los tubos y las conexiones que se dan entre ellos tienen una superficie bastante lisa, lo cual a su vez impide por completo que se produzcan obstrucciones. Otra de las ventajas de las tuberías PVC es su peso ligero y sus distintas longitudes. Esto último siempre se constituye en un punto a favor si tenemos en cuenta el proceso de instalación, que muchas veces puede tornarse en una tarea ardua.

Características técnicas

Coeficiente de dilatación térmica	: 0,06 - 0,08 mm / m / ° C
Inflamabilidad	: Autoextinguible
Coeficiente de fricción	: n= 0,009 Manning, C = 150 Hazen-Williams.

Para el diseño se considera el esfuerzo de 10 MPa y se obtiene considerando que el material del cual se fabrican los tubos de PVC tendrán una resistencia requerida mínima de no menos de 25 MPa y un factor de seguridad (F) de 2,5. La vida útil de los tubos de PVC es de 50 años.

Las presiones nominales de los tubos de PVC - U son las siguientes:

Tabla N° 01: Presiones nominales de trabajo de tuberías de PVC

CLASE	Presión Nominal (bar)
5	5.0
7.5	7.5
10	10.0
15	15.0

Fuente: NICOLL Perú S.A.

Norma Técnica Peruana NTP-ISO 4422-2: Los diámetros se especifican en milímetros y varían desde 63mm hasta 400mm con una longitud de 6m. Las uniones de las tuberías son con anillos de jebe.

Tabla N° 02: Tuberías de PVC C-5 UF

Diámetro Exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Espesor (mm)	Longitud Total (m)	Longitud Util (m)	Peso Mínimo (kg)
63	59.8	1.6	6	5.88	2.592
75	71.2	1.9	6	5.87	3.665
90	85.6	2.2	6	5.86	5.097
110	104.6	2.7	6	5.85	7.645
140	133.0	3.5	6	5.83	12.608
160	152.0	4.0	6	5.82	16.457
200	190.2	4.9	6	5.80	25.228
250	237.6	6.2	6	5.76	39.889
315	299.6	7.7	6	5.74	62.443
355	337.6	8.7	6	5.72	79.506
400	380.4	9.8	6	5.70	100.912

Fuente: NICOLL Perú S.A.

Tabla N° 03: Tuberías de PVC C-10 UF

Diámetro Exterior (mm)	Diámetro Interior (mm)	Espesor (mm)	Longitud Total (m)	Longitud Util (m)	Peso Mínimo (kg)
63	57.0	3.0	6	5.88	4.750
75	67.8	3.6	6	5.87	6.783
90	81.4	4.3	6	5.86	9.725
110	99.4	5.3	6	5.85	14.644
140	126.6	6.7	6	5.83	23.569
160	144.6	7.7	6	5.82	30.947
200	180.8	9.6	6	5.80	48.236
250	226.2	11.9	6	5.76	74.772
315	285.0	15.0	6	5.74	118.752
355	312.2	16.9	6	5.72	150.786
400	361.8	19.1	6	5.70	191.986

Fuente: NICOLL Perú S.A.

ÍTINTEC Norma Técnica Peruana NTP 399.002: Los diámetros se especifican en pulgadas y varían desde ½” hasta 15” con una longitud de 5m. Las uniones de las tuberías son cementadas.

Tabla N° 04: Tuberías de PVC C-10 SP

Diámetro Nominal (pulg)	Diámetro Exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Espesor (mm)	Longitud Total (m)	Longitud Ut'l (m)	Peso Mínimo (kg)
½	21.0	17.4	1.8	5	4.97	0.760
¾	26.5	22.9	1.8	5	4.96	0.978
1	33.0	29.4	1.8	5	4.95	1.235
1 ¼	42.0	38.0	2.0	5	4.95	1.759
1 ½	48.0	43.4	2.3	5	4.95	2.311
2	60.0	54.2	2.9	5	4.94	3.642
2 ½	73.0	66.0	3.5	5	4.93	5.349
3	88.5	80.1	4.2	5	4.92	7.786
4	114.0	103.2	5.4	5	4.90	12.897
6	168.4	152.0	8.0	5	4.85	28.149
8	219.0	198.2	10.4	5	4.83	47.709
10	273.0	247.0	13.0	5	4.79	74.330
12	323.0	292.2	15.4	5	4.75	104.173

Fuente: NICOLL Perú S.A.

Tabla N° 05: Aproximaciones comerciales de tuberías de PVC

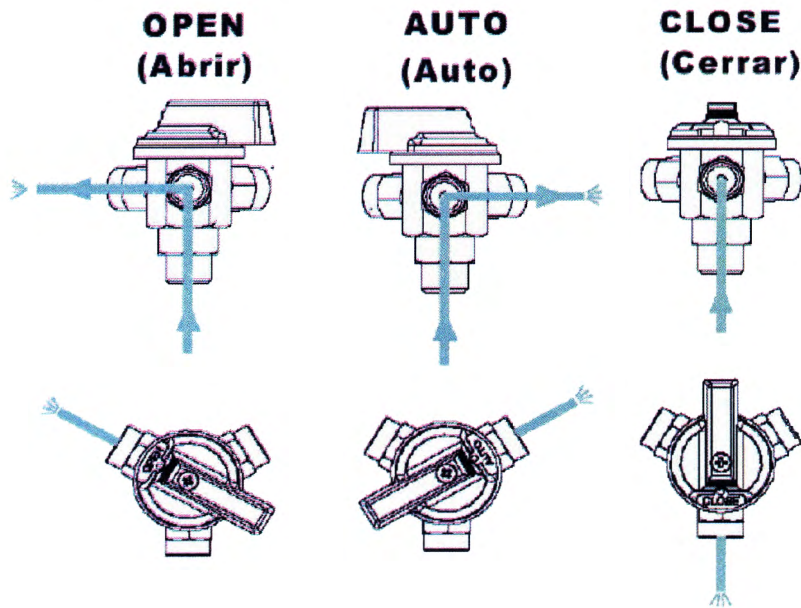
NORMA NTP	NORMA NTP-ISO
2”	63mm
2 ½”	75mm
3”	90mm
4”	110mm
5”	140mm
6”	160mm
8”	200mm
10”	250mm
12”	315mm
14”	355mm
15”	400mm

Fuente: NICOLL Perú S.A.

2.1.2. Válvula de 3 vías

Consiste en un selector de tres posiciones con cuatro vías que ha sido diseñado para la selección de modos de control hidráulico (abierto, cerrado o control automático). Permite cerrar o abrir la válvula principal manualmente o de forma remota.

Figura 1: Posiciones de válvula de tres vías.



Fuente: COMETAL Alta tecnología para agua

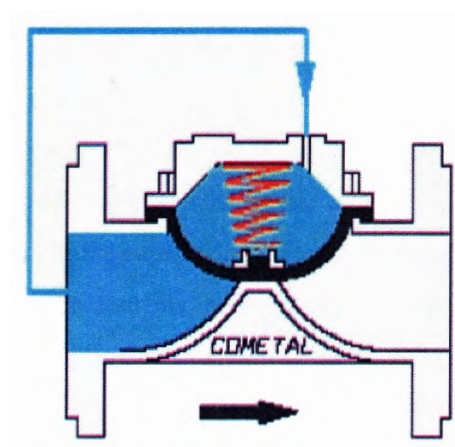
2.1.3. Válvula hidráulica

Son elementos muy utilizados en las redes hidráulicas y en general en todo tipo de sistemas de distribución de agua. El exterior está constituido por dos piezas (cuerpo y tapa), en cuyo interior se encuentra la membrana o diafragma de caucho que es el elemento de apertura o cierre al paso del agua. La válvula de tres vías exterior permite la apertura o cierre manual de la válvula, así como la actuación de la misma de acuerdo a una señal hidráulica a distancia.

Funcionamiento: Estando la cámara de la válvula (parte superior de la membrana) conectada a la atmósfera, la presión de agua del interior de la tubería empuja la

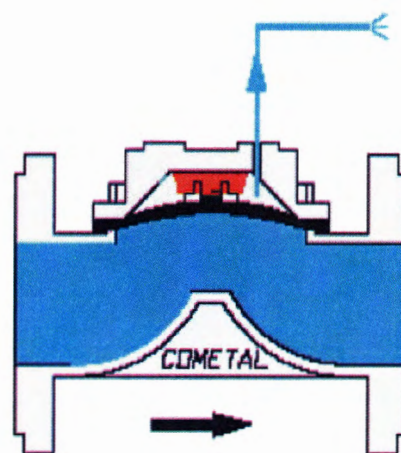
membrana hacia arriba, abriendo la válvula y por tanto el paso de agua (Figura 3). Cuando se comunica a la cámara de la válvula la presión de agua de la tubería (aguas arriba de la válvula), ésta comprime la membrana hacia abajo, produciendo el cierre completo de la válvula y por lo tanto el corte al paso del agua (Figura 2). Esta operación puede realizarse fácilmente mediante la válvula de 3 vías situada en la tapa de la válvula hidráulica. Este es el funcionamiento de la válvula básica, es decir abierta-cerrada. El funcionamiento en regulación se basa en la utilización de todos los puntos intermedios entre estos extremos: abierta y cerrada.

Figura 2: Válvula hidráulica cerrada



Fuente: COMETAL Alta Tecnología para Agua.

Figura 3: Válvula hidráulica abierta



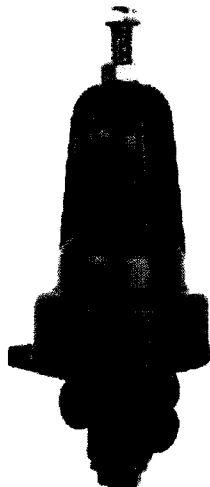
Fuente: COMETAL Alta Tecnología para Agua.

2.1.4. Pilotos reguladores de presión

Es un tipo de válvula de tres vías sensora de presión, ha sido diseñada para controlar válvulas operadas hidráulicamente. La válvula se caracteriza por una versatilidad excepcional de control. Cambiando las conexiones a los distintos puertos de la válvula piloto, se puede convertir una válvula hidráulica sostenedora de presión (o de alivio) en una válvula reguladora de presión.

El funcionamiento es hidráulico y está basado en las diferencias de fuerzas que se producen entre la membrana que aísla la cámara, respecto del área de paso en el asiento de la válvula. El área de la membrana es aproximadamente tres veces el área de paso por lo que la fuerza (presión por área) a una misma presión la fuerza de cierre es mayor y la válvula cierra. Con esta lógica el sistema de la siguiente manera: la entrada del sistema piloto tiene una válvula de aguja que limita la entrada de agua a la cámara superior, el piloto regulador de presión abre o cierra de acuerdo a si disminuye o aumenta la presión aguas abajo, con esto se descompensa la entrada de agua a través de la válvula de aguja con respecto a la salida y hace que la válvula se abra o cierre moduladamente manteniendo la presión constante.

Figura 4: Piloto regulador de presión



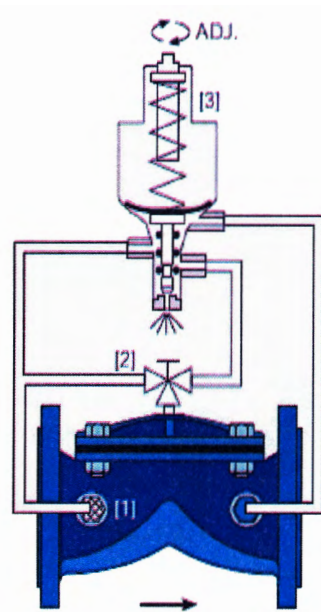
Fuente: DOROT Automatic Control Valves

2.1.5. Válvula reductora de presión

Es una válvula hidráulica con piloto, activada por presión de línea. Ha sido diseñada para reducir la presión manteniéndola constante aguas abajo independientemente de los cambios que pueda sufrir el caudal o la presión aguas arriba.

El piloto regulador de presión detecta la presión aguas abajo y ajusta abriéndose o cerrándose produciendo en la válvula principal un mayor o menor estrangulamiento del paso del agua manteniendo la presión deseada. El piloto tiene un tornillo regulador que es el que permite ajustar la presión aguas abajo. Cuando la presión aguas abajo cae por debajo de la fijada, el piloto y la válvula principal abren aumentando la presión de salida hasta la prefijada en el piloto. Cuando la presión aguas abajo sube por encima de la fijada el piloto y la válvula principal tienden a estrangular el paso del agua disminuyendo el valor de la presión hasta la prefijada.

Figura 5: Válvula reductora de presión



(1) Filtro de mando hidráulico.

(2) Válvula de 3 vías.

(3) Piloto Reductor de presión.

Fuente: RAPHAEL Valves Industries (1975) LTD

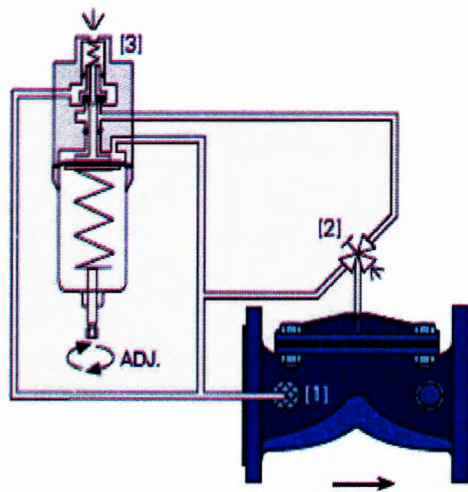
2.1.6. Válvula sostenedora de presión

Es una válvula hidráulica con piloto, activada por presión de línea. Han sido diseñadas para mantener una presión prefijada aguas arriba. Si la presión es superior al valor de regulación, la válvula se abre liberando el fluido.

El piloto sostenedor detecta la presión aguas arriba y se ajusta abriéndose, actuando en la cámara de control y provocando un mayor o menor estrangulamiento al paso del agua manteniendo la presión deseada.

Cuando la presión aguas arriba sube por encima de la fijada, el piloto detecta el cambio, tiende a abrirse y actúa sobre la válvula principal abriéndola. La presión disminuye hasta la prefijada en el piloto. Cuando la presión aguas arriba cae por debajo de la fijada el piloto detecta el cambio, tiende a cerrarse y actúa sobre la válvula principal estrangulando el paso del agua con el consiguiente aumento de la presión aguas arriba.

Figura 6: Válvula sostenedora de presión



- (1) Filtro de mando hidráulico.
- (2) Válvula de 3 vías.
- (3) Piloto Sostenedor de presión.

Fuente: RAPHAEL Valves Industries (1975) LTD

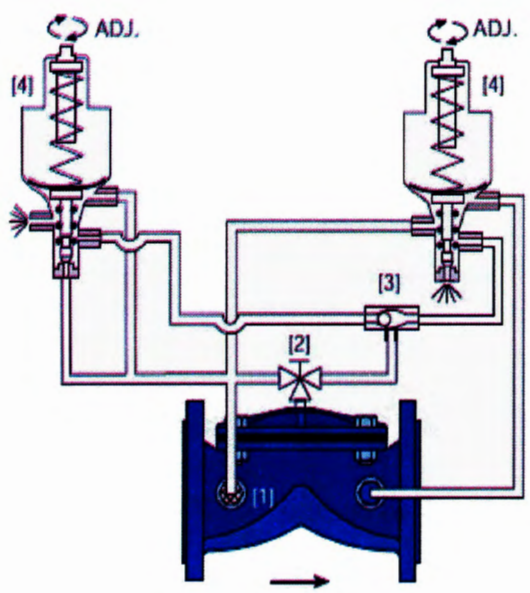
2.1.7. Válvula reductora y sostenedora de presión

Es una válvula operada hidráulicamente, controlada por un sistema de dos pilotos. Un piloto sostiene la presión mínima a un nivel prefijado y el otro reduce la presión alta a un nivel de presión constante. Son válvulas diseñadas para reducir la presión manteniéndola constante aguas abajo y para asegurar un valor mínimo de presión aguas arriba por debajo de la cual se cerraría la válvula independientemente de los cambios que pueda sufrir el caudal o la presión.

La válvula es comandada por un piloto reductor y otro sostenedor. Los pilotos detectan los cambios de presión aguas arriba y aguas abajo de la válvula y reaccionan cerrándose o abriéndose produciendo una mayor o menos estrangulación en la válvula principal.

Cuando la presión aguas arriba se eleva por encima del valor fijado en el piloto sostenedor este reacciona y actúa sobre la válvula principal que tiende a abrirse. Cuando la presión aguas arriba cae por debajo del valor fijado el piloto detecta el cambio y actúa sobre la válvula principal tendiendo a cerrarla. Cuando aguas abajo la presión supera la presión prefijada el piloto actúa sobre la válvula estrangulando el paso del agua manteniendo el valor de consigna.

Figura 7: Válvula reductora y sostenedora de presión



- (1) Filtro de mando hidráulico.
- (2) Válvula de 3 vías.
- (3) Tee selectora.
- (4) Piloto Reductor de presión.
- (5) Piloto Sostenedor de presión.

Fuente: RAPHAEL Valves Industries (1975) LTD

2.1.8. Filtro de anillos o discos

El elemento filtrante de los filtros consiste en un conjunto de discos ranurados cuya unidad de medida es el “mesh”, que indican el número de agujeros por pulgada lineal. Los más comunes son los filtros de 80, 120 y 200 mesh (80, 120 y 200 agujeros por pulgada lineal). A mayor número de mesh mayor será el grado de filtración y por lo tanto habrá mayor pérdida de carga.

El disco es un elemento, inyectado en polipropileno, con forma de corona o anillo plano, grabado en ambas superficies con gran número de canales ranurados. Los canales están diseñados con una sección decreciente a lo largo de su longitud. Una vez circule un fluido a través del conjunto de discos comprimidos, los canales retendrán a lo largo de toda su superficie las partículas que transporta el líquido, y que son de mayor tamaño que la zona de paso entre dos discos.

Figura 8: Filtro de discos y de malla

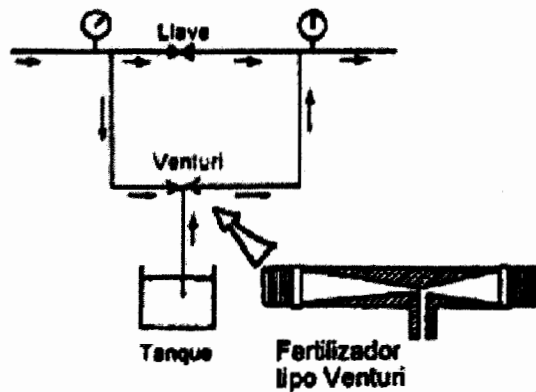


Fuente: AZUD Sistemas de Filtrado

2.1.9. Tubo de Venturi

Es un dispositivo que origina una pérdida de presión al pasar por él un fluido. El Venturi tiene una sección de entrada de diámetro igual al diámetro de conducción de la tubería a la cual se conecta. La sección de entrada conduce hacia un cono de convergencia angular fija, terminando en una garganta de un diámetro más reducido, la garganta se comunica con un cono de salida o de descarga con divergencia angular fija, cuyo diámetro final es habitualmente igual al de entrada.

Figura 9: Inyector de fertilizante tipo Venturi



Fuente: Riego Localizado de Alta Frecuencia -
Fernando Pizarro

2.2. Comportamiento hidráulico aplicado al riego

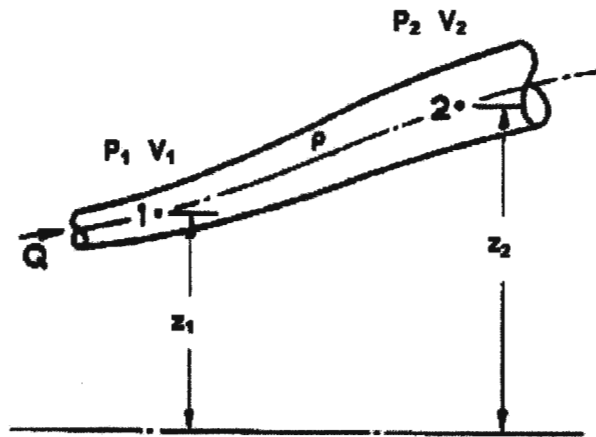
2.2.1. Pérdidas de carga por fricción

Cuando el fluido no tiene un comportamiento ideal, existe una pérdida de energía (pérdida de carga) a lo largo de su movimiento. Supongamos que a través del conducto de la figura 10 hay un flujo no ideal. Aplicando la ecuación de conservación de la energía mecánica entre las secciones 1 y 2 se deduce que:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta h_{(1-2)} \quad (1)$$

donde $\Delta h(1-2)$ es la denominada pérdida de carga entre las secciones 1 y 2, expresada en este caso en unidades de longitud (alturas).

Figura 10



Fuente: Mecánica de Fluidos – Ven Te Chow

- Pérdidas por fricción debidas al efecto viscoso existente en los tramos rectos de tubería. Se denominan *pérdidas de carga primarias, lineales o fricción*.
- Pérdidas en componentes que son debidas a torbellinos, desprendimientos de corriente, corrientes secundarias, etc. que se presentan en válvulas, cambios de dirección, codos, cambios de sección (estrechamientos o contracciones) y todo tipo de singularidades del sistema. Se denominan *pérdidas de carga secundarias o singulares*.

2.2.2. Pérdidas lineales

Las características de los esfuerzos cortantes son muy distintas en función de que el flujo sea laminar o turbulento. En el caso de *flujo laminar*, las diferentes capas del fluido discurren ordenadamente, siempre en dirección paralela al eje de la tubería y sin mezclarse. En *flujo turbulento*, en cambio, existe una continua fluctuación tridimensional en la velocidad de las partículas (también en otras magnitudes intensivas, como la presión o la temperatura), que se superpone a las componentes de la velocidad. Este es el fenómeno de la *turbulencia*, que origina un

fuerte intercambio de cantidad de movimiento entre las distintas capas del fluido, lo que da unas características especiales a este tipo de flujo.

El tipo de flujo, laminar o turbulento, depende del valor de la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas, es decir del llamado *número de Reynolds* Re (ecuación 2), cuya expresión se muestra a continuación de forma general y particularizado para tuberías de sección transversal circular:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{VD}{\mu/\rho} = \frac{(4Q/\pi D^2)D}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D \nu} \quad (2)$$

donde:

- ρ : densidad del fluido
- V : velocidad media
- D : diámetro de la tubería
- μ : viscosidad dinámica o absoluta del fluido
- ν : viscosidad cinemática del fluido
- Q : caudal circulante por la tubería

Cuando $Re < 2000$ el flujo es laminar. Si $Re > 4000$ el flujo se considera turbulento. Entre $2000 < Re < 4000$ existe una zona de transición.

En régimen laminar, los esfuerzos cortantes se pueden calcular de forma analítica en función de la distribución de velocidad en cada sección (que se puede obtener a partir de las ecuaciones de *Navier–Stokes*). Las pérdidas de carga lineales se pueden obtener de la llamada ecuación de *Hagen-Poiseuille*, en donde se tiene una dependencia lineal entre la pérdida de carga y el caudal dado por:

$$h_{pl, laminar} = \frac{32 \mu L \nu}{\rho g D^2} = \frac{128 \mu L}{\rho g \pi D^4} Q \quad (3)$$

En régimen turbulento, no es posible obtener analíticamente los esfuerzos cortantes a partir de las ecuaciones de *Navier–Stokes*. No obstante, experimentalmente se puede comprobar que la dependencia entre los esfuerzos cortantes y la velocidad es aproximadamente cuadrática, lo que lleva a la ecuación de *Darcy-Weisbach*:

$$h_{pl, turbulento} = f \frac{L \nu^2}{D 2g} = \dots = \frac{8f}{g \pi^2} \frac{L}{D^5} Q^2 \quad (4)$$

donde f es un parámetro adimensional, denominado *factor de fricción Darcy*, que en general es función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la tubería: $f=f(Re, \epsilon_r)$

En régimen laminar también es válida la ecuación de Darcy–Weisbach, si en ella se introduce como factor de fricción al coeficiente, dependiente en exclusiva del número de Reynolds, dado por:

$$f_{\text{laminar}} = \frac{64}{Re} \quad (5)$$

En régimen turbulento el factor de fricción depende, además de Re , de la *rugosidad relativa*: $\epsilon_r = \epsilon / D$; donde ϵ es la rugosidad de la tubería, que representa la altura promedio de las irregularidades de la superficie interior de la tubería.

Otros autores ajustaron los datos experimentales y expresaron el coeficiente de fricción en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa con una fórmula explícita:

$$\text{Barr:} \quad \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon_r}{3.7} + \frac{5.1286}{Re^{0.89}} \right) \quad (6)$$

$$\text{Haaland:} \quad \frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left(\left(\frac{\epsilon_r}{3.7} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re} \right) \quad (7)$$

$$\text{Moody:} \quad f = 0.001375 \left[1 + \left(200 \epsilon_r + \frac{10^6}{Re} \right)^{1/3} \right] \quad (8)$$

Blasius (tuberías de plástico en turbulento liso, PE; $Re < 10^5$)

$$h_c = 0.473 \cdot \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}} \cdot L \quad (9)$$

Hazen – Williams:

$$h_c = \frac{10.7}{C^{1.85} \cdot D^{4.75}} \cdot Q^{1.85} \cdot L \quad (10)$$

donde:

- Re : Número de Reynolds
D : diámetro de la tubería (metros)
L : longitud de la tubería (metros)
Q : caudal circulante por la tubería (m³/hr)

2.2.3. Pérdidas singulares

Las pérdidas singulares son las producidas por cualquier obstáculo colocado en la tubería y que suponga una mayor o menor obstrucción al paso del flujo: entradas y salidas de las tuberías, codos, válvulas, cambios de sección, etc. Normalmente son pequeñas comparadas con las pérdidas lineales, salvo que se trate de válvulas muy cerradas. Para su estimación se suele emplear la siguiente expresión:

$$h_{ps} = \xi \frac{v^2}{2g} = \dots = \xi \frac{8}{g\pi^2 D^4} Q^2 \quad (11)$$

Donde h_{ps} es la pérdida de carga en la singularidad, que se supone proporcional a la energía cinética en valor promedio del flujo; la constante de proporcionalidad, ξ , es el denominado coeficiente de pérdidas singulares también conocido como K .

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Materiales

En el presente proyecto se trabajó con los siguientes materiales.

3.1.1 Elementos para la construcción del “soporte” del Banco de Pruebas

- 05 Tubo cuadrado de fierro de 1”x1”x1/8”
- 01 Tubo de fierro de 2” de diámetro.
- 01 Tubo de fierro de 2”x1”x1/8”
- 01 Kg de soldadura gruesa.
- 01 Kg de soldadura fina
- 04 Garruchas de metal.

3.1.2 Elementos para la construcción del banco de pruebas

Válvulas

- 08 Válvulas esféricas PVC de ¾” – Sanking
- 03 Válvulas esféricas PVC de 1” – Sanking
- 02 Válvulas de asiento inclinado de ¾” – Plasson
- 02 Válvulas hidráulicas de 1” – Dorot
- 01 Piloto sostenedor de presión – Dorot
- 01 Piloto reductor de presión – Bermad
- 01 Válvula de aire de ½” – Teffen
- 01 Filtro de Anillos 120mesh de 1” – Azud
- 01 Tubo de Venturi de 1” con manguera de inyección

Uniones

- 22 Unión Universal PVC de ¾” SP
- 01 Unión Universal PVC de 1” SP
- 02 Uniones PVC de ½” SP
- 10 Uniones mixtas PVC ¾”

- 04 Uniones mixtas PVC 1"
- 04 Adaptadores presión-rosca PVC 1"
- 02 Adatadores para manguera PE de 3/4" x 16mm
- 02 Adatadores para manguera PE de 3/4" x 20mm
- 02 Adatadores para manguera PE de 3/4" x 23mm

Tees

- 13 Tee PVC de 3/4" SP
- 02 Tee PVC de 1" SP

Codos

- 13 Codo PVC de 3/4" x 90° SP
- 02 Codos PVC de 3/4" x 45° SP
- 07 Codo PVC de 1" x 90° SP

Reducciones

- 09 Reducción PVC de 1" - 3/4" SP
- 02 Reducción PVC de 3/4" - 1/2" SP
- 02 Reducción PVC de 2 1/2" - 3/4" SP

Tuberías y mangueras

- 02 Tubería PVC C-10 de 1" x 5m
- 03 Tubería PVC C-10 de 3/4" x 5m
- 01 Tubería PVC C-10 de 1/2" x 5m
- 01 Manguera PE C-2.5 de 16mm x 30m

Equipos y accesorios para la medición de presión

- 27 Collarín PE de 23mm x 1/2" con pernos – Irritec
- 12 Collarín PE de 32mm x 1/2" con pernos – Irritec
- 39 Bushing PE de 3/4" - 1/2" – Teffen
- 39 Tomas manométricas PE de 1/2" – Teffen
- 04 Agujas metálicas con adaptador para manómetro
- 01 Manómetro de glicerina tipo Bourdon de 0-6bar
- 01 Manómetro de glicerina tipo Bourdon de 0-2.5bar

- 01 Manómetro de glicerina tipo Bourdon de 0-1bar
- 01 Manómetro seco tipo Bourdon de 0.6bar

3.1.3. Equipos y accesorios del laboratorio

- 01 Depósito de 350 litros para el almacenamiento de agua
- 02 Bomba de 0.7HP – Pedrollo
- 01 Bomba de 0.85HP – Pedrollo
- 01 Filtro de anillos 120 mesh de 1” – Azud

3.2 Metodología

El presente trabajo se desarrolló en dos fases: fase de laboratorio y fase de gabinete.

3.2.1 Fase de laboratorio

a. Diseño del banco de pruebas

Para el diseño del banco de prueba se tomó en cuenta las características de los equipos y materiales que se evaluaron así como pruebas y condiciones de trabajo a las que fueran sometidas siendo el rango de operación desde 0.15 l/s hasta 1.20 l/s.

Las dimensiones se estimaron en base al tamaño de los equipos y a las longitudes mínimas de las tuberías requeridas para la obtención de valores representativos al momento de la evaluación. Por otro lado debía haber comodidad para que el operador pueda maniobrar los elementos que conforman dicho banco.

El banco de pruebas fue conformado por tuberías lisas y rugosas de PVC, válvulas hidráulicas con piloto reductor y sostenedor de presión, válvulas plasson, válvulas esféricas, tubo de Venturi, filtro de anillos, singularidades y puntos de prueba de presión. En la parte inferior tiene una bandeja de metal sobre la cual recolecta el agua que sale del banco y lo lleva al depósito de agua para su recirculación.

b. Construcción del Banco de Pruebas

La parte fundamental de la construcción del banco de pruebas se realizó en el laboratorio de Riego y Drenaje del D.R.H. de la facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Una vez realizado el diseño se procedió con la construcción de la estructura de soporte del banco y la bandeja. Posteriormente se procedió con el armado y colocado de tuberías, válvulas y demás accesorios. (Ver plano esquemático del Banco de Pruebas en el Anexo N° 04)

c. Evaluación del Banco de Pruebas

Se realizaron los siguientes ensayos.

A. Tuberías PVC lisas

Se determinó la pérdida de carga entre dos puntos de una tubería separados 1.80m de distancia, y sin que exista entre ellos algún elemento singular. Posteriormente se plotearon, en un eje de coordenadas (caudal vs pérdida de carga), los datos obtenidos teórica y experimentalmente comparándose visualmente los trazos unos a otros eligiendo como resultado la curva teórica que más se acerque a los puntos obtenidos de la medición directa en el banco de pruebas. Se complementó estos resultados con la comparación de los datos experimentales y teóricos usando la fórmula de equilibrio de NASH, eligiendo como resultado el índice de equilibrio de mayor valor. Las fórmulas empíricas comparadas fueron las de Darcy-Weisbach, Hazen-Williams y Blasius.

B. Válvula de asiento inclinado

Se determinó la carga de agua antes y después de la válvula con la variación de estos valores cerrando gradualmente el paso de la misma. Con los valores de caudal (l/s) y la pérdida de carga (m.c.a) se halló la curva de “funcionamiento” para la válvula

completamente abierta y semiabierta mediante regresión matemática comparando los resultados obtenidos.

C. Expansión y reducción con transición en tuberías lisas

Se determinó la carga de agua en cuatro puntos de este elemento: antes y después del ensanchamiento y de la contracción. Con los valores de caudal (l/s) y la pérdida de carga (m.c.a.) se halló el perfil piezométrico y la línea de energía comparando ambos resultados obtenidos para caudal diferente.

D. Válvula Hidráulica con piloto sostenedor de presión

Este ensayo fue netamente demostrativo en el que se calibró el piloto sostenedor para regular la presión aguas arriba de la válvula hidráulica y observar el funcionamiento del mismo.

E. Válvula Hidráulica con piloto reductor de presión

Este ensayo fue netamente demostrativo en el que calibró el piloto reductor para regular la presión aguas abajo de la válvula hidráulica y observar el funcionamiento del mismo.

F. Tubo de Venturi

Se determinó el caudal de succión del tubo de Venturi para diferentes caídas de presión a través de este. Posteriormente, con los datos obtenidos se halló la curva de “funcionamiento” caudal (l/hr) vs pérdida de carga (m.c.a.) para el Venturi mediante regresión matemática comparando los resultados obtenidos.

G. Filtro de Anillos

Se determinó la pérdida de carga en la entrada y salida de este elemento con diferentes caudales. Con los datos obtenidos se halló la curva de “funcionamiento” caudal vs presión para el filtro mediante regresión matemática comparando los resultados obtenidos con las curvas dadas por el fabricante.

H. Redes en paralelo y en serie

Se evaluaron las dos configuraciones de redes de tuberías: en serie y en paralelo. Se contrastó las distribuciones de presiones mediante medición directa, con los datos de presiones obtenidas de las curvas generadas por las singularidades.

I. Singularidades

Se determinó las pérdidas de carga en diversos elementos como codos, tees, válvulas esféricas, etc. Con los valores de caudal (l/s) y pérdida de carga (m.c.a.) se elaboró curvas de “funcionamiento” para cada accesorio mediante regresión matemática comparando los resultados obtenidos entre sí.

3.2.2 Fase de gabinete

En esta fase se procesó la información obtenida en el laboratorio:

Se utilizaron los datos y mediciones tomadas en el Banco de Pruebas. Estos datos fueron principalmente de presión y caudal. Para el procesamiento automático de datos se trabajó en una hoja de cálculo de Excel, lo cual permitió realizar las evaluaciones de diversas expresiones y fórmulas empleadas. Los resultados obtenidos se presentan en el capítulo de resultados con las respectivas especificaciones técnicas.

Los resultados de las evaluaciones de las pérdidas de carga de las tuberías y accesorios son los coeficientes de fricción y las curvas de Pérdida de Carga vs Caudal, respectivamente. Los valores de pérdidas de cargas obtenidas

experimentalmente son comparadas con las calculadas matemáticamente de fórmulas empíricas como son: Darcy-Weisbach, Hazen-Williams, Blasius.

3.3. Descripción del Banco de Pruebas

3.3.1. Equipo de Bombeo

Se usó el equipo existente en el Laboratorio de Riego y Drenaje conformada por dos electrobombas de las siguientes características y cuyas curvas de funcionamiento se presentan en los gráficos N° 01, N° 02, N° 03, N° 04.

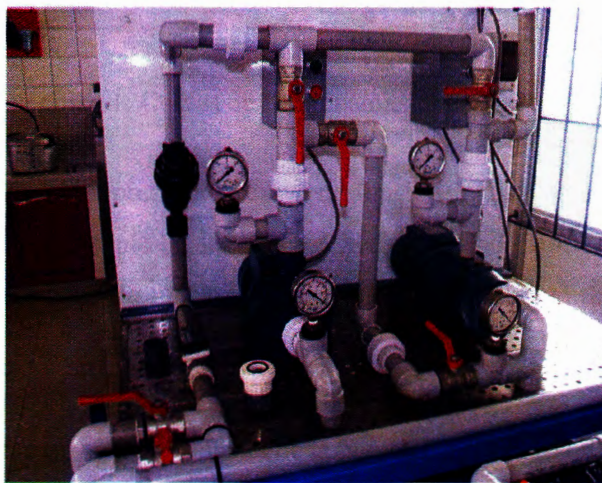


Foto N° 01: Equipo de Bombeo

Marca : PEDROLLO

Modelo : *CPm 610x*

Tipo : Centrífuga

Velocidad : 3450 RPM

Potencia : 0.85HP

Presión : 28.5-13m

Caudal : 10-70l/min

Amperaje : 4Amp.

Voltaje : 220V

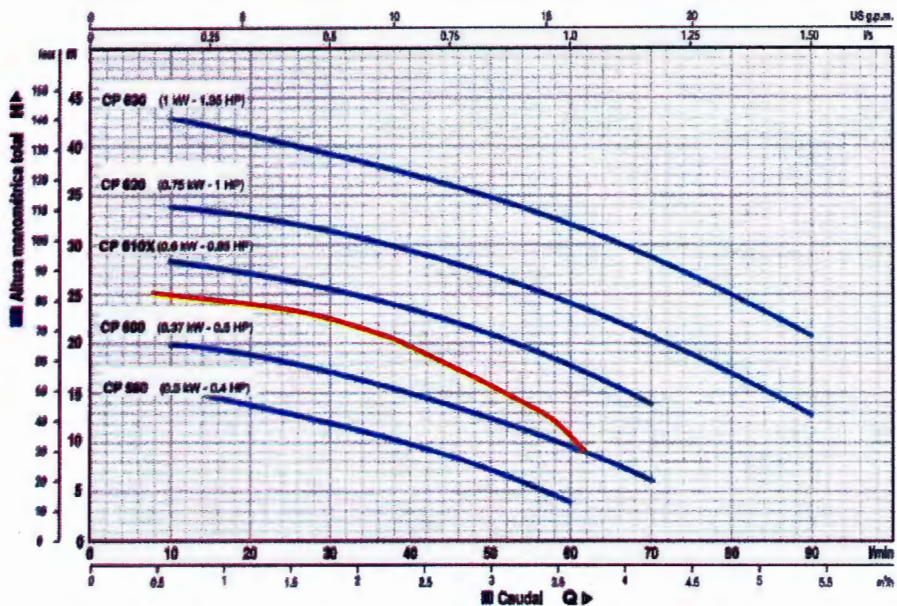


Gráfico 1: Curvas de funcionamiento de bomba CP 610X

Del Gráfico 1: la línea roja representa la curva de funcionamiento de la bomba CP 610X hallado experimentalmente de las pruebas hechas en laboratorio. Las líneas azules representan las curvas de funcionamiento teóricas (de fábrica) de diferentes modelos de bomba.

Comparando la curva teórica y experimental de la bomba CP 610X se observa que la bomba no se desempeñó según las especificaciones hechas por el fabricante estando por debajo de su capacidad real.

Marca : PEDROLLO
 Modelo : JSWm 1B
 Tipo : Centrífuga
 Velocidad : 3450RPM
 Potencia : 0.70HP
 Presión : 36-15m
 Caudal : 5-50l/min
 Amperaje : 3.4Amp
 Voltaje : 220V

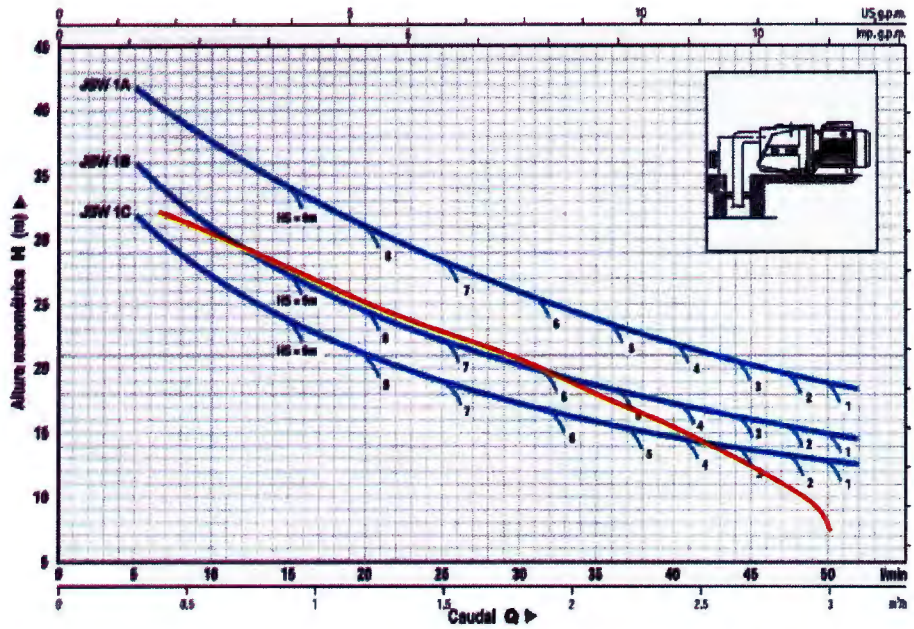


Gráfico 2: Curva de funcionamiento de bomba JSW 1B

Del Gráfico 2: la línea roja representa la curva de funcionamiento de la bomba JSWm 1B hallado experimentalmente de las pruebas hechas en laboratorio. Las líneas azules representan las curvas de funcionamiento teóricas (de fábrica) de diferentes modelos de bomba.

Comparando la curva teórica y experimental de la bomba JSWm 1B se observa que la bomba no se desempeñó según las especificaciones hechas por el fabricante estando por encima de su capacidad real en presiones altas y por debajo con presiones bajas.

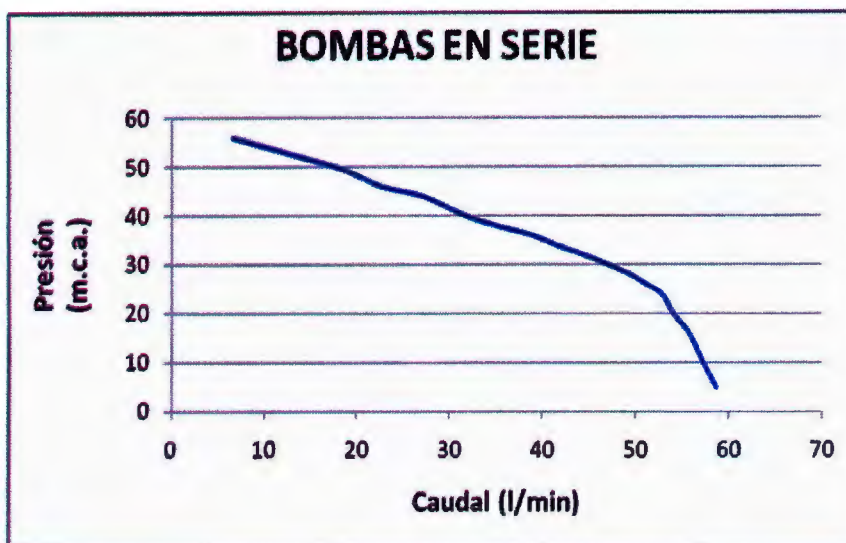


Gráfico 3: Curva de funcionamiento de bombas en serie

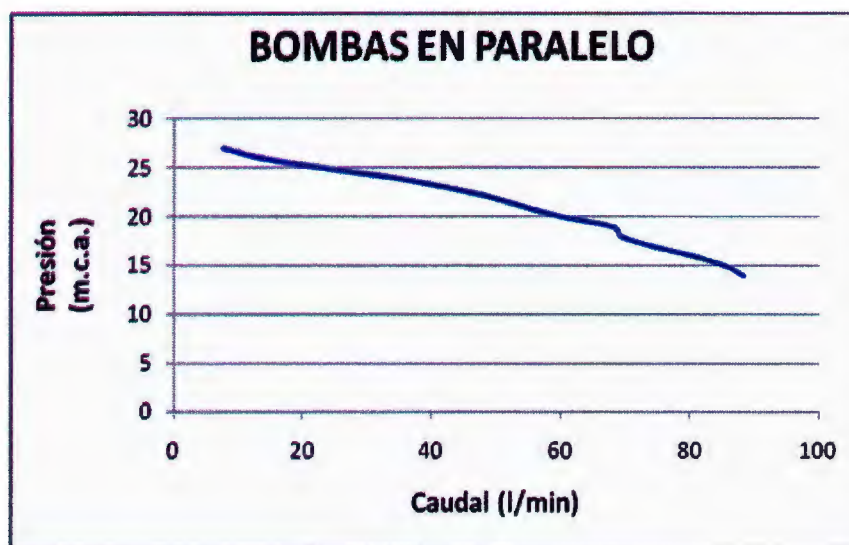


Gráfico 4: Curva de funcionamiento de bombas en paralelo

Las conexiones entre ellas permiten hacerlas trabajar simultáneamente en serie o en paralelo para lograr presiones o caudales altos, respectivamente. Las tuberías usadas para estas conexiones son de PVC C-10 de 1" de diámetro.

Para medir el caudal se utilizó un caudalímetro electrónico marca GPI, instalada a la salida del equipo de bombeo tomando como unidad de medida litros/minuto (l/min).

3.3.2. Depósito de agua

Se usó el equipo existente en el Laboratorio de Riego y Drenaje conformado por un depósito de metal de 60cm x 100cm de base con una altura de 65cm para una capacidad aproximada de 350lt. El agua utilizada fue agua potable tomada de los grifos del laboratorio que se almacena a temperatura ambiente de 21°C.

3.3.3. Estructura de soporte del Banco de Pruebas

Se construyó una estructura móvil para soportar el Banco de Pruebas y las vibraciones generadas al ponerlo en funcionamiento. Para ellos se utilizaron tubos de fierro y planchas de metal para captar el agua que salga del banco y devolverlo al depósito de agua. La dimensión de esta estructura es de 2.50m x 1.30m x 1.20m de alto.



Foto N° 02: Estructura de soporte del Banco de Pruebas.

3.3.4. Elementos del Banco de Pruebas

a. Conducción y distribución del agua

La unidad de conducción de agua consta de dos partes: la de entrada de agua que consiste en una tubería de PVC de 1" de diámetro en cuya parte inicial lleva una unión Universal para el fácil empalme o desempalme a la unidad de bombeo, y la de la salida de agua con tuberías y accesorios de 3/4" de diámetro con una válvula de asiento inclinado marca Plasson de 3/4" de diámetro para la regulación de la presión en el banco. Además se colocó una manguera de polietileno de 25mm con una acople 3/4" a 25mm para el desfogue de agua al depósito para ser rebombeando al sistema.

Para la distribución del agua se utilizaron 5 válvulas esféricas de PVC de 3/4" diámetro, que independizan el flujo en cada línea evaluada. Se usó además tuberías de 3/4", 4 codos de 3/4", 8 tees de 3/4", un codo de 1" y una reducción de 1" a 3/4" de diámetro para las conexiones entre las válvulas y toda la unidad de conducción. Ver esquema en anexos.

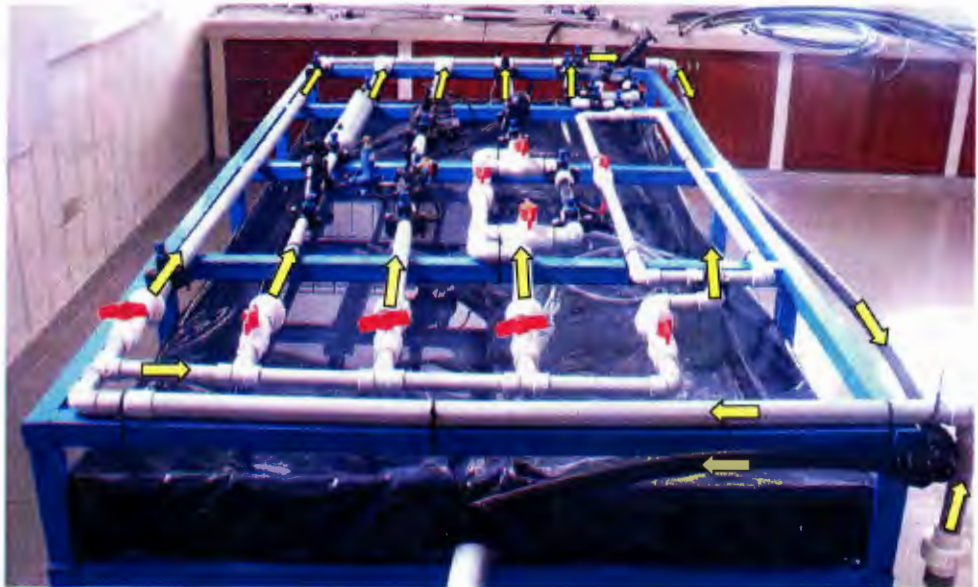


Foto N° 03: Conducción y distribución del agua.

b. Puntos de prueba de presión

Los puntos de prueba de presión se colocaron al inicio y al final de cada tubería y a la entrada y salida de cada accesorio o elemento singular. Los puntos de prueba se conformaron por collarines de PE de 32mm x ½" y 25mm x ½" (según el diámetro de la tubería), bushing de ½"-¼", y tomas manométricas tipo aguja de ¼" y de ⅛".

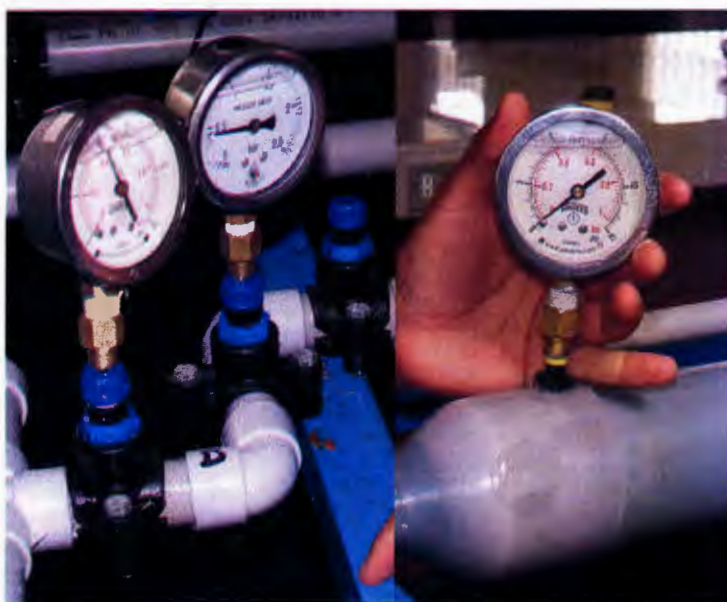


Foto N° 04 y 05: Puntos de prueba de presión.

c. Líneas de evaluación de elementos

c.1. Línea de evaluación I

Se armaron 3 líneas de conducción portátiles con uniones universales de ¾" de diámetro al inicio y al final de cada línea para el fácil ensamble o desensamble. Las líneas se conformaron por tuberías de PVC C-10 de 1", ¾", ½" de diámetro con interiores lisos, con una longitud de 1.80m; se usaron además 2 reducciones de 1"-¾" y 2 reducciones de ¾" a ½" de diámetro.

Se instalaron 2 puntos de prueba de presión por cada tubería, separados 1.80m entre sí.

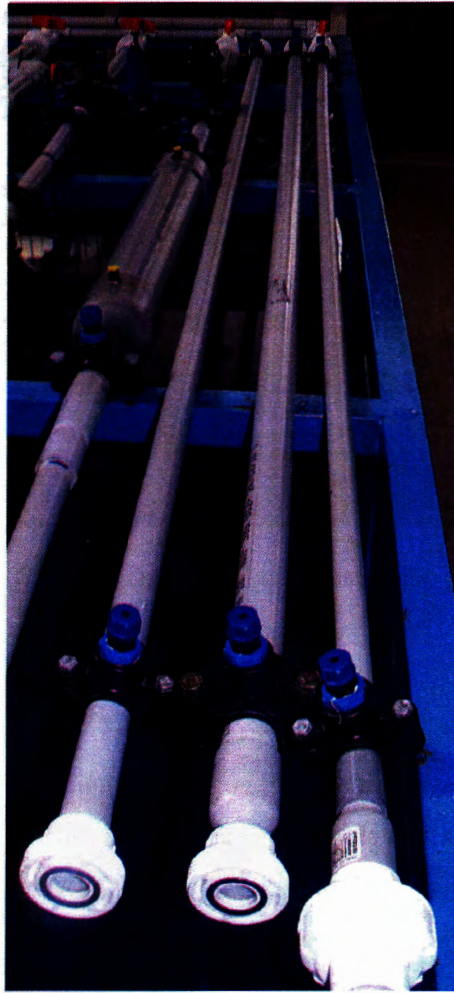


Foto N° 06: Tuberías de PVC lisas de 1/2", 3/4", y 1"

c.2. Línea de evaluación II

Se armó una línea de conducción portátil con uniones universales de 3/4" de diámetro al inicio y al final de cada línea para el fácil ensamble o desensamble. La línea se conformó por una tubería de PVC C-10 de 3/4" de diámetro, una válvula de asiento inclinado marca Plasson de 3/4", 2 reducciones de 2 1/2" a 3/4", 1 niple de 2 1/2" de diámetro, 2 uniones mixtas de 3/4" y 2 uniones de simple presión de 3/4".

Se colocaron 4 puntos de prueba de presión de 1/4", antes y después de la válvula Plasson y de las reducciones 2 1/2" a 3/4" que unen el niple de 2 1/2"; y 2 puntos de prueba de 1/8" sobre el niple de 2 1/2" a inicio y al final de éste.

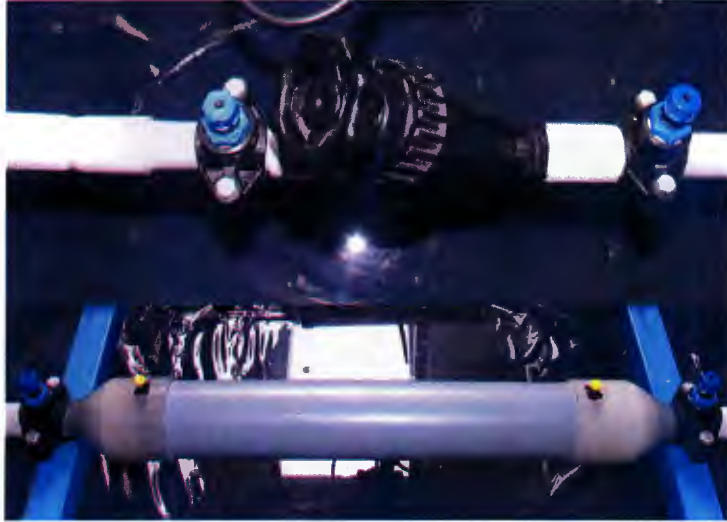


Foto N° 07 y 08: Válvula oblicua; expansión y contracción.

c.3. Línea de Evaluación III

Se armó una línea de conducción portátil con uniones universales de $\frac{3}{4}$ " de diámetro al inicio y al final de cada línea para el fácil ensamble o desensamble. La línea se conformó por una tubería de PVC C-10 de 1" de diámetro con reducciones de 1" a $\frac{3}{4}$ " al inicio y al final de este tramo, 2 válvulas hidráulicas marca Dorot de 1", un piloto sostenedor de presión marca Dorot y un piloto reductor de presión marca Bermad, éstas últimas instaladas en sus respectivas válvulas hidráulicas.



Foto N° 09: Válvula hidráulica con piloto sostenedor de presión.

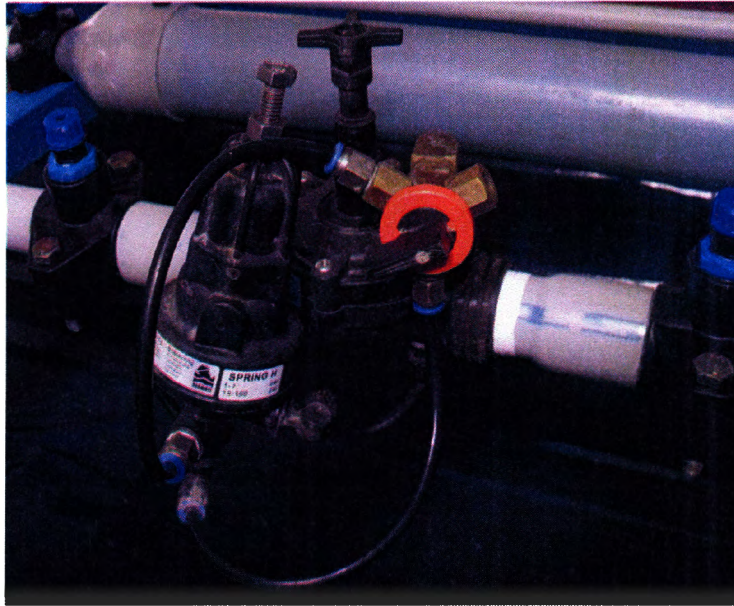


Foto N° 10: Válvula hidráulica con piloto reductor de presión.

c.4. Línea de Evaluación IV

Se armó una línea de conducción portátil con uniones universales de $\frac{3}{4}$ " de diámetro al inicio y al final de cada línea para el fácil ensamble o desensamble. La línea se conformó por una tubería de PVC C-10 de 1" de diámetro con reducciones de 1" a $\frac{3}{4}$ " al inicio y al final de este tramo, un tubo de Venturi de 1" de diámetro con manguera de succión y canastilla, 3 válvulas esféricas de PVC de 1" de diámetro para la regulación del paso de agua por el Venturi, un Filtro de Anillos de 1" y de 120mesh marca Azud, 4 uniones mixtas de 1", 2 tees de 1" y 6 codos de 1".

Se colocaron 4 puntos de prueba de presión antes y después del tubo de Venturi y el filtro de Anillos.

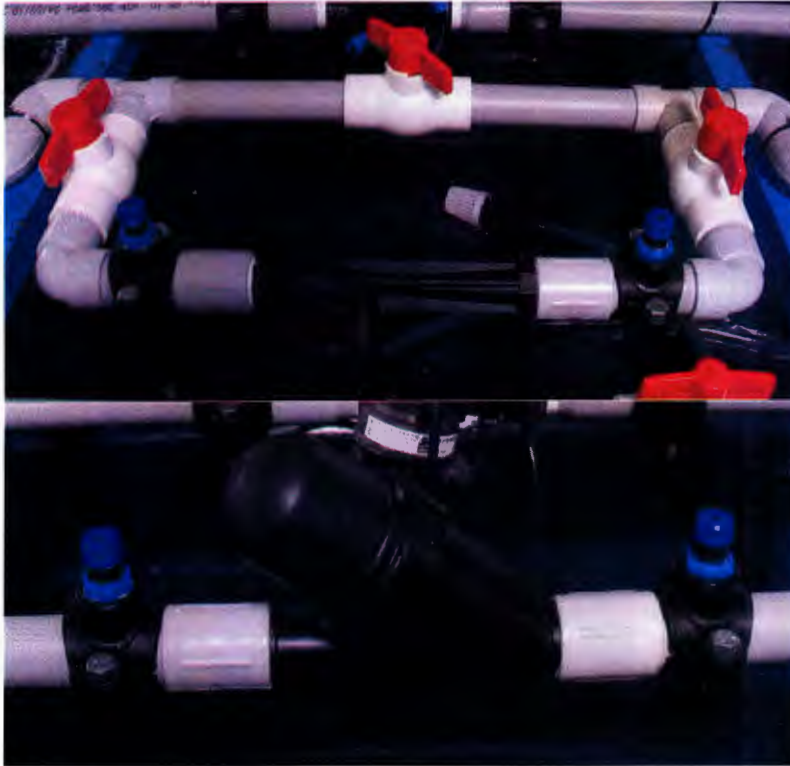


Foto N° 11: Tubo de Venturi y Filtro de Anillos.

c.5. Línea de Evaluación V

Se armó una línea de conducción portátil con uniones universales de $\frac{3}{4}$ " de diámetro al inicio y al final de cada línea para el fácil ensamble o desensamble. La línea se conformó por una tubería de PVC C-10 de $\frac{3}{4}$ " de diámetro, 3 válvulas esféricas de PVC de $\frac{3}{4}$ ", 9 codos de $\frac{3}{4}$ ", 4 tees $\frac{3}{4}$ " y 2 codos de $\frac{3}{4}$ " x 45° que conforman 2 redes paralelas de tuberías y accesorios de conexión.

Se colocaron 11 puntos de prueba de presión antes y después de cada red, así como de cada singularidad.



Foto N° 12: Singularidades, red en serie y en paralelo.

d. Mandos Hidráulicos para la apertura y cierre de Válvulas Hidráulicas

Los mandos hidráulicos se ubicaron a la entrada del banco en donde la presión en este punto es mayor que en cualquier otro punto del banco de pruebas, necesario para el funcionamiento de los mandos. Se armó una línea de conducción con accesorios de fierro galvanizado de $\frac{1}{4}$ ", a la que llamamos "Quena", y en donde se ubican las válvulas de 3 vías. Desde este punto se tendieron mangueras de PE de 8mm hacia las válvulas de 3 vías colocadas sobre las válvulas hidráulicas.



Foto N° 13: Control de mandos hidráulicos

3.4. Operación del Banco

Para la operación del Banco de Pruebas se usaron cinco formas específicas para evaluar los accesorios, las cuales se detallan a continuación.

3.4.1. Evaluación de tuberías lisas

1. Antes de encender la bomba se cebó la misma y se abrieron las válvulas 1, 2 y I, cerrando las válvulas restantes para que el agua entre y salga del banco circulando sólo por la línea de conducción I. (Ver esquema en anexos)
2. Se procedió a regular el caudal de circulación del banco con la válvula 1, cerrándola hasta que el flujo se aproxime a 10 l/min.
3. Se midió la presión de entrada en la línea I con el manómetro de 0-2.5bar asegurando que la presión de lectura sea menor a 1bar para no dañar el manómetro con el que se miden las pruebas (0-1bar). Cuando la presión fue mayor a la indicada anteriormente, se reguló ésta con las válvulas 1 y 2.
4. Se procedió a medir la presión en el punto de entrada y salida de la tubería de la línea I con el manómetro de 0-1bar. Cuando no se apreció lectura alguna se procedió a cerrar la válvula 2 gradualmente para elevar la presión en el banco.

5. Se reguló un nuevo caudal mayor al anterior con las válvulas 1 y 2. Y se repitió el paso N° 4.

6. Una vez que la bomba utilizada llegó a su capacidad de caudal máximo se procedió a encender la segunda bomba configurando ambas en paralelo para obtener caudales más altos. Se repitieron los pasos N° 3, 4 y 5.

7. Se apagaron las bombas y para cambiar los diámetros de tuberías y realizar nuevas pruebas.

8. Para la tubería de 1" se midieron las presiones al inicio y al final del tubo cada 10 l/min, para las tuberías de ¾" y ½" se midieron las presiones al inicio y al final del tubo cada 5 l/min.

9. Los datos obtenidos se anotaron en el formato para la recopilación de datos para las pérdidas de carga por fricción en tuberías lisas.

Formato N° 01: Recopilación de datos para tuberías.

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS</p> <p>FORMATO DE RECOPIACION DE DATOS PARA LAS PERDIDAS DE CARGA POR FRICCION EN TUBERIAS</p>							
No	Longitud Tramo (m)	Diámetro		Caudal (l/min)	Presión		Observaciones
		Nominal (pulg)	Interno (mm)		Entrada (m)	Salida (m)	

3.4.2. Evaluación de Válvula de asiento inclinado.

1. Antes de encender la bomba se cebó la misma y se abrieron las válvulas 1, 2 y II, cerrando las válvulas restantes para que el agua entre y salga del banco circulando sólo por la línea de conducción II.
2. Se procedió a regular el caudal de circulación del banco con la válvula 1, cerrándola hasta que el flujo se aproxime a 10 l/min.
3. Se midió la presión de entrada en la línea II con el manómetro de 0-2.5bar asegurando que la presión de lectura sea menor a 1bar para no dañar el manómetro con el que se miden las pruebas (0-1bar). Cuando la presión fue mayor a la indicada anteriormente, se reguló ésta con las válvulas 1 y 2.
4. Se procedió a medir la presión en el punto de entrada y salida de la Válvula Plasson totalmente abierta ubicada en la línea de conducción II con el manómetro de 0-1bar. Cuando no se apreció lectura alguna se procedió a cerrar la válvula 2 gradualmente para elevar la presión en el banco.
5. Se reguló un nuevo caudal mayor al anterior con las válvulas 1 y 2. Y se repitió el paso N° 4.
6. Una vez que la bomba utilizada llegó a su capacidad de caudal máximo se procedió a encender la segunda bomba configurando ambas en paralelo para obtener caudales más altos. Se repitieron los pasos N° 3, 4 y 5.
7. La válvula plasson cierra completamente en 4 vueltas y 1/2. Para esta prueba se midieron las presiones cada ¼ de vuelta empezando en la 2° vuelta y 1/2, y terminando en 4 vueltas y ¼. Las pruebas se repitieron para cada una de ellas con caudales de cada 10 l/min.
8. Se repitieron los pasos N° 2, 3, 4, 5 y 6 para cada grado de cierre de la válvula.

9. Los datos obtenidos se anotaron en el formato para la recopilación de datos de la Válvula de Asiento Inclinado.

Formato N° 02: Recopilación de datos para Válvula Oblicua.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS						
FORMATO DE RECOPIACION DE DATOS PARA LA PERDIDAS DE CARGA EN LA VALVULA DE ASIEN TO INCLINADO - PLASSON						
No	Abertura válvula (vueltas)	Diámetro Nominal (pulg)	Caudal (l/min)	Presión		Observaciones
				Entrada (m)	Salida (m)	

3.4.3. Evaluación de expansión y reducción con transición en tuberías.

1. Antes de encender la bomba se cebó la misma y se abrieron las válvulas 1, 2 y II, cerrando las válvulas restantes para que el agua entre y salga del banco circulando sólo por la línea de conducción II.
2. Se procedió a regular el caudal de circulación del banco con la válvula 1, cerrándola hasta que el flujo se aproximó a 10 l/min.
3. Se midió la presión de entrada en la línea II con el manómetro de 0-2.5 bar asegurando que la presión de lectura sea menor a 1 bar para no dañar el manómetro

con el que se miden las pruebas (0-1 bar). Cuando la presión fue mayor a la indicada anteriormente, se reguló ésta con las válvulas 1 y 2.

4. Se procedió a medir la presión en cada punto de prueba de ésta singularidad (1, 2, 3 y 4) ubicada en la línea de conducción II con el manómetro de 0-1bar. Cuando no se apreció lectura alguna se procedió a cerrar la válvula 2 gradualmente para elevar la presión en el banco.
5. Se reguló un nuevo caudal mayor al anterior con las válvulas 1 y 2. Y se repitió el paso N° 4.
6. Una vez que la bomba utilizada llegó a su capacidad de caudal máximo se procedió a encender la segunda bomba configurando ambas en paralelo para obtener caudales más altos. Se repitieron los pasos N° 3, 4 y 5.
7. Los caudales de lectura fueron de cada 10 l/min.
8. Los datos obtenidos se anotaron en el formato para la recopilación de datos de tuberías con ensanchamiento y contracción.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS

**FORMATO DE RECOPIACION DE DATOS DE PRESIONES EN TUBERIAS
 CON EXPANSIÓN Y REDUCCIÓN**

Diámetro (1) y (4)		Diámetro (2) y (3)		Caudal (l/min)	Presión				Observaciones
Nominal (pulg)	Interno (mm)	Nominal (pulg)	Interno (mm)		(1) (m)	(2) (m)	(3) (m)	(4) (m)	

3.4.4. Evaluación de Válvula hidráulica con piloto sostenedor de presión.

1. Antes de encender la bomba se cebó la misma y se abrieron las válvulas 1, 2 y III, cerrando las válvulas restantes para que el agua entre y salga del banco circulando sólo por la línea de conducción III.
2. Se dejó la válvula 2 ligeramente abierta, y se colocó en posición "auto" la válvula de 3 vías correspondiente a la válvula hidráulica del piloto sostenedor de presión.
3. Se colocó el manómetro de 2.5 bar a la entrada de la válvula hidráulica. Y con una llave de ½" de procedió a ajustar el tornillo, de la parte superior del piloto, a la presión de regulación deseada marcada en el manómetro de 2.5 bar.

4. Se manipuló la válvula 2 lentamente observándose que la presión de entrada en la válvula hidráulica se mantuvo constante cuando en condiciones normales ésta debería descender o aumentar.
5. Se repitieron los pasos N° 2, 3 y 4 para diferentes presiones de regulación.

3.4.5. Evaluación de Válvula hidráulica con piloto reductor de presión.

1. Antes de encender la bomba se cebó la misma y se abrieron las válvulas 1, 2 y III, cerrando las válvulas restantes para que el agua entre y salga del banco circulando sólo por la línea de conducción III.
2. Se dejó la válvula 2 ligeramente abierta, y se colocó en posición “auto” la válvula de 3 vías correspondiente a la válvula hidráulica del piloto reductor de presión.
3. Se colocó el manómetro de 2.5bar a la entrada de la válvula hidráulica y el de 1.0 bar a la salida de la misma. Y con una llave de ½” de procedió a ajustar el tornillo, de la parte superior del piloto, a la presión de regulación deseada marcada en el manómetro de 1.0 bar.
4. Se cerró la válvula 2 lentamente observándose que la presión de salida en la válvula hidráulica se mantuvo constante cuando en condiciones normales ésta debería aumentar.
5. Se repitieron los pasos N° 2, 3 y 4 para diferentes presiones de regulación.

3.4.6. Evaluación del Tubo de Venturi.

1. Antes de encender la bomba se cebó la misma y se abrieron las válvulas 1, 2 y IV, cerrando las válvulas restantes para que el agua entre y salga del banco circulando sólo por la línea de conducción IV.

2. Se colocaron manómetros a la entrada y salida del Venturi de 2.5bar y 1.0bar, respectivamente. Con la válvula esférica en el “puente” paralelo al Venturi se procedió a ajustar la presión de entrada del Venturi a 11m.c.a.
3. Con una probeta llena de agua de 2000ml de capacidad, y con la canastilla de succión del Venturi en ella, se procedió a abrir totalmente la válvula de la manguera de succión eliminando el aire de su interior.
4. Una vez realizado el purgado de aire se tomó el tiempo en el que el Venturi consumió cierto volumen de agua.
5. Se repitieron los pasos N° 3 y 4 para diferentes presiones de entrada
6. Se anotaron los valores de presión de entrada, presión de salida, volumen inicial, volumen final y tiempo en el formato para la recopilación de datos del Tubo de Venturi.

Formato N° 04: Recopilación de datos para el Tubo de Venturi.

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS</p> <p>FORMATO DE RECOPIACION DE DATOS PARA AFORO DE CAUDALES EN EL TUBO DE VENTURI</p>								
No	Caudal (l/min)	Presión Venturi		Volumen Probeta			Tiempo (seg)	Observaciones
		Entrada (m)	Salida (m)	Inicial (ml)	Final (ml)	Aforado (ml)		

3.4.7. Evaluación del Filtro de Anillos.

1. Antes de encender la bomba se cebó la misma y se abrieron las válvulas 1, 2 y IV, cerrando las válvulas restantes para que el agua entre y salga del banco circulando sólo por la línea de conducción IV.
2. Se procedió a regular el caudal de circulación del banco con la válvula 1, cerrándola hasta que el flujo se aproxime a 10 l/min.
3. Se midió la presión de entrada en la línea II con el manómetro de 0-2.5bar asegurando que la presión de lectura sea menor a 1bar para no dañar el manómetro con el que se miden las pruebas (0-1bar). Cuando la presión fue mayor a la indicada anteriormente, se reguló ésta con las válvulas 1 y 2.
4. Se procedió a medir la presión en el punto de entrada y salida del Filtro de Anillos totalmente ubicada en la línea de conducción IV con el manómetro de 0-1bar. Cuando no se apreció lectura alguna se procedió a cerrar la válvula 2 gradualmente para elevar la presión en el banco.
5. Se reguló un nuevo caudal mayor al anterior con las válvulas 1 y 2. Y se repitió el paso N° 4.
6. Una vez que la bomba utilizada llegó a su capacidad de caudal máximo se procedió a encender la segunda bomba configurando ambas en paralelo para obtener caudales más altos. Se repitieron los pasos N° 3, 4 y 5.
7. Los caudales de lectura fueron de cada 10 l/min.
8. Los datos obtenidos se anotaron en el formato para la recopilación de datos del Filtro de Anillos.

Formato N° 05: Recopilación de datos para el filtro de Anillos

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA					
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA					
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS					
FORMATO DE RECOPIACION DE DATOS PARA LAS PERDIDAS DE CARGA EN EL FILTRO DE ANILLOS					
No	Diámetro Nominal (pulg)	Caudal (l/min)	Presión		Observaciones
			Entrada (m)	Salida (m)	

3.4.8. Evaluación de redes en serie y paralelo.

1. Antes de encender la bomba se cebó la misma y se abrieron las válvulas 1, 2 y V, cerrando las válvulas restantes para que el agua entre y salga del banco circulando sólo por la línea de conducción V.
2. Se procedió a regular el caudal de circulación del banco con la válvula 1, cerrándola hasta que el flujo se aproxime a 10 l/min.
3. Se midió la presión de entrada en la línea V con el manómetro de 0-2.5bar asegurando que la presión de lectura sea menor a 1bar para no dañar el manómetro con el que se miden las pruebas (0-1bar). Cuando la presión fue mayor a la indicada anteriormente, se reguló ésta con las válvulas 1 y 2.

4. Se procedió a medir la presión en los puntos de prueba A y B, C y J con el manómetro de 0-1bar. Cuando no se apreció lectura alguna se procedió a cerrar la válvula 2 gradualmente para elevar la presión en el banco. (Ver esquema en anexos)
5. Se reguló un nuevo caudal mayor al anterior con las válvulas 1 y 2. Y se repitió el paso N° 4.
6. Una vez que la bomba utilizada llegó a su capacidad de caudal máximo se procedió a encender la segunda bomba configurando ambas en paralelo para obtener caudales más altos. Se repitieron los pasos N° 3, 4 y 5.
7. Los caudales de lectura fueron de cada 5 l/min.

3.4.9. Evaluación de Singularidades.

1. Antes de encender la bomba se cebó la misma y se abrieron las válvulas 1, 2 y V, cerrando las válvulas restantes para que el agua entre y salga del banco circulando sólo por la línea de conducción V.
2. Se procedió a regular el caudal de circulación del banco con la válvula 1, cerrándola hasta que el flujo se aproxime a 20 l/min.
3. Se midió la presión de entrada en la línea V con el manómetro de 0-2.5bar asegurando que la presión de lectura sea menor a 1bar para no dañar el manómetro con el que se medirán las pruebas (0-1bar). Cuando la presión fue mayor a la indicada anteriormente, se reguló ésta con las válvulas 1 y 2.
4. Se procedió a medir la presión en todos los puntos de prueba ubicados en la línea de conducción V con el manómetro de 0-1bar (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K). Cuando no se apreció lectura alguna se procedió a cerrar la válvula 2 gradualmente para elevar la presión en el banco.

5. Se reguló un nuevo caudal mayor al anterior con las válvulas 1 y 2. Y se repitió el paso N° 4.
6. Una vez que la bomba utilizada llegó a su capacidad de caudal máximo se procedió a encender la segunda bomba configurando ambas en paralelo para obtener caudales más altos. Se repitieron los pasos N° 3, 4 y 5.
7. Los caudales de lectura fueron cada 5 l/min.
8. Los datos obtenidos se anotaron en el formato para la recopilación de datos de Singularidades.

Formato N° 06: recopilación de para singularidades

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA														
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA														
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS														
FORMATO DE RECOPIACION DE DATOS PARA PERDIDAS DE CARGA EN SINGULARIDADES														
No	Diámetro		Caudal (l/min)	Presión										
	Nominal (pulg)	Interno (mm)		A (m)	B (m)	C (m)	D (m)	E (m)	F (m)	G (m)	H (m)	I (m)	J (m)	K (m)

3.4.10. Operación de los mandos hidráulicos para la apertura y cierre de válvulas.

1. Antes de encender la bomba se cebó la misma y se abrieron las válvulas 1, 2 y III, cerrando las válvulas restantes para que el agua entre y salga del banco circulando sólo por la línea de conducción III. Además las válvula de 3 vías de la “Quena” se ubicaron en posición “OPEN”

2. Las válvulas de 3 vías de las válvulas hidráulicas se colocaron en posición “AUTO” haciendo que el agua circule entre la cámara de la válvula y hidráulica y la “Quena”
3. Se manipuló las válvulas de la “Quena” hacia la posición “CLOSE” logrando que las válvulas hidráulicas se cierren remotamente.
4. Se colocó en posición “Open” las válvulas de la quena para abrir las válvulas hidráulicas. Se repitieron los pasos N° 2, 3 y 4.

IV. RESULTADOS DE PRUEBAS HIDRULICAS

4.1. LÍNEA DE EVALUACIÓN I

4.1.1. Tubería lisa de PVC de 1"

Se evaluó la pérdida de carga por fricción en un tramo de 1.80m de tubería lisa de PVC variando los caudales desde 10.9 l/min hasta 68.2 l/min. El diámetro externo e interno de dicha tubería fue de 33.0 mm y 29.4 mm, respectivamente.

Tabla N° 06

No	CAUDAL (l/min)	LECTURAS DE PRESION			PERDIDAS DE CARGA TEORICAS		
		ENTRADA (m)	SALIDA (m)	ΔH (m)	DARCY - WEISBACH	HAZEN - WILLIAMS	BLASIUS
1	10.9	3.40	3.40	0.00	0.00	0.01	0.01
2	20.1	4.60	4.55	0.05	0.02	0.02	0.02
3	30.9	6.20	6.10	0.10	0.04	0.04	0.05
4	40.1	6.40	6.35	0.05	0.06	0.07	0.07
5	44.1	2.80	2.60	0.20	0.07	0.08	0.09
6	49.8	4.40	4.20	0.20	0.09	0.10	0.11
7	58.1	5.00	4.80	0.20	0.13	0.14	0.14
8	60.5	5.80	5.60	0.20	0.14	0.15	0.15
9	68.2	6.80	6.60	0.20	0.17	0.18	0.19

La tabla N° 06 muestra la variación de caudales con los que se trabajó en la prueba así como la presión a la entrada y salida del conducto, y la pérdida de carga (ΔH) correspondiente para cada caudal. Se puede notar que las pérdidas de carga se hacen perceptibles a partir de los 20.1 l/min, y a medida que se van aumentando los caudales aumenta también la pérdida de carga debido al incremento de la fricción entre el fluido y las paredes del conducto. Siendo la máxima pérdida de carga 20cm con un caudal de 68.2 l/min y una velocidad de flujo de 1.68m/s

Por otra parte se aprecia también las pérdidas de carga teóricas obtenidas del cálculo de fórmulas empíricas: Darcy-Weisbach, Hazen-Williams, y Blasius. En los que comparándolas con las lecturas de pérdidas de carga obtenidas experimentalmente (ΔH) se aprecia cierta variación entre uno y el otro sin ser muy significativa.

Para saber cuáles de los grupos de valores de pérdidas de carga teóricas nos acerca más a las pérdidas de carga obtenidas experimentalmente usamos la “fórmula de equilibrio de NASH:

$$(\%) = 1 - \frac{\sum(\text{Ob} - \text{Ot})^2}{\sum(\text{Ob} - \text{Oprom})^2}$$

donde:

Ob : valores observados (ΔH obtenido experimentalmente)

Ot : valores teóricos (pérdidas de carga teóricas)

Oprom : promedio aritmético de valores observados.

El comparar los valores de ΔH con los obtenidos de la fórmula de Darcy-Weisbach se obtuvo:

$$\text{Oprom} = 0.139$$

$$\sum(\text{Ob} - \text{Ot})^2 = 0.044$$

$$\sum(\text{Ob} - \text{Oprom})^2 = 0.049$$

$$\text{Finalmente } (\%) = 0.095$$

El comparar los valores de ΔH con los obtenidos de la fórmula de Hazen-Williams se obtuvo:

$$\text{Oprom} = 0.139$$

$$\sum(\text{Ob} - \text{Ot})^2 = 0.036$$

$$\sum(\text{Ob} - \text{Oprom})^2 = 0.049$$

$$\text{Finalmente } (\%) = 0.255$$

El comparar los valores de ΔH con los obtenidos de la fórmula de Blasius se obtuvo:

$$\text{Oprom} = 0.139$$

$$\sum(\text{Ob} - \text{Ot})^2 = 0.031$$

$$\sum(\text{Ob} - \text{Oprom})^2 = 0.049$$

$$\text{Finalmente } (\%) = 0.373$$

De los datos obtenidos se eligió el de mayor valor ($\% = 0.373$) que corresponde al de los valores obtenidos de la fórmula de Blasius.

En el Gráfico 5 podemos corroborar visualmente lo afirmado en el párrafo anterior al observar que los puntos de las pérdidas de carga obtenidas experimentalmente se acercan más a la curva de pérdida de carga calculada de la fórmula de Blasius.

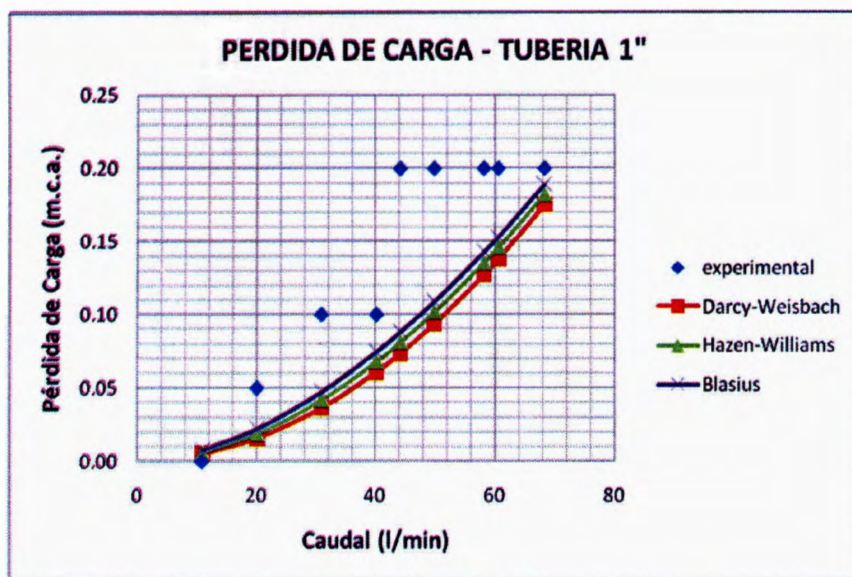


Gráfico 5: Pérdidas de carga en tubería PVC 1"

Los valores de las pruebas realizadas se presentan en el Anexo 1, en el cuadro N° 01.

4.1.2. Tubería lisa de PVC de 3/4"

Se evaluó la pérdida de carga por fricción en un tramo de 1.80m de tubería lisa de PVC variando los caudales desde 10.6 l/min hasta 71.4 l/min. El diámetro externo e interno de dicha tubería fue de 26.5mm y 22.9 mm, respectivamente.

Tabla N° 07

No	CAUDAL (l/min)	PRESION			PERDIDAS DE CARGA TEORICAS (m)		
		ENTRADA (m)	SALIDA (m)	ΔH (m)	DARCY - WEISBACH	HAZEN - WILLIAMS	BLASIUS
1	10.6	4.30	4.30	0.00	0.01	0.02	0.02
2	15.0	2.80	2.75	0.05	0.03	0.04	0.04
3	20.1	2.80	2.75	0.05	0.05	0.06	0.07
4	24.7	4.25	4.20	0.05	0.08	0.09	0.10
5	29.6	4.90	4.80	0.10	0.11	0.13	0.14
6	36.0	7.30	7.20	0.10	0.17	0.19	0.20
7	40.5	5.80	5.60	0.20	0.22	0.23	0.25
8	43.9	6.00	5.80	0.20	0.25	0.27	0.29
9	45.8	3.00	2.70	0.30	0.28	0.29	0.31
10	50.1	4.80	4.50	0.30	0.33	0.35	0.36
11	54.6	5.20	4.80	0.40	0.39	0.41	0.42
12	58.7	5.20	4.80	0.40	0.45	0.47	0.48
13	59.8	6.80	6.40	0.40	0.47	0.48	0.49
14	65.3	7.10	6.60	0.50	0.56	0.57	0.57
15	71.4	7.60	7.00	0.60	0.67	0.67	0.67

La tabla N° 07 muestra la variación de caudales con los que se trabajó en la prueba así como la presión a la entrada y salida del conducto, y la pérdida de carga (ΔH) correspondiente para cada caudal. Se puede notar que las pérdidas de carga se hacen perceptibles a partir de los 15.0 l/min, y a medida que se van aumentando los caudales aumenta también la pérdida de carga debido al incremento de la fricción entre el fluido y las paredes del conducto. Siendo la máxima pérdida de carga 60cm con un caudal de 71.4 l/min y una velocidad de flujo de 2.89m/s

Por otra parte se aprecia también las pérdidas de carga teóricas obtenidas del cálculo de fórmulas empíricas: Darcy-Weisbach, Hazen-Williams, y Blasius. En los que comparándolas con las lecturas de pérdidas de carga obtenidas experimentalmente se puede notar que no existe mucha variación entre ellas.

Para saber cuáles de los grupos de valores de pérdidas de carga teóricas nos acerca más a las pérdidas de carga obtenidas experimentalmente usamos la “fórmula de equilibrio de NASH:

$$(\%) = 1 - \frac{\sum(\text{Ob} - \text{Ot})^2}{\sum(\text{Ob} - \text{Oprom})^2}$$

donde:

Ob : valores observados (ΔH obtenido experimentalmente)

Ot : valores teóricos (pérdidas de carga teóricas)

Oprom : promedio aritmético de valores observados.

El comparar los valores de ΔH con los obtenidos de la fórmula de Darcy-Weisbach se obtuvo:

$$\text{Oprom} = 0.243$$

$$\sum(\text{Ob} - \text{Ot})^2 = 0.027$$

$$\sum(\text{Ob} - \text{Oprom})^2 = 0.489$$

$$\text{Finalmente } (\%) = 0.945$$

El comparar los valores de ΔH con los obtenidos de la fórmula de Hazen-Williams se obtuvo:

$$\text{Oprom} = 0.243$$

$$\sum(\text{Ob} - \text{Ot})^2 = 0.047$$

$$\sum(\text{Ob} - \text{Oprom})^2 = 0.489$$

$$\text{Finalmente } (\%) = 0.915$$

El comparar los valores de ΔH con los obtenidos de la fórmula de Blasius se obtuvo:

$$\text{Oprom} = 0.243$$

$$\sum(\text{Ob} - \text{Ot})^2 = 0.055$$

$$\sum(\text{Ob} - \text{Oprom})^2 = 0.489$$

$$\text{Finalmente } (\%) = 0.887$$

De los datos obtenidos se eligió el de mayor valor ($\% = 0.945$) que corresponde al de los valores obtenidos de la fórmula de Darcy-Weisbach.

En el Gráfico 6 podemos corroborar visualmente lo afirmado en el párrafo anterior al observar que los puntos de las pérdidas de carga obtenidas experimentalmente se acercan más a la curva de pérdida de carga calculada de la fórmula de Darcy-Weisbach.

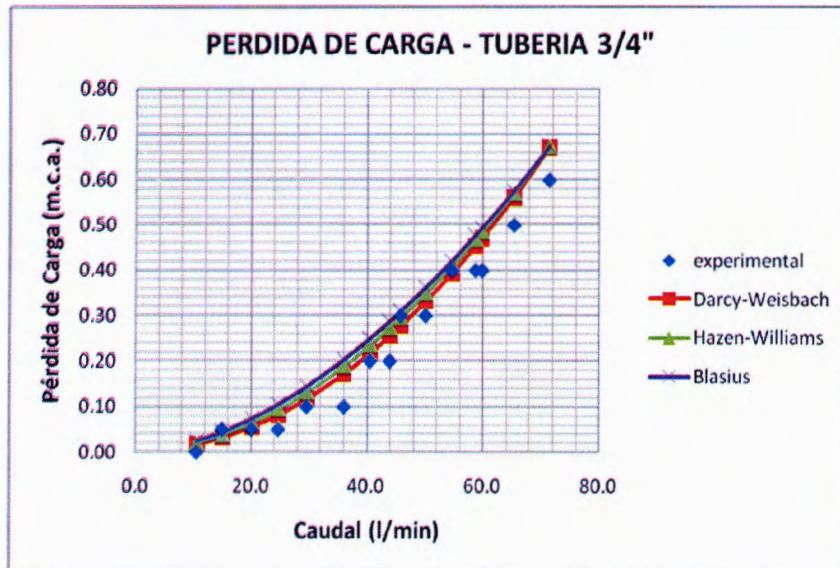


Gráfico 6: Pérdidas de carga en tubería PVC 3/4"

Los valores de las pruebas realizadas se presentan en el Anexo 1, en el cuadro N° 02.

4.1.3. Tubería lisa de PVC de 1/2".

Se evaluó la pérdida de carga por fricción en un tramo de 1.80m de tubería lisa de PVC variando los caudales desde 10.8 l/min hasta 67.2 l/min. El diámetro externo e interno de dicha tubería fue de 21.0mm y 17.4 mm, respectivamente.

Tabla N° 08

No	CAUDAL (l/min)	PRESION			PERDIDAS DE CARGA TEORICAS		
		ENTRADA (m)	SALIDA (m)	ΔH (m)	DARCY - WEISBACH	HAZEN - WILLIAMS	BLASIUS
1	10.8	2.4	2.3	0.10	0.06	0.08	0.09
2	14.9	4.3	4.2	0.10	0.11	0.14	0.16
3	20.3	4.2	4.0	0.20	0.21	0.25	0.27
4	25.0	5.5	5.2	0.30	0.32	0.37	0.39
5	30.4	6.2	5.8	0.40	0.48	0.53	0.56
6	35.4	5.0	4.4	0.60	0.65	0.70	0.72
7	39.9	6.4	5.8	0.60	0.82	0.87	0.89
8	44.9	4.9	4.0	0.90	1.04	1.08	1.10
9	50.2	6.8	5.8	1.00	1.31	1.33	1.34
10	54.7	6.4	5.1	1.30	1.55	1.56	1.55
11	57.4	5.8	4.4	1.40	1.71	1.71	1.69
12	60.3	7.0	5.6	1.40	1.88	1.87	1.84
13	64.7	7.8	6.2	1.60	2.17	2.13	2.08
14	67.2	7.8	6.1	1.70	2.34	2.29	2.22

La tabla N° 08 muestra la variación de caudales con los que se trabajó en la prueba así como la presión a la entrada y salida del conducto, y la pérdida de carga (ΔH) correspondiente para cada caudal. Se puede notar que las pérdidas de carga se hacen perceptibles a partir de los 10.8 l/min, y a medida que se van aumentando los caudales aumenta también la pérdida de carga debido al incremento de la fricción entre el fluido y las paredes del conducto. Siendo la máxima pérdida de carga 1.70m con un caudal de 67.2 l/min y una velocidad de flujo de 4.71m/s

Por otra parte se aprecia también las pérdidas de carga teóricas obtenidas del cálculo de fórmulas empíricas: Darcy-Weisbach, Hazen-Williams, y Blasius. En los que comparándolas con las lecturas de pérdidas de carga obtenidas experimentalmente se puede notar que son muy similares.

Para saber cuáles de los grupos de valores de pérdidas de carga teóricas nos acerca más a las pérdidas de carga obtenidas experimentalmente usamos la “fórmula de equilibrio de NASH:

$$(\%) = 1 - \frac{\sum(\text{Ob} - \text{Ot})^2}{\sum(\text{Ob} - \text{Oprom})^2}$$

donde:

Ob : valores observados (ΔH obtenido experimentalmente)

Ot : valores teóricos (pérdidas de carga teóricas)

Oprom : promedio aritmético de valores observados.

El comparar los valores de ΔH con los obtenidos de la fórmula de Darcy-Weisbach se obtuvo:

$$\text{Oprom} = 0.829$$

$$\sum(\text{Ob} - \text{Ot})^2 = 1.295$$

$$\sum(\text{Ob} - \text{Oprom})^2 = 4.289$$

$$\text{Finalmente (\%)} = 0.698$$

El comparar los valores de ΔH con los obtenidos de la fórmula de Hazen-Williams se obtuvo:

$$\text{Oprom} = 0.829$$

$$\sum(\text{Ob} - \text{Ot})^2 = 1.257$$

$$\sum(\text{Ob} - \text{Oprom})^2 = 4.289$$

$$\text{Finalmente (\%)} = 0.707$$

El comparar los valores de ΔH con los obtenidos de la fórmula de Blasius se obtuvo:

$$\text{Oprom} = 0.829$$

$$\sum(\text{Ob} - \text{Ot})^2 = 1.142$$

$$\sum(\text{Ob} - \text{Oprom})^2 = 4.289$$

$$\text{Finalmente (\%)} = 0.734$$

De los datos obtenidos se eligió el de mayor valor ($\% = 0.734$) que corresponde al de los valores obtenidos de la fórmula de Blasius.

En el Gráfico N° 07 podemos corroborar visualmente lo afirmado en el párrafo anterior al observar que los puntos de las pérdidas de carga obtenidas experimentalmente se acercan más a la curva de pérdida de carga calculada de la fórmula de Blasius.

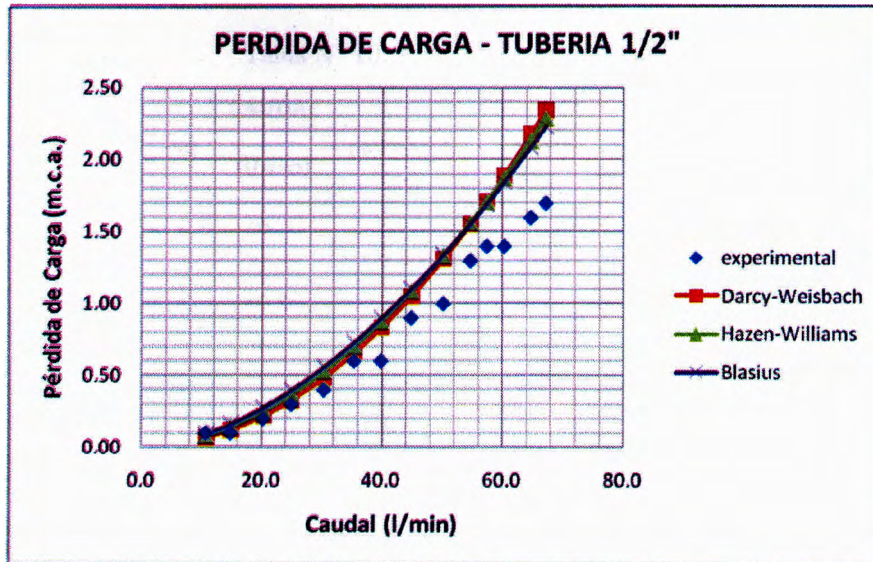


Gráfico 7: Pérdida de carga en tubería PVC 1/2"

Los valores de las pruebas realizadas se presentan en el Anexo I, en el cuadro N° 03.

4.2. LINEA DE EVALUACION II.

4.2.1. Válvula de Asiento Inclinado de 3/4".

Se evaluó la pérdida de carga entre la entrada y salida de la válvula de Polietileno marca Plasson completamente abierta y semiabierta, variando los caudales desde 10.3 l/min hasta los 64.3 l/min.

Tabla N° 09: Válvula completamente abierta.

No	CAUDAL	PRESION		
	(l/min)	ENTRADA (m)	SALIDA (m)	ΔH (m)
1	10.90	4.20	4.15	0.05
2	19.80	6.60	6.50	0.10
3	31.00	5.80	5.40	0.40
4	40.00	6.60	6.00	0.60
5	49.70	8.80	8.00	0.80
6	59.60	7.90	6.80	1.10
7	64.30	9.00	7.80	1.20

Tabla N° 10: Válvula semiabierta.

No	CAUDAL		PRESION	
	(l/min)	ENTRADA (m)	SALIDA (m)	ΔH (m)
1	10.30	1.70	1.60	0.10
2	21.30	9.20	8.80	0.40
3	30.50	8.60	8.00	0.60
4	36.20	5.00	4.20	0.80
5	43.00	9.40	8.20	1.20
6	49.90	8.80	7.00	1.80
7	61.90	10.20	7.60	2.60

En las tablas N° 09 y N° 10 se muestran la variación de caudales con los que se trabajó en la prueba así como la presión a la entrada y salida de la válvula, así como la pérdida de carga (ΔH) correspondiente para cada caudal con la válvula completamente abierta y semiabierta. Se puede notar que las pérdidas de carga se hacen perceptibles a partir de los 10.9 l/min y a 10.3 l/min, y a medida que se van aumentando los caudales aumenta también la pérdida de carga debido a singularidad de la válvula.

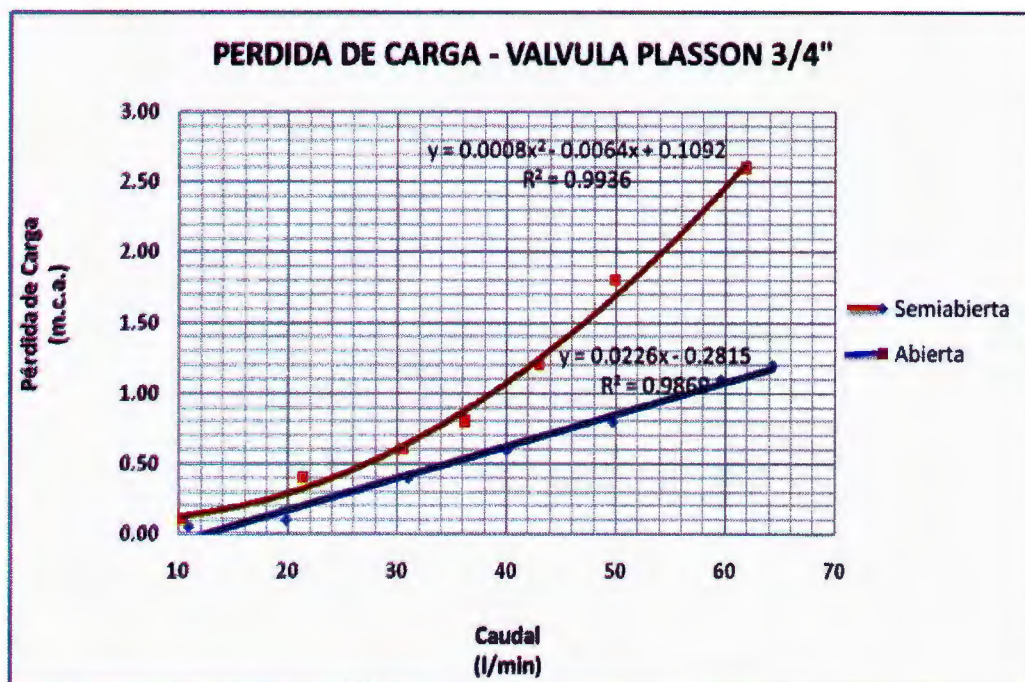


Gráfico 8: Curva de "funcionamiento" de válvula Plasson

El gráfico 8 muestra las curvas de variación de pérdidas de carga para cierto caudal en válvulas de asiento inclinado marca Plasson completamente abiertas y semiabiertas. Se aprecia, como es lógico, que la válvula semiabierta va a generar mayores pérdidas de carga que la válvula abierta al hacer pasar la misma cantidad de agua.

Las curva generada por la válvula completamente abierta tiene una tendencia lineal con valor de $R^2=0.9869$, regida por la ecuación: $\Delta H=0.0226.Q-0.2816$. Mientras que la curva generada por la válvula semiabierta presenta una tendencia polinomial de segundo grado con valor $R^2=0.9936$, regida por la ecuación: $\Delta H=0.0008.Q^2-0.0064.Q+0.1092$. Los valores de las pruebas realizadas se encuentran en el cuadro N° 04 y 05 del anexo 1.

4.2.2. Tubería con expansión y reducción de ¾" a 2 ½".

Se evaluó la pérdida de carga entre cuatro puntos de un tramo de tubería de PVC con reducciones de ¾" a 2 ½" (diámetro externo) que representan un ensanchamiento y una contracción tal como se muestra en la figura N° 11. El diámetro interno en los puntos (1) y (4) es de 16.75mm, mientras que en los puntos (2) y (3) es de 63.75mm.

Figura 11: Esquema de expansión y reducción

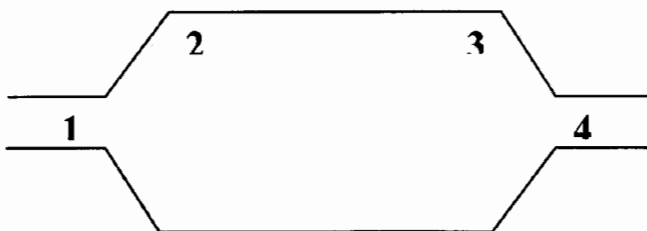


Tabla N° 11

No	CAUDAL	PRESION				DIFERENCIA DE PRESION (m)		
	(l/min)	PUNTO 1 (m)	PUNTO 2 (m)	PUNTO 3 (m)	PUNTO 4 (m)	ΔH (1) y (2)	ΔH (3) y (4)	ΔH (1) y (4)
2	18.40	4.00	4.00	4.00	3.90	0.00	0.10	0.10
3	31.70	4.70	4.80	4.80	4.50	-0.10	0.30	0.20
4	40.60	3.70	3.80	3.80	3.30	-0.10	0.50	0.40
5	51.50	2.40	2.60	2.60	1.80	-0.20	0.80	0.60
6	60.30	3.50	3.90	3.90	2.80	-0.40	1.10	0.70
7	65.00	4.20	4.60	4.60	3.30	-0.40	1.40	0.90

La tabla N° 11 muestra la variación de los caudales con los que se trabajó en la prueba así como la presión en cada uno de los puntos del conducto, y la diferencia de presión (ΔH) entre dos puntos. Se puede notar que la presión aumentó del punto (1) al punto (2) y disminuyó entre los puntos (3) y (4), (1) y (4), siendo la diferencia de esta última la pérdida de carga, pero sólo entre estos puntos debido a que ambos tienen la misma velocidad. Para los dos primeros casos hay que complementar las lecturas con las cargas de velocidad, siendo diferentes entre cada punto debido a que los diámetros no son iguales.

Tabla N° 12

Punto (1) $P_1+V_1^2/2.g$	Punto (2) $P_2+V_2^2/2.g$	Punto (3) $P_3+V_3^2/2.g$	Punto (4) $P_4+V_4^2/2.g$	ΔH (1) y (2)	ΔH (3) y (4)
4.10	4.00	4.00	4.00	0.10	0.00
4.99	4.80	4.80	4.79	0.19	0.01
4.18	3.80	3.80	3.78	0.38	0.02
3.17	2.60	2.60	2.57	0.57	0.03
4.56	3.91	3.91	3.86	0.66	0.04
5.43	4.61	4.61	4.53	0.83	0.07

En la tabla N° 12 se muestran las lecturas de energía para cada punto del conducto. Al restar una de la otra se obtienen las pérdidas de carga entre un punto y el otro. En conductos de igual diámetro la pérdida de carga es igual a la diferencia de las lecturas de presión medidas directamente. Hay que resaltar que las pérdidas de carga (ΔH) son diferentes a las pérdidas de energía.

En el gráfico N° 09 se muestra visualmente las diferencias entre las pérdidas de carga obtenidas en la expansión y en la reducción. Siendo las pérdidas de carga menores

cuando el flujo pasa de mayor a menor diámetro, y mayores cuando el flujo pasa de menor a mayor diámetro.

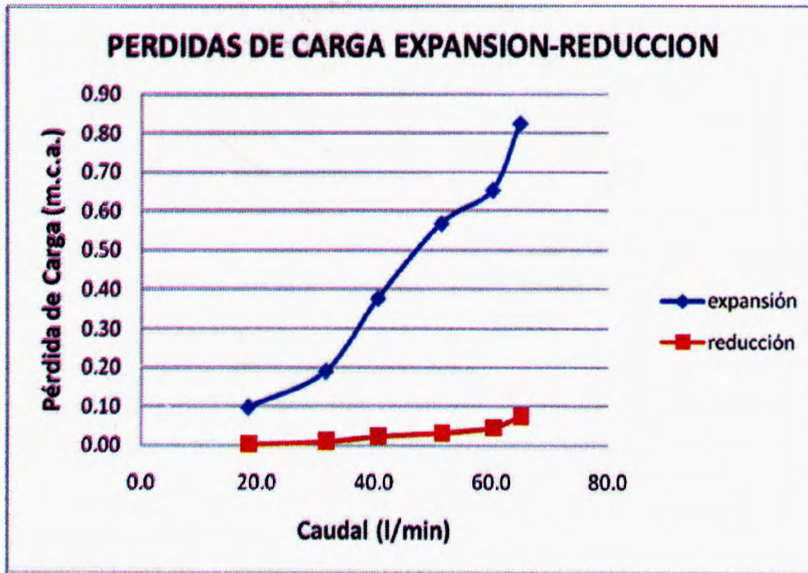


Gráfico 9: Líneas de pérdida de carga en expansión y reducción

En los gráficos 10, 11, 12, 13, 14 y 15 se muestran las líneas de presión versus las líneas de energía para cada caudal. Se aprecia que la presión aumenta del punto 1 al punto 2, y disminuye en el punto 4, incluso por debajo del punto. Este cambio se aprecia en todas las pruebas a excepción de la primera debido a que éste caudal no fue significativo como para apreciar las variaciones de presión entre los primeros puntos.

Respecto a las líneas de energía, apreciamos que su comportamiento es tal como se esperaba disminuyendo de un punto a otro en dirección del flujo. Cabe resaltar que a medida que aumentan los caudales aumentan también la diferencia de energías entre un punto y otro.

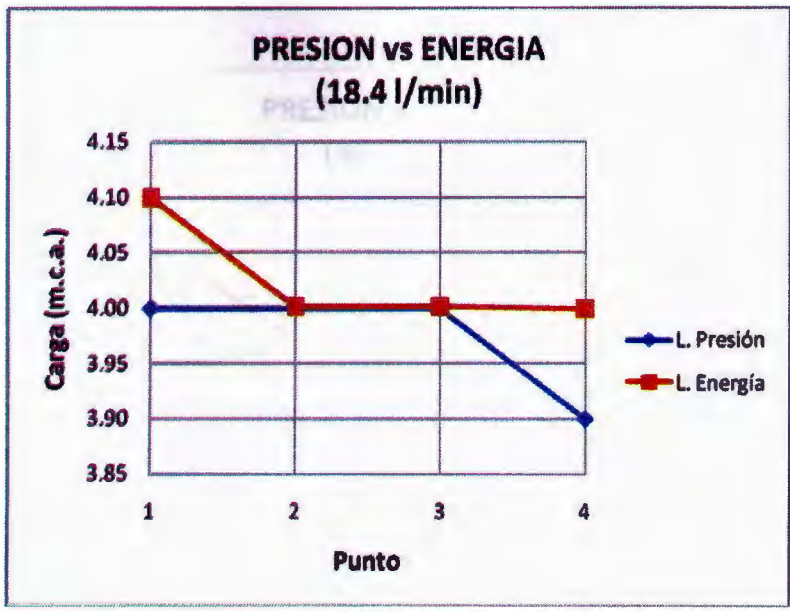


Gráfico 10: Líneas de presión y energía para 18.4 l/min

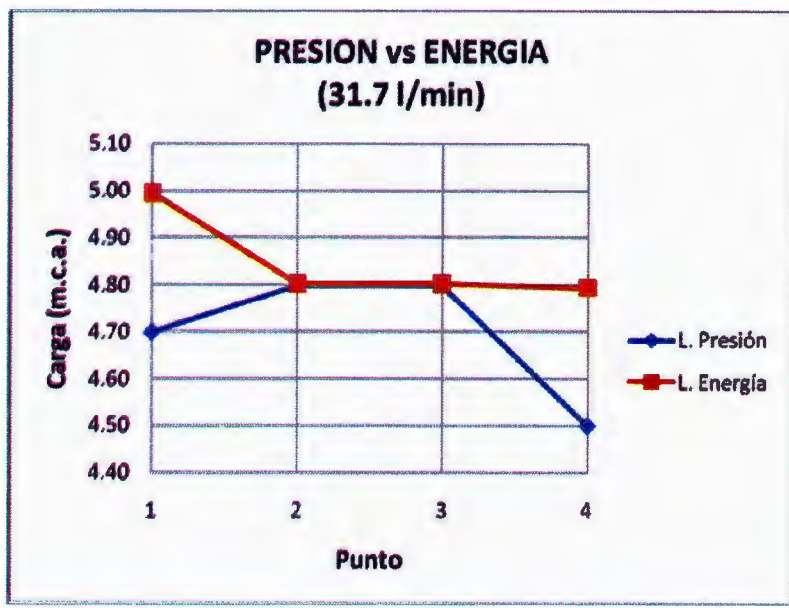


Gráfico 11: Líneas de presión y energía para 31.7 l/min

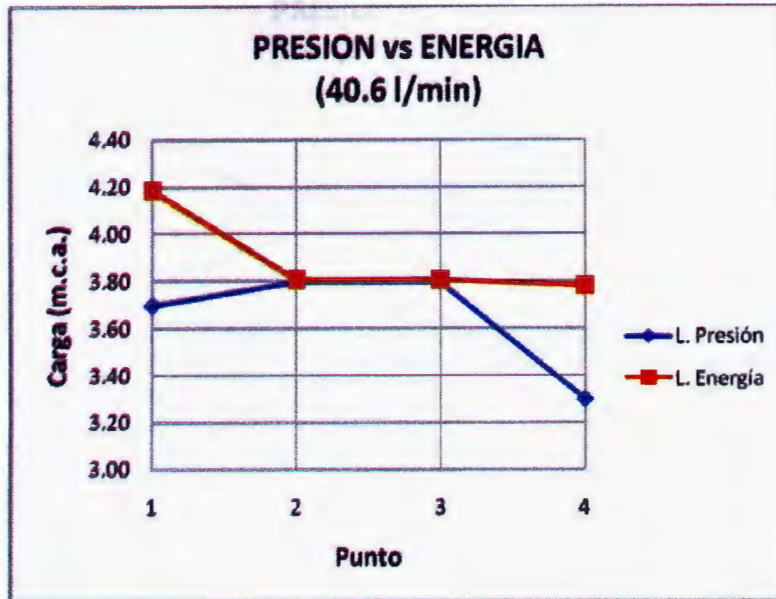


Gráfico 12: Líneas de presión y energía para 40.6 l/min

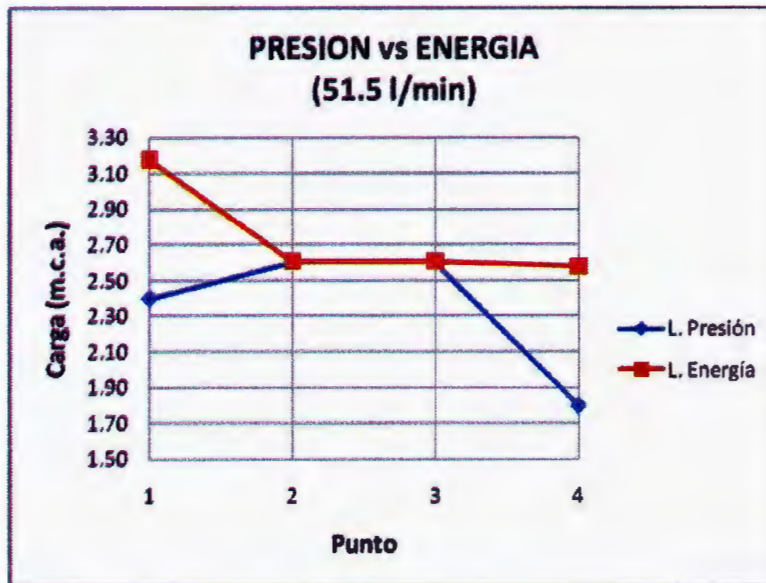


Gráfico 13: Líneas de presión y energía para 51.5 l/min

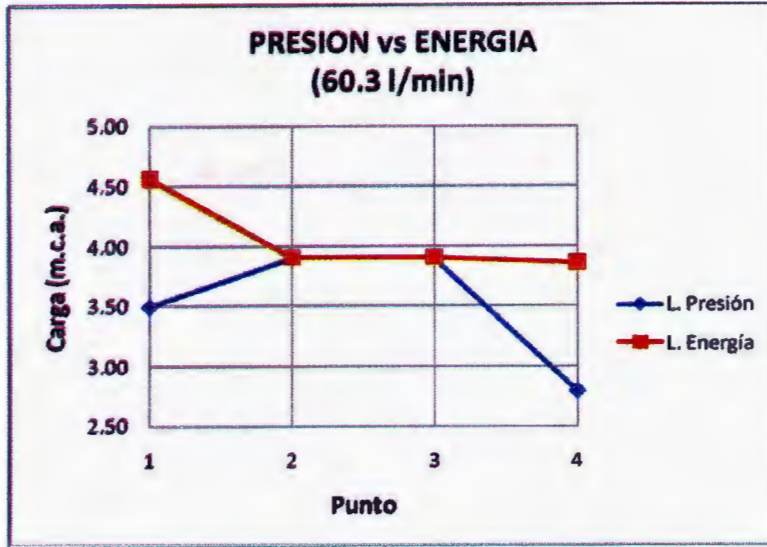


Gráfico 14: Líneas de presión y energía para 60.3 l/min

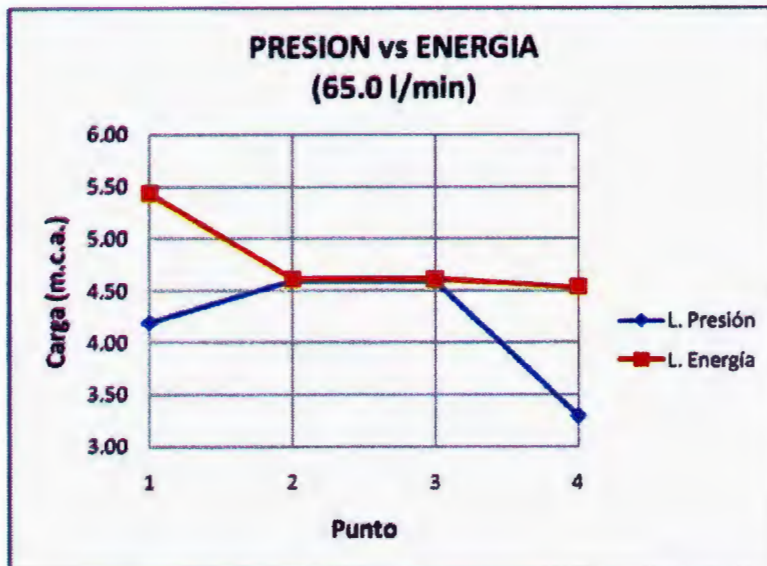


Gráfico 15: Líneas de presión y energía para 65.0 l/min

Los valores de las pruebas realizadas se encuentran en el cuadro N° 06 del Anexo 1.

4.3. LINEA DE EVALUACION III.

4.3.1. Válvula Hidráulica 1”:

Se evaluó la pérdida de carga entre la entrada y salida de la válvula de Polietileno marca Dorot, variando los caudales desde 4.40 l/min hasta los 67.5 l/min.

Tabla N° 13

No	CAUDAL		PRESION	
	(l/min)	ENTRADA (m)	SALIDA (m)	ΔH (m)
1	4.40	4.60	4.40	0.20
2	14.50	6.60	6.40	0.20
3	26.30	8.20	8.00	0.20
4	36.70	8.70	8.40	0.30
5	45.50	9.00	8.60	0.40
7	54.60	6.00	5.40	0.60
8	67.50	7.40	6.60	0.80

En la tabla N° 13 se muestra la variación de caudales con los que se trabajó en la prueba así como la presión a la entrada y salida de la válvula, y la pérdida de carga (ΔH) correspondiente para cada caudal. Se aprecia que al aumentar los caudales aumenta también la pérdida de carga debido a la singularidad de la válvula.

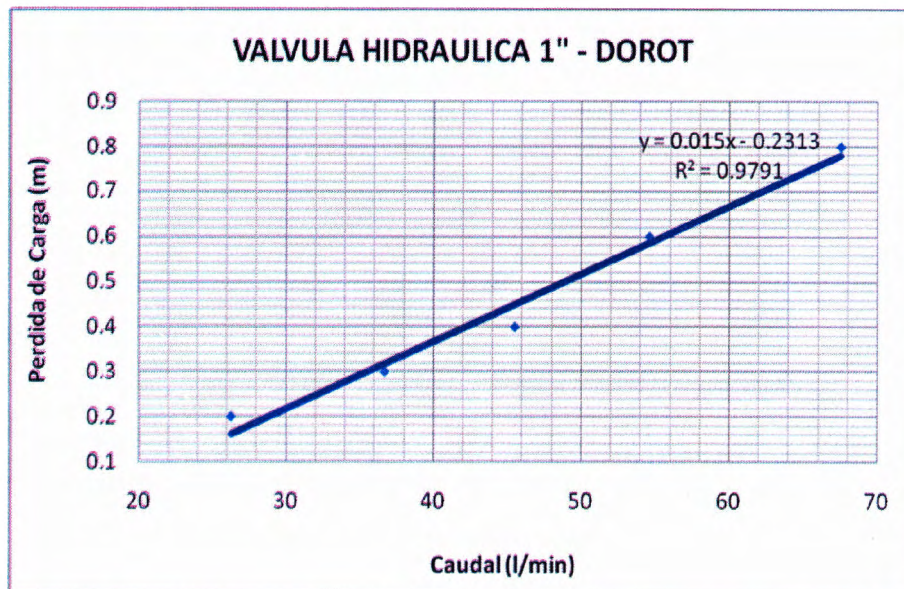


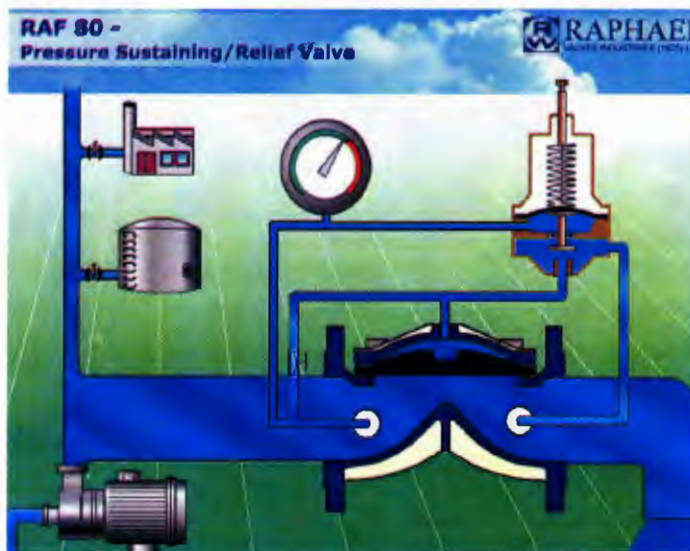
Gráfico 16: Curva de "funcionamiento" en válvula de 1"

El Gráfico 16 muestra las curva de variación de pérdidas de carga para cierto caudal en válvulas hidráulicas de 1". Las curva generada por la válvula completamente abierta tiene una tendencia lineal con valor de $R^2=0.9791$, regida por la ecuación: $\Delta H=0.015.Q-0.2313$. Los valores de las pruebas realizadas se encuentran en el cuadro N° 07 del anexo 1.

4.3.2. Válvula Hidráulica de 1" con piloto regulador de presión (válvula reductora y sostenedora de presión):

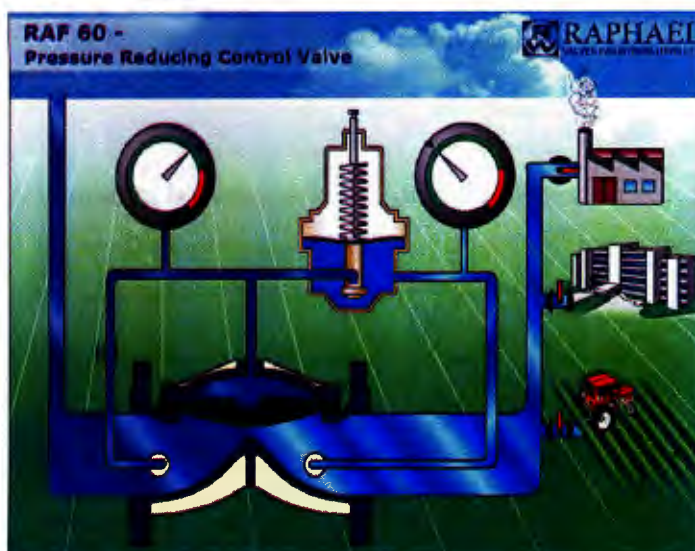
Se reguló el tornillo del piloto a diferentes presiones de salida: A la entrada del piloto hay una válvula de aguja que limita la entrada de agua a la cámara superior, el piloto regulador de presión abre o cierra de acuerdo a si disminuye o aumenta la presión aguas abajo o arriba, con esto se descompensa la entrada de agua a través de la válvula de aguja con respecto a la salida o entrada, respectivamente, y hace que la válvula abra o cierre moduladamente manteniendo la presión constante. (Ver Figura 12 y Figura 13)

Figura 12: Funcionamiento de válvula sostenedora de presión



FUENTE: RAPHAEL Valves Industries (1975) LTD

Figura 13: Funcionamiento de válvula reductora de presión



FUENTE: RAPHAEL Valves Industries (1975) LTD

4.4. LINEA DE EVALUACION IV.

4.4.1. Tubo de Venturi de 1”.

Se evaluó el caudal de succión del tubo de Venturi a medida que se modifica la pérdida de carga entre la entrada y la salida del conducto.

Tabla N° 14

No	PRESION		CAUDAL BOMBA (l/min)	ΔH (m)	CAUDAL SUCCION (l/hr)
	ENTRADA (m)	SALIDA (m)			
1	10	3.0	41.4	7.00	10.65
2	11	2.8	39.9	8.20	29.27
3	12	2.6	38.2	9.40	51.67
4	14	2.2	34.8	11.80	101.41
5	16	1.8	31.4	14.20	136.71
6	18	1.4	28.2	16.60	130.91
7	20	0.8	24.9	19.20	131.71
8	22	0.6	22.0	21.40	130.51
9	28	0.0	14.6	28.00	129.34

Nota: Los valores resaltados en rojo no se consideraron para los cálculos posteriores ya que los caudales de succión se mantienen constantes para diferentes pérdidas de carga.

La tabla N° 14 muestra la variación óptima de las presiones (datos de color negro) con las que se trabajó en la prueba así como el caudal succionado por el Venturi, correspondiente para cada pérdida de carga. El Tubo de Venturi empieza a trabajar con una pérdida de carga de 7.00m.c.a, succionando un caudal de 10.65m³/h, a medida que las pérdidas de carga son mayores aumenta el caudal de succión llegando a ser óptimo hasta el punto en donde alcanza el máximo caudal de succión.

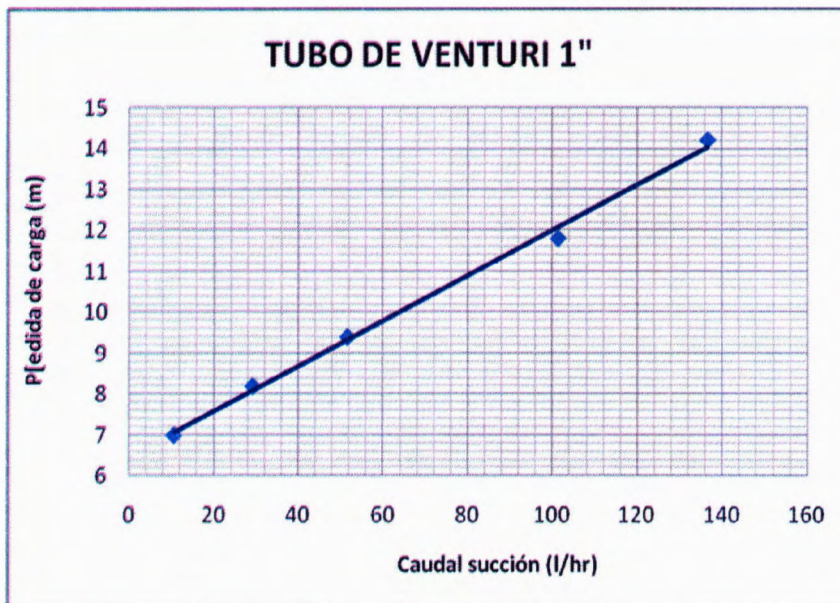


Gráfico 17: Curva de "funcionamiento" del tubo de Venturi

El Gráfico 17 muestra las curva de variación de pérdidas de carga para cierto caudal de succión en un Tubo de Venturi de 1". La curva generada por el Venturi tiene una tendencia lineal con valor de $R^2=0.9962$, regida por la ecuación: $\Delta H=0.0553.Q+6.4716$. Los valores de las pruebas realizadas se encuentran en el cuadro N° 08 del anexo 1.

4.4.2. Filtro de Anillos de 1”.

Se evaluó la pérdida de carga entre la entrada y la salida del Filtro de Anillos de 1” de 120mesh variando los caudales desde 9.10 l/min hasta 60.80 l/min, obteniendo diferentes valores de pérdida de carga.

Tabla N° 15

No	CAUDAL (l/min)	PRESION		
		ENTRADA (m)	SALIDA (m)	ΔH (m)
1	9.10	2.20	1.80	0.40
2	14.20	3.00	2.60	0.40
3	19.80	5.60	5.20	0.40
4	24.50	8.20	7.70	0.50
5	30.90	5.50	4.80	0.70
6	34.10	5.30	4.40	0.90
7	39.00	6.90	5.80	1.10
8	45.70	7.80	6.20	1.60
9	49.60	5.80	3.80	2.00
10	55.10	6.90	4.60	2.30
11	60.80	8.00	5.20	2.80

La tabla N° 15 muestra la variación de caudales con los que se trabajó en la prueba así como la presión a la entrada y salida del filtro, y la pérdida de carga (ΔH) correspondiente para cada caudal. Se puede notar que las pérdidas de carga se manifiestan aún con caudales bajos, y a medida que éstos van aumentando sucede lo mismo con las pérdidas de carga.

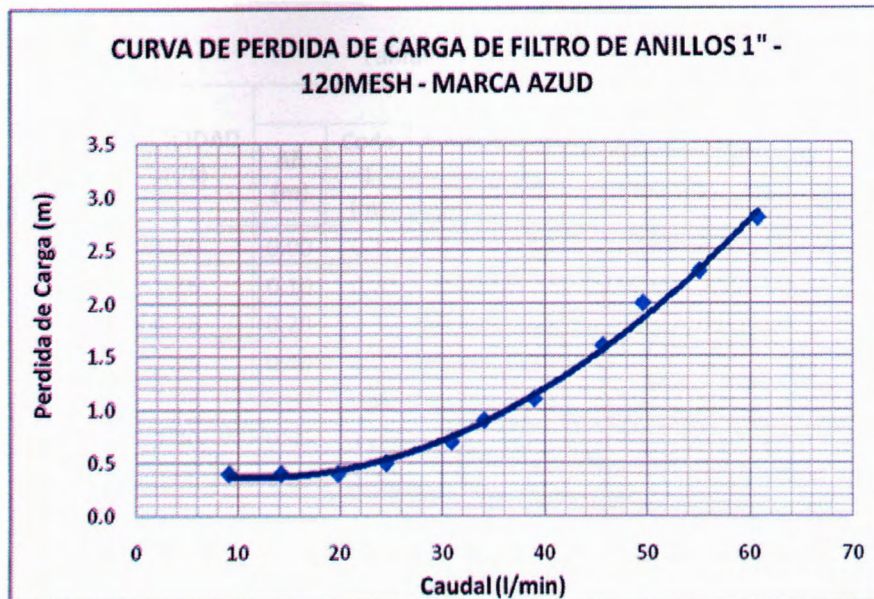


Gráfico 18: Curva de “funcionamiento” del filtro de anillos

El Gráfico 18 muestra la curva de variación de pérdidas de carga versus el caudal en el filtro de anillos de 1". La curva generada por el filtro tiene una tendencia polinomial de segundo grado con un valor de $R^2=0.9953$, regida por la ecuación: $\Delta H=0.001.Q^2-0.241Q+0.5054$. Los valores de las pruebas realizadas se encuentran en el cuadro N° 09 del anexo 1.

4.5. LINEA DE EVALUACION V.

Se evaluaron las pérdidas de carga por singularidad en los siguientes accesorios de PVC: codo de 3/4" x 90°, codo de 3/4" x 45°, tee de 3/4" y válvula esférica de 3/4". Se evaluó también las pérdidas de carga en redes en serie y en paralelo en las que interactúan varios accesorios a la vez en cada tramo.

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla N° 16, que servirá de base para los posteriores análisis de cada elemento. (Ver plano esquemático del banco de pruebas en el Anexo N° 4)

Tabla N° 16

No	CAUDAL (l/min)	VELOCIDAD (m/s)	ΔH (PERDIDA DE CARGA)							
			AB (m)	Codo 1 (m)	Codo 2 (m)	DF (m)	Válvula (m)	Codo 3 (m)	JK (m)	BK (m)
1	24.60	1.00	0.00	0.10	0.10	0.20	0.00	0.00	0.10	0.60
2	28.70	1.16	0.10	0.20	0.20	0.30	0.00	0.00	0.20	0.80
3	31.20	1.26	0.20	0.30	0.30	0.30	0.00	0.00	0.20	1.00
5	48.20	1.95	0.40	0.70	0.70	0.90	0.30	0.10	1.00	4.30
6	51.40	2.08	0.60	0.80	0.80	1.10	0.30	0.10	1.10	5.00
7	56.90	2.30	0.90	1.00	1.00	1.40	0.40	0.20	0.50	5.40
8	63.30	2.56	1.20	1.30	1.30	1.90	0.30	0.00	0.00	6.10

Nota: Los valores resaltados en rojo no se consideraron para los cálculos posteriores ya que los datos tomados en los puntos correspondientes fueron cero debido a la baja presión y a la capacidad de las bombas.

El tramo AB corresponde a dos líneas en paralelo de 1.20m de largo; en una de ellas se instaló una válvula esférica de ¼” (a la que llamaremos tramo AB₁) que permaneció completamente abierta durante las pruebas. Y a la otra línea la llamaremos tramo AB₂.

El tramo BC (codo 1) y CD (codo 2) corresponden a 2 codos de ¼” x 90°.

El tramo DE corresponde a una Tee de ¼”, cuyos puntos de prueba de presión D y E se ubican en el mismo eje de la tee, en donde la pérdida de carga es siempre cero. Mientras que el tramo DF corresponde a los puntos de prueba de presión D y F ubicados perpendicularmente sobre la tee de ¼”.

Los tramos EH y GI corresponden a las válvulas esféricas de ¼” EH y GI, respectivamente. La válvula EH permaneció totalmente cerrada, mientras que la válvula GI se mantuvo totalmente abierta durante las pruebas.

El tramo IJ (codo 3) corresponde a un codo de ¼” x 45°

El tramo JK corresponde a una tee de ¼” y a un codo de ¼” x 45°.

El tramo BK corresponde a una red en serie conformada por 3 codos de ¼” x 90°, 2 tees de ¼”, 1 válvula esférica de ¼”, y 2 codos de ¼” x 45°.

4.5.1. Singularidades.

a. Válvula esférica PVC de 3/4".

De los datos de la tabla N° 16 se elaboró el siguiente gráfico que muestra la curva de variación de pérdidas de carga para cierto caudal en válvulas esféricas de PVC de 3/4" completamente abierta.

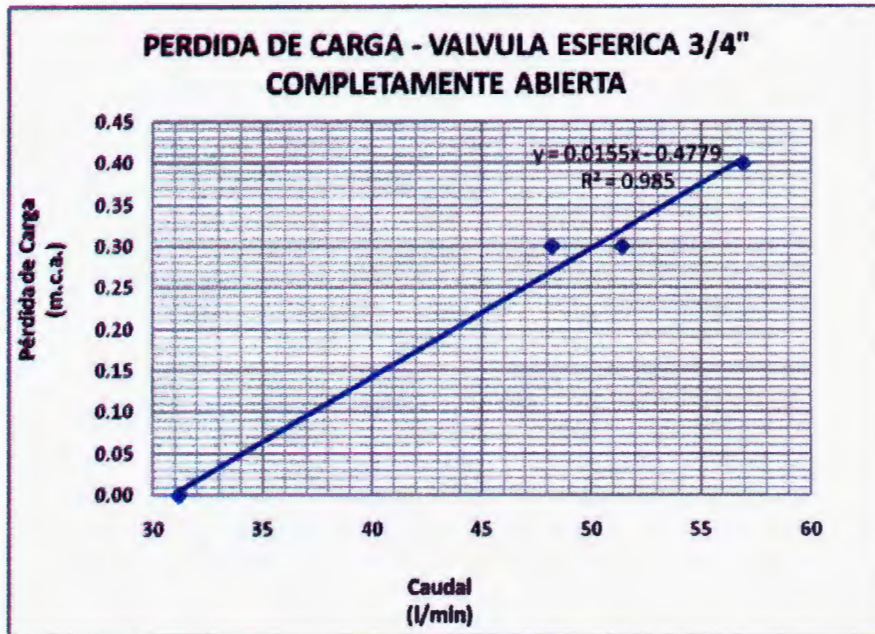


Gráfico 19: Curva de funcionamiento para válvula esférica PVC

La curva generada por la válvula tiene una tendencia lineal con valor $R^2=0.985$, regida por la ecuación: $\Delta H=0.0155.Q-0.4779$. En donde a mayor caudal, mayor resultó ser la pérdida de carga. Los valores de las pruebas realizadas se encuentran en el cuadro N° 10 del anexo 1.

b. Codo PVC de 3/4" x 90°.

Se observa en los datos de la tabla N° 16 que los codos 1 y 2, por ser iguales, tienen el mismo valor de pérdida de carga; por consiguiente, se elaboró un único gráfico que

muestra la curva de variación de pérdidas de carga para cierto caudal en los codos de PVC de ¾" x 90° (codo 1 y codo 2)

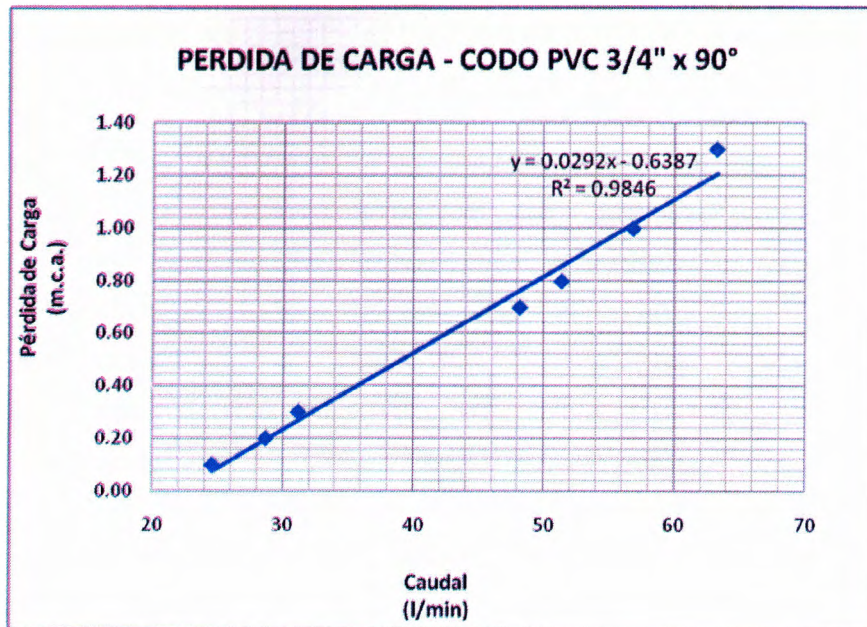


Gráfico 20: Curva de “funcionamiento” para codo de PVC

La curva generada por el codo tiene una tendencia lineal con valor $R^2=0.9846$, regida por la ecuación: $\Delta H=0.0292.Q-0.6387$. En donde a mayor caudal, mayor resultó ser la pérdida de carga.

c. Codo PVC de ¾" x 45°.

De los datos de la tabla N° 16 se elaboró el siguiente gráfico que muestra la curva de variación de pérdidas de carga para cierto caudal en codos de PVC de ¾" x 45° (codo 3).

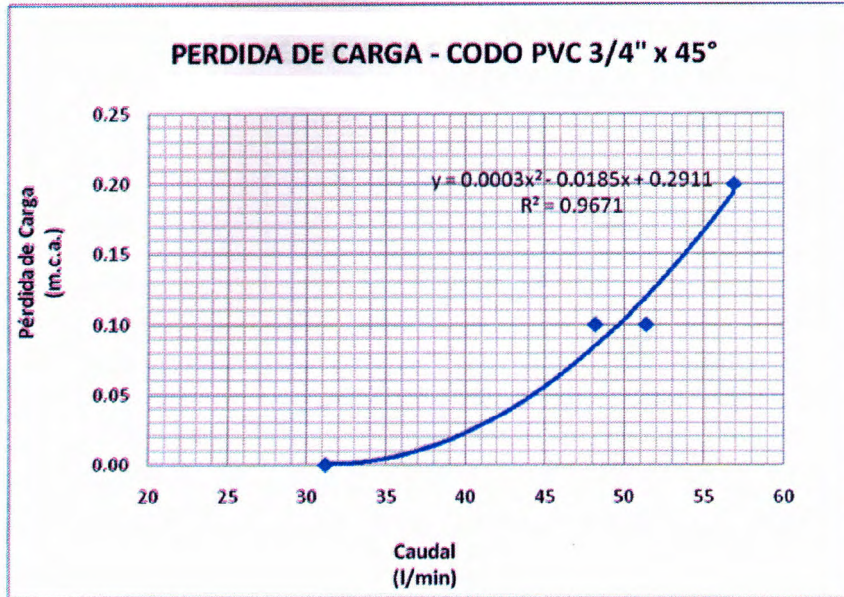


Gráfico 21: Curva de “funcionamiento” en codo de PVC

La curva generada por el codo tiene una tendencia polinomial de segundo grado con valor de $R^2=0.9671$, regida por la ecuación: $\Delta H=0.0003.Q^2-0.0185.Q+0.2911$. En donde a mayor caudal, mayor resulta ser la pérdida de carga.

d. Tee PVC de ¾”.

De los datos de la tabla N° 16 se elaboró el siguiente gráfico que muestra la curva de variación de pérdidas de carga para cierto caudal en tees de PVC de ¾”, cuando el flujo del agua esa través de los conductos perpendiculares de la tee (de D a F, de E a F y de F a D o E). Cuando el flujo es a través del cuerpo de la tee (de D a E o de E a D) las pérdidas de carga tienden a ser cero.

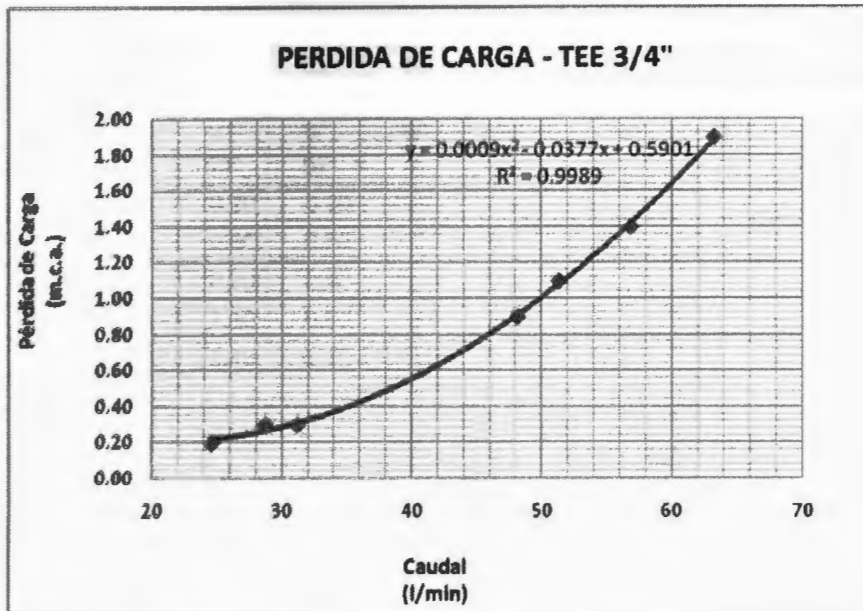


Gráfico 22: Curva de funcionamiento en tee PVC

La curva generada por la tee tiene una tendencia polinomial de segundo grado con valor de $R^2=0.99$, regida por la ecuación: $\Delta H=0.0009.Q^2-0.0377.Q+0.5901$. En donde a mayor caudal, mayor resulta ser la pérdida de carga.

4.5.2. Red de tuberías en Serie.

De los datos de la tabla N° 16, se sumaron los valores de pérdida de carga de las singularidades que comprenden dicho tramo. En la tabla N° 25 se comparan: el valor total de la pérdida de carga obtenida de la suma de cada singularidad, con el valor de pérdida de carga obtenida directamente de los puntos de prueba de presión.

Tabla N° 17

No	CAUDAL (l/min)	ΔH (PERDIDA DE CARGA EN METROS)					Suma total ΔH (m)	Lectura Directa ΔH (m)
		03 codos ¾" 90°	01 Tee ¾" DF	01 Válvula ¾" GI	01 codo ¾" 45°	JK		
1	24.60	0.30	0.20	0.00	0.00	0.10	0.60	0.60
2	28.70	0.60	0.30	0.00	0.00	0.20	1.10	0.80
3	31.20	0.90	0.30	0.00	0.00	0.20	1.40	1.00
5	48.20	2.10	0.90	0.30	0.10	1.00	4.40	4.30
6	51.40	2.40	1.10	0.30	0.10	1.10	5.00	5.00

Las lecturas obtenidas directamente entre el inicio y el final del circuito se asemejan a la suma total de las pérdidas de carga obtenidas individualmente en cada accesorio.

4.5.3. Red de tuberías en paralelo.

El caudal de entrada en la línea de conducción V (Q_T) se dividió en dos caudales diferentes entre los tramos AB_1 (con un caudal de Q_{AB1}) y AB_2 (con un caudal de Q_{AB2}); en donde $Q_T = Q_{AB1} + Q_{AB2}$. Las pérdidas de carga en ambos tramo son siempre iguales.

El tramo AB_1 , conformado por 2 codos de ¾" x 90° y una válvula esférica de ¾" fue afectado por las pérdidas de carga que generaron estos 3 elementos, además de la pérdida de carga generada también en las Tee de ¾" que divide y junta los caudales al inicio y al final de la red, respectivamente.

El tramo AB_2 , conformado por 2 codos de ¾" x 90° y un niple PVC de ¾" x 1.20m fue afectado por las pérdidas de carga que generaron estos 3 elementos, además de la pérdida de carga generada también en las Tee de ¾" que divide y junta los caudales al inicio y al final de la red, respectivamente.

El tramo AB_1 siempre generará mayor pérdida de carga que el tramo AB_2 cuando el caudal que circule por ellos sean iguales. Pero en este caso dada la configuración entre ambos tramos, los caudales que circulan independientemente a través de cada

uno de ellos son diferentes en donde $Q_{AB1} < Q_{AB2}$ dando como resultado pérdidas de carga iguales.

V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del presente estudio se llega a las siguientes conclusiones:

1. Para el cálculo teórico de las pérdidas de carga por fricción en tuberías de PVC de 1", ¾" y ½" se obtiene los mejores resultados con las fórmulas de Blasius y Darcy-Weisbach, dejando la fórmula de Hazen-Williams para diámetros mayores.
2. La relación entre las pérdidas de carga respecto al caudal en válvulas de control de flujo varía lineal o polinomialmente de acuerdo al grado de abertura de la válvula. Para cualquier caso en el banco de prueba se puede someter a evaluación válvulas esféricas, mariposas, rectas de 1", ¾" y ½" y obtener las curvas de regresión para el cálculo de las pérdidas de carga con diferentes caudales.
3. Los manómetros de glicerina permiten realizar lecturas de presión cuya diferencia entre un punto y otro da directamente el valor de pérdida de carga solamente para conducciones y accesorios de diámetro constante. Para evaluar las pérdidas de carga en conducciones que cambian de dimensión (expansiones y reducciones) será necesario sumarle las cargas de velocidad que dará como resultado valores de energía cuya diferencia si indicarán las pérdidas de carga reales.
4. Las pérdidas de carga en accesorios de conducción son mayores en los cambios de dimensión de menor a mayor diámetro (expansiones) comparado con los cambios que van de mayor a menor diámetro (reducciones).
5. Las pérdidas de carga en válvulas y accesorios de conexión tales como codos, tees, válvulas de hidráulicas, esféricas, mariposa y filtros pueden ser calculados mediante ecuaciones lineales o polinomiales obtenidas mediante regresión en base a datos previamente evaluados y obtenidos del banco de ensayo.

VI. RECOMENDACIONES

Bajo las condiciones del presente estudio se dan las siguientes recomendaciones:

1. Se debe continuar académicamente con las evaluaciones de pérdida de carga en conductos de diferentes materiales y diámetro como en mangueras de polietileno de 12mm, 16mm y 22mm usados comúnmente en agricultura.
2. En vista de la falta de información de pérdidas de carga de accesorios por parte de los fabricantes se recomienda usar el banco de ensayo para obtener dicha información que podrá ser usada en los cursos de la Facultad de Ingeniería Agrícola.
3. En lo sucesivo se debe usar manómetros más precisos para obtener lecturas de presión más finas y calcular pérdidas de carga exactas.
4. Incluir el uso del banco de ensayo en los cursos que la Facultad de Ingeniería Agrícola crea conveniente, permitiendo que los alumnos aumenten líneas de conducción al banco o alterando las existentes.

VII. BIBLIOGRAFIA

ABEL FRANCISCO ALFREDO. 2002. Manual de prácticas de laboratorio. Instituto Tecnológico de Santo Domingo.

ASSUREIRA ESTELA. 2008. Pérdidas de carga en tuberías. Sección de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Pontifica Universidad Católica del Perú.

CALLEJON BAENA JOSE; ZAPATA SIERRA ANTONIO; LOPEZ SEGURA JOSE. 1999. Hidráulica y Riesgos: Práctica de Laboratorio y Campo. Departamento de Ingeniería Rural. Universidad de Almería.

DOROT MATHOLDING GROUP. 2010. Catálogo de Productos Válvulas Plásticas Serie 75.

NICOLL PERU S.A. 2006. Sistema de presión NTP-ISO 4422. Catálogo y manual técnico.

PIZARRO FERNANDO. 1996. Riegos Localizados de Alta Frecuencia.

RIVAS ALEJANDRO; SANCHEZ GORKA. 2009. Pérdidas de carga en los componentes de las instalaciones hidráulicas. Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Navarra.

ANEXO N° 1

Datos de las pruebas experimentales realizado para la
determinación de pérdidas de carga en los elementos del
Banco de Pruebas.

CUADRO N° 01

DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN EN TUBERÍA LISA DE PVC DE 1" x 1.80mts

No	DIAMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL			VELOCIDAD (m/s)	PRESION			PERDIDAS DE CARGA TEORICAS (m)		
		(l/min)	(l/s)	(m³/h)		ENTRADA (m)	SALIDA (m)	ΔH (m)	DARCY - WEISBACH	HAZEN - WILLIAMS	BLASIUS
1	29.4	10.9	0.18	0.65	0.27	3.40	3.40	0.00	0.00	0.01	0.01
2	29.4	20.1	0.34	1.21	0.49	4.60	4.55	0.05	0.02	0.02	0.02
3	29.4	30.9	0.52	1.85	0.76	6.20	6.10	0.10	0.04	0.04	0.05
4	29.4	40.1	0.67	2.41	0.98	6.40	6.35	0.10	0.06	0.07	0.07
5	29.4	44.1	0.74	2.65	1.08	2.80	2.60	0.20	0.07	0.08	0.09
6	29.4	49.8	0.83	2.99	1.22	4.40	4.20	0.20	0.09	0.10	0.11
7	29.4	58.1	0.97	3.49	1.43	5.00	4.80	0.20	0.13	0.14	0.14
8	29.4	60.5	1.01	3.63	1.49	5.80	5.60	0.20	0.14	0.15	0.15
9	29.4	68.2	1.14	4.09	1.67	6.80	6.60	0.20	0.17	0.18	0.19

ΔH : Pérdida de carga en la tubería.

CUADRO N° 02

DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN EN TUBERÍA LISA DE PVC DE 3/4" x 1.80mts

No	DIAMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL			VELOCIDAD (m/s)	PRESION			PERDIDAS DE CARGA TEORICAS (m)		
		(l/min)	(l/s)	(m³/h)		ENTRADA (m)	SALIDA (m)	ΔH (m)	DARCY - WEISBACH	HAZEN - WILLIAMS	BLASIUS
1	22.9	10.6	0.18	0.64	0.43	4.30	4.30	0.00	0.01	0.02	0.02
2	22.9	15.0	0.25	0.90	0.61	2.80	2.75	0.05	0.03	0.04	0.04
3	22.9	20.1	0.34	1.21	0.81	2.80	2.75	0.05	0.05	0.06	0.07
4	22.9	24.7	0.41	1.48	1.00	4.25	4.20	0.05	0.08	0.09	0.10
5	22.9	29.6	0.49	1.78	1.20	4.90	4.80	0.10	0.11	0.13	0.14
6	22.9	36.0	0.60	2.16	1.46	7.30	7.20	0.10	0.17	0.19	0.20
7	22.9	40.5	0.68	2.43	1.64	5.80	5.60	0.20	0.22	0.23	0.25
8	22.9	43.9	0.73	2.63	1.78	6.00	5.80	0.20	0.25	0.27	0.29
9	22.9	45.8	0.76	2.75	1.85	3.00	2.70	0.30	0.28	0.29	0.31
10	22.9	50.1	0.84	3.01	2.03	4.80	4.50	0.30	0.33	0.35	0.36
11	22.9	54.6	0.91	3.28	2.21	5.20	4.80	0.40	0.39	0.41	0.42
12	22.9	58.7	0.98	3.52	2.38	5.20	4.80	0.40	0.45	0.47	0.48
13	22.9	59.8	1.00	3.59	2.42	6.80	6.40	0.40	0.47	0.48	0.49
14	22.9	65.3	1.09	3.92	2.64	7.10	6.60	0.50	0.56	0.57	0.57
15	22.9	71.4	1.19	4.28	2.89	7.60	7.00	0.60	0.67	0.67	0.67

ΔH: Pérdida de carga en la tubería.

CUADRO N° 03

DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN EN TUBERÍA LISA DE PVC DE ½" x 1.80mts

No	DIAMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL			VELOCIDAD (m/s)	PRESION			PERDIDAS DE CARGA TEORICAS (m)		
		(l/min)	(l/s)	(m³/h)		ENTRADA (m)	SALIDA (m)	ΔH (m)	DARCY - WEISBACH	HAZEN - WILLIAMS	BLASIUS
1	17.4	10.8	0.18	0.65	0.76	2.4	2.3	0.10	0.06	0.08	0.09
2	17.4	14.9	0.25	0.89	1.04	4.3	4.2	0.10	0.11	0.14	0.16
3	17.4	20.3	0.34	1.22	1.42	4.2	4.0	0.20	0.21	0.25	0.27
4	17.4	25.0	0.42	1.50	1.75	5.5	5.2	0.30	0.32	0.37	0.39
5	17.4	30.4	0.51	1.82	2.13	6.2	5.8	0.40	0.48	0.53	0.56
6	17.4	35.4	0.59	2.12	2.48	5.0	4.4	0.60	0.65	0.70	0.72
7	17.4	39.9	0.67	2.39	2.80	6.4	5.8	0.60	0.82	0.87	0.89
8	17.4	44.9	0.75	2.69	3.15	4.9	4.0	0.90	1.04	1.08	1.10
9	17.4	50.2	0.84	3.01	3.52	6.8	5.8	1.00	1.31	1.33	1.34
10	17.4	54.7	0.91	3.28	3.83	6.4	5.1	1.30	1.55	1.56	1.55
11	17.4	57.4	0.96	3.44	4.02	5.8	4.4	1.40	1.71	1.71	1.69
12	17.4	60.3	1.01	3.62	4.23	7.0	5.6	1.40	1.88	1.87	1.84
13	17.4	64.7	1.08	3.88	4.53	7.8	6.2	1.60	2.17	2.13	2.08
14	17.4	67.2	1.12	4.03	4.71	7.8	6.1	1.70	2.34	2.29	2.22

ΔH: Pérdida de carga en la tubería.

CUADRO N° 04

DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN VALVULA PLASTICA DE ASIEN TO INCLINADO MARCA PLASSON
DE ¾" COMPLETAMENTE ABIERTA

No	CAUDAL			VELOCIDAD (m/s)	PRESION		
	(l/min)	(l/s)	(m³/h)		ENTRADA (m)	SALIDA (m)	ΔH (m)
1	10.90	0.18	0.65	0.67	4.20	4.15	0.05
2	19.80	0.33	1.19	1.21	6.60	6.50	0.10
3	31.00	0.52	1.86	1.90	5.80	5.40	0.40
4	40.00	0.67	2.40	2.45	6.60	6.00	0.60
5	49.70	0.83	2.98	3.05	8.80	8.00	0.80
6	59.60	0.99	3.58	3.66	7.90	6.80	1.10
7	64.30	1.07	3.86	3.94	9.00	7.80	1.20

ΔH : Pérdida de carga en la válvula.

CUADRO N° 05

DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN VALVULA PLASTICA DE ASIEN TO INCLINADO MARCA PLASSON
DE ¾" SEMIABIERTA

No	CAUDAL			VELOCIDAD (m/s)	PRESION		
	(l/min)	(l/s)	(m³/h)		ENTRADA (m)	SALIDA (m)	ΔH (m)
1	10.30	0.17	0.62	0.63	1.70	1.60	0.10
2	21.30	0.36	1.28	1.31	9.20	8.80	0.40
3	30.50	0.51	1.83	1.87	8.60	8.00	0.60
4	36.20	0.60	2.17	2.22	5.00	4.20	0.80
5	43.00	0.72	2.58	2.64	9.40	8.20	1.20
6	49.90	0.83	2.99	3.06	8.80	7.00	1.80
7	61.90	1.03	3.71	3.80	10.20	7.60	2.60

ΔH: Pérdida de carga en la válvula.

CUADRO N° 06

DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN CONDUCTOS DE PVC CON EXPANSION E 16.75mm A 63.75mm Y
REDUCCIÓN DE 63.75mm A 16.75mm

No	DIAMETRO (1)-(4)		DIAMETRO (2)-(3)		CAUDAL			VELOCIDAD (m/s)		PRESION				ENERGIA (m)			
	INTERNO (mm)	NOMINAL (pulg)	INTERNO (mm)	(l/min)	(l/s)	(m³/h)	(1) y	(2) y	PUNTO	PUNTO	PUNTO	PUNTO	P ₁ +	P ₂ +	P ₃ +	P ₄ +	
							(4)	(3)	1 (m)	2 (m)	3 (m)	4 (m)	V ₁ ² /2.g	V ₂ ² /2.g	V ₃ ² /2.g	V ₄ ² /2.g	
1	16.75	2 ½	63.75	18.40	0.31	1.10	1.39	0.10	4.00	4.00	4.00	3.90	4.10	4.00	4.00	4.00	
2	16.75	2 ½	63.75	31.70	0.53	1.90	2.40	0.17	4.70	4.80	4.80	4.50	4.99	4.80	4.80	4.79	
3	16.75	2 ½	63.75	40.60	0.68	2.44	3.07	0.21	3.70	3.80	3.80	3.30	4.18	3.80	3.80	3.78	
4	16.75	2 ½	63.75	51.50	0.86	3.09	3.90	0.27	2.40	2.60	2.60	1.80	3.17	2.60	2.60	2.57	
5	16.75	2 ½	63.75	60.30	1.01	3.62	4.56	0.31	3.50	3.90	3.90	2.80	4.56	3.91	3.91	3.86	
6	16.75	2 ½	63.75	65.00	1.08	3.90	4.92	0.34	4.20	4.60	4.60	3.30	5.43	4.61	4.61	4.53	

ΔH: Pérdida de carga entre dos puntos.

CUADRO N° 07

DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN VALVULA HIDRAULICA PLASTICA MARCA DOROT DE 1"

No	CAUDAL			VELOCIDAD (m/s)	PRESION		
	(l/min)	(l/s)	(m³/h)		ENTRADA (m)	SALIDA (m)	ΔH (m)
1	26.30	0.44	1.58	1.06	8.20	8.00	0.20
2	36.70	0.61	2.20	1.49	8.70	8.40	0.30
3	45.50	0.76	2.73	1.84	9.00	8.60	0.40
4	54.60	0.91	3.28	2.21	6.00	5.40	0.60
5	67.50	1.13	4.05	2.73	7.40	6.60	0.80

ΔH : Pérdida de carga en la válvula.

CUADRO N° 08

DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA Y CAUDAL DE SUCCIÓN EN TUBO DE VENTURI DE 1"

No	PRESION		ΔH (m)	Volumen aforado (litros)	Tiempo de aforo (seg)	CAUDAL SUCCION (lt/hr)
	ENTRADA (m)	SALIDA (m)				
1	10	3.0	7.00	0.20	67.60	10.65
2	11	2.8	8.20	0.40	49.20	29.27
3	12	2.6	9.40	1.20	83.60	51.67
4	14	2.2	11.80	1.20	42.60	101.41
5	16	1.8	14.20	1.20	31.60	136.71
6	18	1.4	16.60	1.20	33.00	130.91
7	20	0.8	19.20	1.20	32.80	131.71
8	22	0.6	21.40	1.20	33.10	130.51
9	28	0.0	28.00	1.20	33.40	129.34

ΔH : Pérdida de carga en el tubo de Venturi.

Las letras de color rojo no fueron tomados en cuenta para la elaboración de las curvas del Venturi.

CUADRO N° 09

DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN FILTRO DE ANILLOS DE 1" DE 120MESH

No	CAUDAL			VELOCIDAD (m/s)	PRESION		
	(l/min)	(l/s)	(m³/h)		ENTRADA (m)	SALIDA (m)	ΔH (m)
1	9.10	0.15	0.55	0.37	2.20	1.80	0.40
2	14.20	0.24	0.85	0.57	3.00	2.60	0.40
3	19.80	0.33	1.19	0.80	5.60	5.20	0.40
4	24.50	0.41	1.47	0.99	8.20	7.70	0.50
5	30.90	0.52	1.85	1.25	5.50	4.80	0.70
6	34.10	0.57	2.05	1.38	5.30	4.40	0.90
7	39.00	0.65	2.34	1.58	6.90	5.80	1.10
8	45.70	0.76	2.74	1.85	7.80	6.20	1.60
9	49.60	0.83	2.98	2.01	5.80	3.80	2.00
10	55.10	0.92	3.31	2.23	6.90	4.60	2.30
11	60.80	1.01	3.65	2.46	8.00	5.20	2.80

ΔH : Pérdida de carga en el filtro.

CUADRO N° 10

DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN SINGULARIDADES DE PVC, REDES EN SERIE Y EN PARALELO ¾"

No	DIAMETRO INTERNO (mm)	CAUDAL			VELOCIDAD (m/s)	PRESION										
		(l/min)	(l/s)	(m³/h)		A (m)	B (m)	C (m)	D (m)	E (m)	F (m)	G (m)	H (m)	I (m)	J (m)	K (m)
1	22.9	24.60	0.41	1.48	1.00	5.70	5.70	5.60	5.50	5.50	5.30	5.20	5.20	5.20	5.20	5.10
2	22.9	28.70	0.48	1.72	1.16	7.70	7.60	7.40	7.20	7.20	6.90	7.00	7.00	7.00	7.00	6.80
3	22.9	31.20	0.52	1.87	1.26	9.80	9.60	9.30	9.00	9.00	8.70	8.80	8.80	8.80	8.80	8.60
5	22.9	48.20	0.80	2.89	1.95	10.20	9.80	9.10	8.40	8.40	7.50	6.90	6.60	6.60	6.50	5.50
6	22.9	51.40	0.86	3.08	2.08	9.50	8.90	8.10	7.30	7.30	6.20	5.40	5.20	5.10	5.00	3.90
7	22.9	56.90	0.95	3.41	2.30	6.30	5.40	4.40	3.40	3.40	2.00	1.10	0.70	0.70	0.50	0.00
8	22.9	63.30	1.06	3.80	2.56	7.30	6.10	4.80	3.50	3.50	1.60	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00

No	ΔH									
	AB (m)	Codo 1 (m)	Codo 2 (m)	DE (m)	DF (m)	Valvula (m)	Codo3 (m)	JK (m)	HK (m)	BK (m)
1	0.00	0.10	0.10	0.00	0.20	0.00	0.00	0.10	0.10	0.60
2	0.10	0.20	0.20	0.00	0.30	0.00	0.00	0.20	0.20	0.80
3	0.20	0.30	0.30	0.00	0.30	0.00	0.00	0.20	0.20	1.00
5	0.40	0.70	0.70	0.00	0.90	0.30	0.10	1.00	1.10	4.30
6	0.60	0.80	0.80	0.00	1.10	0.30	0.10	1.10	1.30	5.00
7	0.90	1.00	1.00	0.00	1.40	0.40	0.20	0.50	0.70	5.40
8	1.20	1.30	1.30	0.00	1.90	0.30	0.00	0.00	0.00	6.10

ΔH: Pérdida de carga entre dos puntos.

ANEXO N° 2

Costo de la construcción del Banco de Pruebas

PRESUPUESTO
PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCION DEL BANCO DE PRUEBAS

ITEM	ESPECIFICACIONES	UND.	CANTIDAD	P. UNIT S/.	P. PARCIAL S/.	SUB TOTAL S/.
1.0	MANO DE OBRA					2010,00
	Técnico soldador (estructura)	H-H	5,0	30,00	150,00	
	Técnico gasfitero*	H-H	50,0	30,00	1500,00	
	Operario (pintor)	H-H	2,0	30,00	60,00	
	Peón*	H-H	15,0	20,00	300,00	

ITEM	ESPECIFICACIONES	UND.	CANTIDAD	P. UNIT S/.	P. PARCIAL S/.	SUB TOTAL S/.
2.0	MATERIALES					
2.1.	Válvulas					884,00
	Válvula esférica PVC 3/4" - SANKING	Und.	8,0	4,00	32,00	
	Válvula esférica PVC 1" - SANKING	Und.	3,0	6,00	18,00	
	Válvula de asiento inclinado 3/4" - PLASSON	Und.	2,0	35,00	70,00	
	Válvula hidráulica de 1" - DOROT	Und.	2,0	165,00	330,00	
	Piloto sostenedor de presión - DOROT	Und.	1,0	210,00	210,00	
	Piloto reductor de presión - BERMAD	Und.	1,0	210,00	210,00	
	Válvula de aire de 1/2" - TEFFEN	Und.	1,0	14,00	14,00	
2.2.	Filtros					35,00
	Filtro de anillo de 120mesh 1" - AZUD	Und.	1,0	35,00	35,00	
2.3	Tuberías y Manguera					259,25
	Tubo PVC C-10 de 1" x 5m	Und.	2,0	11,90	23,80	
	Tubo PVC C-10 de 3/4" x 5m	Und.	3,0	8,90	26,70	
	Tubo PVC C-10 de 1/2" x 5m	Und.	1,0	7,50	7,50	
	Tubo de Venturi de 1"	Und.	1,0	199,00	199,00	
	Manguera PE C-2.5 de 32mm	Mts.	3,0	0,75	2,25	
2.4.	Accesorios					202,80
2.4.1.	Uniones.					
	Unión Universal PVC de 3/4" SP	Und.	22,0	3,80	83,60	
	Unión Universal PVC de 1" SP	Und.	1,0	4,50	4,50	
	Unión PVC de 1/2" Sp	Und.	2,0	1,00	2,00	
	Unión mixta PVC 3/4"	Und.	10,0	1,00	10,00	
	Unión mixta PVC 1"	Und.	4,0	1,50	6,00	
	Adaptador PVC 1"	Und.	4,0	2,20	8,80	
	Adaptador p/manguera 32mm x 1"	Und.	1,0	3,50	3,50	
	Adaptador p/manguera 25mm x 3/4"	Und.	2,0	1,80	3,60	
	Adaptador p/manguera 25mm x 3/4"	Und.	2,0	1,50	3,00	
	Adaptador p/manguera 16mm x 3/4"	Und.	2,0	1,50	3,00	
2.4.2.	Tees					
	Tee PVC de 3/4" SP	Und.	13,0	1,30	16,90	
	Tee PVC de 1" SP	Und.	2,0	2,10	4,20	
2.4.3.	Codos					
	Codo PVC de 1" x 90°	Und.	7,0	1,50	10,50	
	Codo PVC de 3/4" x 90°	Und.	13,0	1,10	14,30	
	Codo PVC de 3/4" x 45°	Und.	2,0	1,10	2,20	
2.4.4.	Reducciones					
	Reducción PVC de 1"x3/4" SP	Und.	9,0	1,50	13,50	
	Reducción PVC de 3/4"x1/2" SP	Und.	2,0	1,10	2,20	
	Reducción PVC de 2 1/2"x3/4" SP	Und.	2,0	5,50	11,00	

ITE M	ESPECIFICACIONES	UND.	CANTIDAD	P. UNIT S/.	P. PARCIAL S/.	SUB TOTAL S/.
2.5.	Equipos y accesorios para medición de presión					1107,40
	Collarín PP de 25mm x 1/2" - ALFA	Und.	27,0	4,00	108,00	
	Collarín PP de 32mm x 1/2" - ALFA	Und.	12,0	5,00	60,00	
	Bushing PP de 1/2"x1/4" - TEFFEN	Und.	39,0	3,00	117,00	
	Tomas manométricas PP de 1/2" - TEFFEN	Und.	39,0	15,00	585,00	
	Aguja metálica c/adaptador p/manómetro	Und.	4,0	5,60	22,40	
	Manómetro glicerina tipo Bourdon de 0-6.0bar	Und.	1,0	54,00	54,00	
	Manómetro glicerina tipo Bourdon de 0-2.5bar	Und.	2,0	48,00	96,00	
	Manómetro glicerina tipo Bourdon de 0-1.0bar	Und.	1,0	65,00	65,00	
2.6.	Estructura Metálica					600,00
	Tubo cuadrado de hierro 1"x1"x1/2"	Und.	5,0	80,00	400,00	
	Tubo redondo de hierro de 2"	Und.	1,0	100,00	100,00	
	Tubo rectangular de hierro de 2"x1"x1/8"	Und.	1,0	100,00	100,00	
2.7.	Pintura					115,00
	Pintura zincromato automotriz	Gln.	0,5	44,00	22,00	
	Pintura epóxica	Gln.	1,0	78,00	78,00	
	Thinner acrílico	Gln.	1,0	15,00	15,00	
2.8.	Otros					291,50
	Juego de garruchas deNylon 3"	Und.	1,0	65,00	65,00	
	Cinta teflón	Und.	20,0	1,00	20,00	
	Pegamento OATEY x 1/4 gln	Und.	2,0	21,00	42,00	
	Soldadura gruesa	Kg.	2,0	15,00	30,00	
	Soldadura fina	Kg.	2,0	13,00	26,00	
	Lija de hierro	Und.	4,0	2,00	8,00	
	Herramientas	%	0,05	#####	100,50	

Total Presupuesto S/.	5504,95
------------------------------	----------------

*Se valora el trabajo del tesista y del ayudante.

ANEXO N° 3

Manuales de Laboratorio para uso del Banco de Pruebas y el desarrollo de prácticas para los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Agrícola.

PERDIDAS POR FRICCIÓN EN TUBERIAS

Objetivos.

Determinar experimentalmente las pérdidas de carga por fricción y compararlas con las pérdidas de carga obtenidas de las fórmulas de Darcy-Weisbach, Hazen-Williams, y Blasius.

Aplicación.

A medida que un fluido pasa por un conducto, tubo o algún otro dispositivo, ocurren pérdidas de energía debido a la fricción del líquido con las paredes del tubo; tales pérdidas traen como resultado una disminución de la presión entre dos puntos del sistema de flujo, lo cual se traduce en que no se logre conducir el caudal deseado o que no tenga la suficiente energía esperada o necesaria para lo que se requiere, que en ambos casos significa un error de diseño y el fracaso de un proyecto, por lo que es importante que el alumno aprenda a calcular las pérdidas de energía debidas a la fricción del líquido con las paredes del conducto, que en este caso es una tubería.

Fórmulas a utilizar.

Darcy-Weisbach:

$$h_{p, \text{ turbulento}} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

L = longitud del conducto (m)

D = diámetro de la tubería (m)

V = velocidad media del flujo (m/s)

f = coeficiente de fricción (adimensional)

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

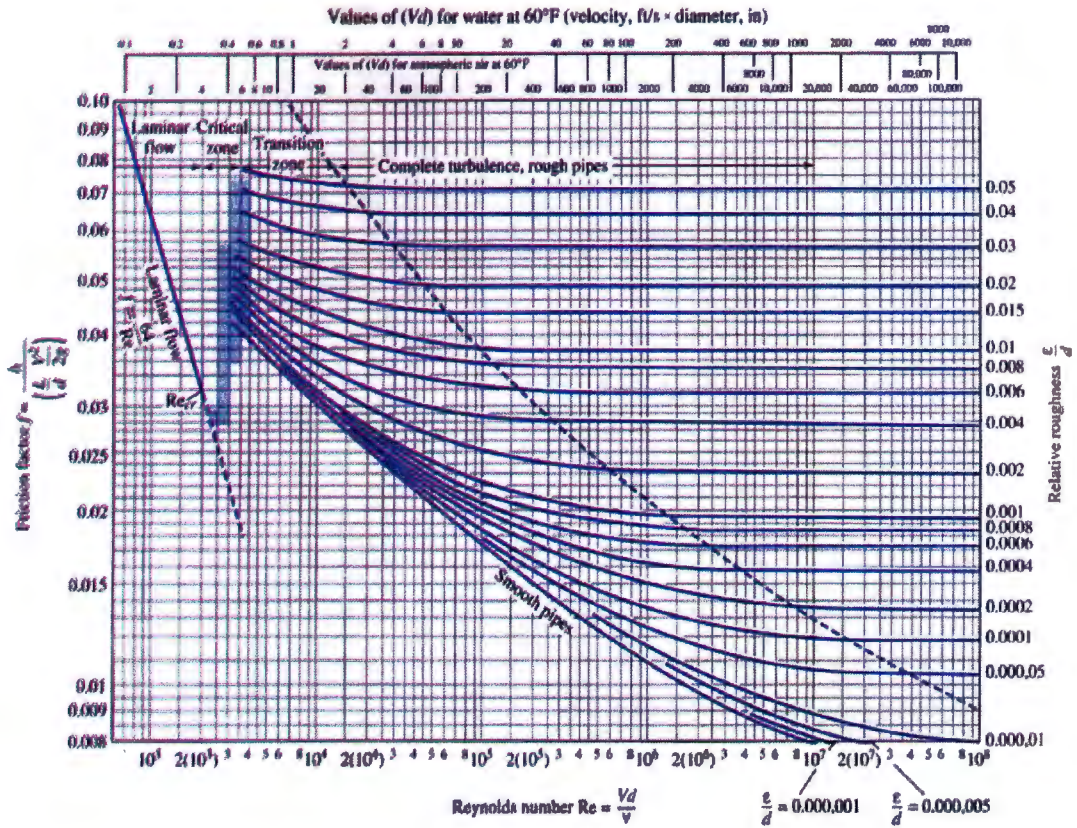


Diagrama de Moody

Blasius:

$$h_e = 0.473 \cdot \frac{Q^{1.76}}{D^{4.76}} \cdot L$$

Donde:

L = longitud del conducto (m)

D = diámetro de la tubería (mm)

Q = caudal del fluido (lt/hr)

Hazen – Williams:

$$h_e = \frac{10.7}{c^{1.86}} \cdot \frac{Q^{1.86}}{D^{4.76}} \cdot L$$

Donde:

L = longitud del conducto (m)

D = diámetro de la tubería (m)

Q = caudal del fluido (m^3/s)

C = coeficiente de fricción del material (adimensional)

Equipos a utilizar.

Manómetro de 0-1Bar

Tubería PVC $\frac{3}{4}$ " x 1.80m

Tubería PVC $\frac{1}{2}$ " x 1.80m

Procedimiento.

1. Identificar los elementos que conforman el Banco de Pruebas: equipo de bombeo, válvulas de control, líneas de conducción y equipos de medición. (Ver esquema del Banco de Pruebas)
2. Cebarr la bomba a utilizar y habilitar sólo la línea de conducción I abriendo la válvula I y cerrando las válvulas correspondientes a las demás líneas de conducción. Encender la bomba.
3. Regular el caudal y presión a menos de 1.0 Bar, sobre el primer punto de prueba en la línea de conducción, con las válvulas 1 y 2 ubicadas a la entrada y salida del banco, respectivamente.
4. Medir las presiones en los puntos de prueba ubicados a la entrada y salida de la tubería.
5. Anotar los datos requeridos en la tabla N° 01.
6. Repetir los pasos N° 3, 4 y 5 con caudales diferentes.
7. Apagar la bomba y cambiar la línea de conducción I por una tubería de diferente diámetro ($\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ " o 1"). Y repetir todo el procedimiento a partir del paso N° 3.

Nota: De requerir mayor caudal, encender ambas bombas configuradas en paralelo.

Procedimiento en gabinete.

1. De la tabla de recopilación de datos extraer los valores de caudal y pérdida de carga (restando la presión de entrada menos la presión de salida)

2. Plotear los puntos en un eje de coordenadas (uno por cada diámetro de tubería) colocando los valores de caudal (l/min) en el eje de las abscisas, y los valores de pérdida de carga (m.c.a.) en el eje de las ordenadas.
3. Calcular las pérdidas de carga teóricas con las fórmulas de Darcy-Weisbach, Blasius, y Hazen-Williams a partir de los caudales experimentados durante la prueba y plotear los puntos en el mismo eje de coordenadas elaborado en el paso anterior.
4. Comparar las curvas elaboradas.

TABLA N° 01

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS FORMATO DE RECOPIACION DE DATOS PARA LAS PERDIDAS DE CARGA POR FRICCION EN TUBERIAS							
No	Longitud Tramo (m)	Diámetro		Caudal (l/min)	Presión		Observaciones
		Nominal (pulg)	Interno (mm)		Entrada (m)	Salida (m)	

Para saber cuáles de los grupos de valores de pérdidas de carga teóricas nos acerca más a las pérdidas de carga obtenidas experimentalmente usamos la “fórmula de equilibrio de NASH:

$$(\%) = 1 - \frac{\sum(O_b - O_t)^2}{\sum(O_b - O_{prom})^2}$$

donde:

- O_b** : valores observados (ΔH obtenido experimentalmente)
- O_t** : valores teóricos (pérdidas de carga teóricas)
- O_{prom}** : promedio aritmético de valores obervados.

PERDIDAS EN VÁLVULAS

Objetivos.

Determinar experimentalmente las curvas de pérdidas de carga en válvulas de asiento inclinado y válvulas hidráulicas.

Aplicación.

Cuando un fluido pasa por elementos de regulación de caudal y presión de diferentes tipos (llámese válvulas de control), ocurren pérdidas de energía debido al diseño y material de este elemento. Al no saber el comportamiento de estas válvulas cuando trabajan en diferentes condiciones nos es difícil elegir cuál es la más adecuada para nuestros proyectos, lo cual se traduce en altos costos ya sea: al utilizar válvulas muy complejas o sencillas, válvulas que necesiten de altas o bajas presiones para su óptimo funcionamiento, válvulas de regulación rápida o lenta, etc. Que necesiten ser cambiadas por hacer nuestra primera elección incorrecta.

Es importante para el alumno conocer las limitaciones y bondades de estos elementos, y diferenciarlas unas de las otras. Así como aprender a evaluar cada válvula cuando no se cuenta con las especificaciones técnicas correspondientes.

Equipos a utilizar.

Manómetro de 0-1 Bar

Válvula PE de asiento inclinado $\frac{3}{4}$ " – PLASSON

Válvula hidráulica plástica 1"

Procedimiento (Válvula de asiento inclinado)

1. Identificar los elementos que conforman el Banco de Pruebas: equipo de bombeo, válvulas de control, líneas de conducción y equipos de medición. (Ver esquema del Banco de Pruebas)
2. Cebarr la bomba a utilizar y habilitar sólo la línea de conducción II abriendo la válvula II y cerrando las válvulas correspondientes a las demás líneas de conducción.
3. Encender la bomba y abrir completamente la válvula Plasson antes de empezar la prueba.

4. Regular el caudal y presión a menos de 1.0 Bar, sobre el primer punto de prueba ubicado antes de la válvula, con las válvulas 1 y 2 ubicadas a la entrada y salida del banco, respectivamente.
5. Medir las presiones en los puntos de prueba ubicados a la entrada y salida de la de la válvula oblicua.
6. Anotar los datos requeridos en la tabla N° 01.
7. Repetir los pasos N° 4, 5 y 6 con caudales diferentes.
8. La válvula de asiento inclinado cierra completamente con 4 vueltas y media de la manija. Cerrar la válvula a un número de vueltas deseado y repetir todo el procedimiento a partir del paso N° 4.

Nota: De requerir mayor caudal, encender ambas bombas configuradas previamente en paralelo.

Procedimiento (Válvula hidráulica)

1. Identificar los elementos que conforman el Banco de Pruebas: equipo de bombeo, válvulas de control, líneas de conducción y equipos de medición.
2. Cebiar la bomba a utilizar y habilitar sólo la línea de conducción III abriendo la válvula III y cerrando las válvulas correspondientes a las demás líneas de conducción.
3. Encender la bomba y abrir la válvula hidráulica colocando la válvula de 3 vías en posición "OPEN" antes de empezar la prueba.
4. Regular el caudal y presión a menos de 1.0 Bar, sobre el primer punto de prueba ubicado antes de la válvula, con las válvulas 1 y 2 ubicadas a la entrada y salida del banco, respectivamente.
5. Medir las presiones en los puntos de prueba ubicados a la entrada y salida de la válvula hidráulica.
6. Anotar los datos requeridos en la tabla N° 02.
7. Repetir los pasos N° 4, 5 y 6 con caudales diferentes.

Nota: De requerir mayor caudal, encender ambas bombas configuradas previamente en paralelo.

Procedimiento en gabinete (Válvula hidráulica y Válvula Plasson)

1. De la tabla de recopilación de datos extraer los valores de caudal y pérdida de carga (restando la presión de entrada menos la presión de salida)
2. Plotear los puntos en un eje de coordenadas colocando los valores de caudal (l/min) en el eje de las abscisas, y los valores de pérdida de carga (m.c.a.) en el eje de las ordenadas.
3. Hallar la línea de tendencia que mejor se ajuste a los valores obtenidos y compararlos entre ambas válvulas.

TABLA N° 01

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA						
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA						
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS						
FORMATO DE RECOPIACION DE DATOS PARA LA PERDIDAS DE CARGA EN LA VALVULA DE ASIEN TO INCLINADO - PLASSON						
No	Abertura válvula (vueltas)	Diámetro Nominal (pulg)	Caudal (l/min)	Presión		Observaciones
				Entrada (m)	Salida (m)	

TABLA N° 02

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS</p> <p style="text-align: center;">FORMATO DE RECOPIACION DE DATOS PARA LA PERDIDAS DE CARGA EN VALVULAS HIDRAULICAS</p>					
No	Diámetro Nominal (pulg)	Caudal (l/min)	Presión		Observaciones
			Entrada (m)	Salida (m)	

PERDIDAS EN TUBO DE VENTURI

Objetivos.

El alumno será capaz de calibrar el tubo de Venturi aplicado en fertilizaciones a través de sistemas de riego tecnificado.

Aplicación.

Es muy común el uso de tubos de Venturi en sistemas de fertirriego en el que el cambio de sección en este elemento produce una presión negativa que succiona un fluido (caldo de fertilizantes) para inyectarlo a través del conducto matriz. El caudal que se inyecte al sistema depende de la pérdida de carga que se genere en el tubo de Venturi. Por tal razón es muy importante que el alumno sepa calibrar este elemento regulando las presiones y caudales de succión del fluido.

Equipos a utilizar.

Manómetro de 0-2.5Bar

Manómetro de 0-1Bar

Tubo de Venturi de 1"

Kid de fertirriego del Venturi (canastilla + manguera de 16mm transparente)

Probeta de 2000ml de capacidad.

Cronómetro.

Procedimiento.

1. Identificar los elementos que conforman el Banco de Pruebas: equipo de bombeo, válvulas de control, líneas de conducción y equipos de medición. (Ver esquema del Banco de Pruebas)
2. Cebarr la bomba a utilizar y habilitar sólo la línea de conducción IV abriendo la válvula IV y cerrando las válvulas correspondientes a las demás líneas de conducción. Encender la bomba.
3. Colocar los manómetros de 2.5Bar y de 1.0Bar antes y después del Venturi, respectivamente.
4. Llenar la probeta de 2000ml con agua y colocarla en el suelo. Introducir la canastilla del kid de fertirriego hasta el fondo de la probeta.

Nota: De requerir mayor caudal, encender ambas bombas configuradas previamente en paralelo.

Procedimiento en gabinete.

1. Calcular las pérdidas de carga con los datos iniciales de presión anotados en la Tabla N° 1 con sus respectivos caudales.
2. Plotear los puntos en un eje de coordenadas colocando los valores de caudal (l/min) en el eje de las abscisas, y los valores de pérdida de carga (m.c.a.) en el eje de las ordenadas.
3. Hallar la línea de tendencia que mejor se ajuste a los puntos obtenidos.

TABLA N° 01

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA					
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA					
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS					
FORMATO DE RECOPIACION DE DATOS PARA LAS PERDIDAS DE CARGA EN EL FILTRO DE ANILLOS					
No	Diámetro Nominal (pulg)	Caudal (l/min)	Presión		Observaciones
			Entrada (m)	Salida (m)	

PERDIDAS EN EXPANSION Y REDUCCION

Objetivos.

El alumno podrá visualizar el concepto de pérdida de energía producida por un dispositivo o accesorio en una tubería que modifica el flujo normal.

Aplicación.

A medida que un fluido fluye por un conducto, ocurren pérdidas de energía debido a la fricción del líquido con las paredes de éste, pero también se presenta otro tipo de pérdida, que si bien es relativamente menor que la fricción en conductos de longitud extensa, se vuelve importante calcularlas en conductos de pequeña longitud, ya que pueden resultar de tal magnitud que en algunos casos superan las pérdidas por fricción, tal es el caso en tuberías potabilizadoras, plantas de tratamiento de aguas residuales, trenes de descarga, etc.

Fórmula a utilizar ($E_1 = E_2 + h_L$)

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

Donde:

E_1 = Energía en la sección 1 (m)

E_2 = Energía en la sección 2 (m)

P_1 = presión manométrica en la sección 1 (m)

P_2 = presión manométrica en la sección 2 (m)

V_1 = Velocidad media del flujo en la sección 1 (m/s)

V_2 = Velocidad media del flujo en la sección 2 (m/s)

g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2)

h_L = pérdida de energía (m)

γ = peso específico del agua (1)

Equipos a utilizar.

Manómetro de 0-1Bar

Expansión de $\frac{3}{4}$ " a $2\frac{1}{2}$ "

Reducción de $2\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ "

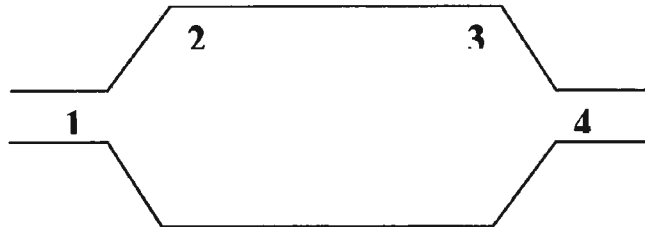


FIGURA N° 01
Diámetro interior (1) y (4): 16.75mm
Diámetro interior (2) y (3): 63.75mm

Procedimiento.

1. Identificar los elementos que conforman el Banco de Pruebas: equipo de bombeo, válvulas de control, líneas de conducción y equipos de medición. (Ver esquema del Banco de Pruebas)
2. Cebear la bomba a utilizar y habilitar sólo la línea de conducción II abriendo la válvula II y cerrando las válvulas correspondientes a las demás líneas de conducción. Encender la bomba.
3. Regular el caudal y presión a menos de 1.0 Bar, sobre el primer punto de prueba ubicado antes de la expansión de $\frac{3}{4}$ " a $2\frac{1}{2}$ ", con las válvulas 1 y 2 ubicadas a la entrada y salida del banco, respectivamente.
4. Medir las presiones en los puntos de prueba (1), (2), (3) y (4) ubicados tal como muestra la figura N° 01.
5. Anotar los datos requeridos en la tabla N° 01.
6. Repetir los pasos N° 3, 4 y 5 con caudales diferentes.

Nota: De requerir mayor caudal, encender ambas bombas configuradas previamente en paralelo.

PERDIDAS SINGULARES, REDES EN SERIE Y EN PARALELO

Objetivos.

Estudiar experimentalmente las pérdidas de energía que se produce en una corriente de agua cuando atraviesa diversas singularidades, una red en serie y una red en paralelo.

Aplicación.

La instalación utiliza un sistema con diferentes tipos de accesorios como codos, tees, válvulas esféricas, etc. Todas estas piezas están dispuestas en serie y en paralelo. Asimismo, se miden las pérdidas de presión por cada accesorio, en los tramos de las redes en serie y en paralelo dispuestos sobre el banco. Con los datos obtenidos se analizarán el comportamiento del flujo y la energía en cada tramo, y se hallarán las curvas de pérdida de carga en cada accesorio.

Equipos a utilizar.

Manómetro de 0-1 Bar

Procedimiento.

1. Identificar los elementos que conforman el Banco de Pruebas: equipo de bombeo, válvulas de control, líneas de conducción y equipos de medición. (Ver esquema del Banco de Pruebas)
2. Cebiar la bomba a utilizar y habilitar sólo la línea de conducción V abriendo la válvula V y cerrando las válvulas correspondientes a las demás líneas de conducción. Encender la bomba.
3. Abrir completamente las válvulas AB y GI. Cerrar la válvula EH.
4. Regular el caudal y presión a menos de 1.0 Bar, sobre el primer punto de prueba ubicado a la entrada de la línea de conducción V, con las válvulas 1 y 2 ubicadas a la entrada y salida del banco, respectivamente.
5. Medir las presiones en los puntos de prueba ubicados a lo largo de la línea de conducción: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J y K.
6. Anotar los datos requeridos en la tabla N° 01.
7. Repetir los pasos N° 4, 5 y 6 con caudales diferentes.

Nota: De requerir mayor caudal, encender ambas bombas configuradas previamente en paralelo.

Procedimiento en gabinete (accesorios).

1. Calcular las pérdidas de carga de cada accesorio (codo $\frac{3}{4}$ " x 90° , codo $\frac{3}{4}$ " x 45° , Tee $\frac{3}{4}$ " y válvula esférica de $\frac{3}{4}$ ") con los datos iniciales de presión anotados en la Tabla N° 1.
2. Plotear los puntos ($\frac{3}{4}$ " x 90° , codo $\frac{3}{4}$ " x 45° y válvula esférica de $\frac{3}{4}$ ") en un eje de coordenadas colocando los valores de caudal (l/min) en el eje de las abscisas, y los valores de pérdida de carga (m.c.a.) en el eje de las ordenadas.
3. Hallar la línea de tendencia que mejor se ajuste a los valores obtenidos y compararlos entre sí.

Procedimiento en gabinete (red en serie).

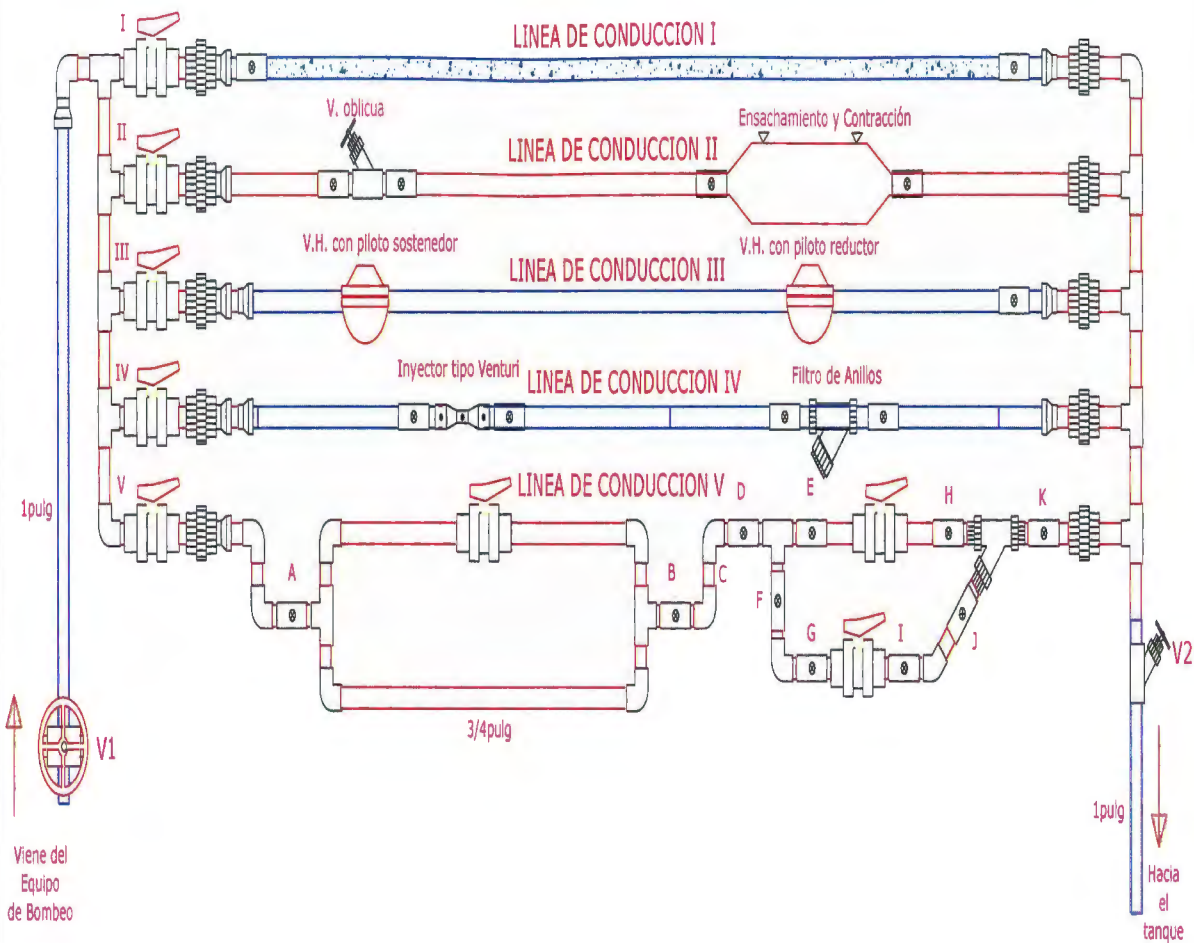
1. Calcular la pérdida de carga entre los puntos B y K.
2. Comparar el resultado anterior con la suma de las pérdidas de carga de los accesorios que conforman el tramo BK.

Procedimiento en gabinete (red en paralelo).

1. Calcular la pérdida de carga entre los puntos A y B.
2. Hallar los caudales que circulan independientemente por cada una de las líneas que conforman la red en paralelo AB, en base a las curvas y resultados obtenidos en las pruebas anteriores.

ANEXO N° 4

Esquema del Banco de Pruebas.



PROYECTO:
DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UN BANCO DE ENSAYO PARA EL ESTUDIO DE PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN Y SINGULARIDAD
 UBICACION: UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA - FIA - DRH

TESIS PARA OBTAR EL GRADO DE INGENIERO AGRÍCOLA

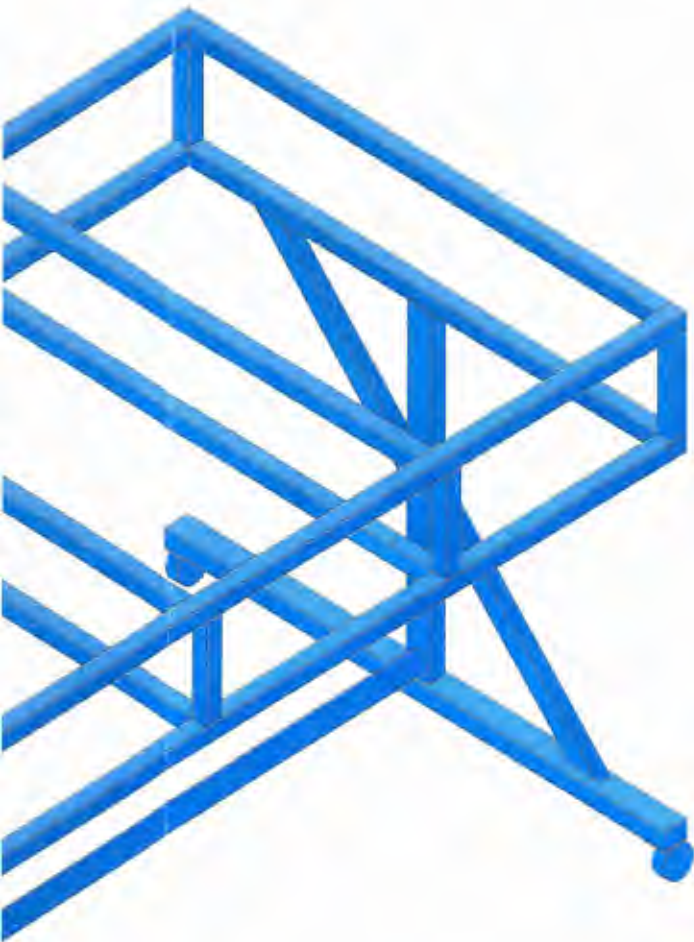
TESISTA:
 RAFAEL G. POMA SOLANO

ASESOR:
 ING. DAVID ASCENCIOS TEMPLO

ESCALA: FECHA:

CONTIENE:

PLANO ESQUEMÁTICO DEL BANCO DE ENSAYO



PROYECTO:
DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UN BANCO DE ENSAYO PARA EL ESTUDIO DE PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN Y SINGULARIDAD
UBICACION: UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA - FIA - DRH

dad Nacional

TESIS PARA OBTAR EL GRADO DE INGENIERO AGRÍCOLA	
TESISTA: RAFAEL G. POMA SOLANO	
ASESOR: ING. DAVID ASCENCIOS TEMPLO	
ESCALA: 1 / 15	FECHA: OCTUBRE / 2015

CONTIENE:

**PLANO ISOMÉTRICO
DE LA ESTRUCTURA DE
SOPORTE DEL BANCO DE ENSAYO**