



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

COMPARACIÓN DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN ENTRE VÁLVULAS COMERCIALES DE DISTINTO MATERIAL

Gianni Smiley Monterroso López

Asesorado por el Ing. Carlos Salvador Gordillo García

Guatemala, septiembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMPARACIÓN DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN ENTRE
VÁLVULAS COMERCIALES DE DISTINTO MATERIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

GIANNI SMILEY MONTERROSO LÓPEZ

ASESORADO POR EL ING. CARLOS SALVADOR GORDILLO GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Mellini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Geovani Rudamán Miranda Castañon
EXAMINADORA	Inga. María del Mar Girón Cordón
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

COMPARACIÓN DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN ENTRE VÁLVULAS COMERCIALES DE DISTINTO MATERIAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 17 de abril de 2009.



Gianni Smiley Monterroso López

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 31 de Mayo de 2011

Ingeniero
Pedro Aguilar Polanco
Jefe Departamento de Hidráulica
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Ingeniero Aguilar:

Atentamente le informo que he revisado el Trabajo de Graduación del estudiante universitario **Gianni Smiley Monterroso López**, denominado "*Comparación de Pérdidas de Presión entre Válvulas Comerciales de Distinto Material*", habiéndose desarrollado según el protocolo aprobado.

Deseo manifestar que el estudiante Monterroso López ha llenado las expectativas de este trabajo, permitiéndole obtener las conclusiones y recomendaciones esperadas, por lo que en mi calidad de asesor lo doy por aprobado y le solicito darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular me es grato saludarle,

Deferentemente,

"Id y enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Gordillo
Asesor de Tesis

Carlos Salvador Gordillo García
INGENIERO CIVIL E HIDRAULICO
Colegiado 2,507



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
30 de septiembre de 2011

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

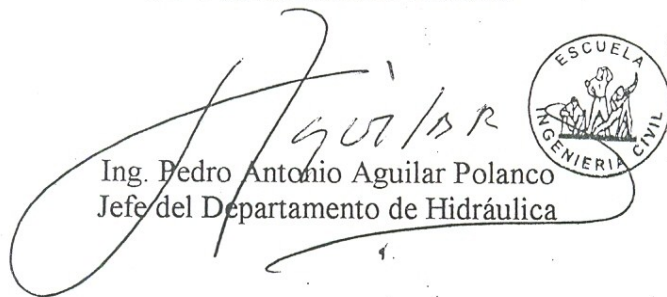
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **COMPARACIÓN DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN ENTRE VÁLVULAS COMERCIALES DE DISTINTO MATERIAL**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Gianni Smiley Monterroso López, quien contó con la asesoría del Ing. Carlos Salvador Gordillo García.

Considero este trabajo está bien desarrollado y representa un aporte para el área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe del Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC

/bbdeb.



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Carlos Salvador Gordillo García y del Jefe del Departamento de Hidráulica, Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco al trabajo de graduación del estudiante Gianni Smiley Monterroso López, titulado **COMPARACIÓN DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN ENTRE VÁLVULAS COMERCIALES DE DISTINTO MATERIAL**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
DIRECTOR
FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, agosto de 2012.

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **COMPARACIÓN DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN ENTRE VÁLVULAS COMERCIALES DE DISTINTO MATERIAL**, presentado por el estudiante universitario **Gianni Smiley Monterroso López**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, septiembre de 2012



/cc

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. VÁLVULAS COMERCIALMENTE DISPONIBLES	1
1.1. Válvulas de bronce	1
1.2. Válvulas de PVC	3
1.3. Válvulas de níquel	6
1.4. Válvulas de acero forjado	8
1.5. Válvulas de acero inoxidable	10
2. PÉRDIDAS DE CARGA EN VÁLVULAS	13
2.1. Pérdida de presión debida a válvulas	13
2.2. Relación entre la pérdida de presión y velocidad de flujo	15
2.3. Coeficiente de resistencia K	17
2.4. Longitud equivalente	19
2.4.1. Valores prácticos	20
2.5. Coeficiente de flujo	22
2.5.1. Coeficiente Cv	22
2.5.2. Coeficiente Kv	23
2.5.3. Coeficiente Av	23
2.6. Condiciones de flujo laminar	24

3.	ESPECIFICACIONES PARA VÁLVULAS SEGÚN SU MATERIAL.....	25
3.1.	Propiedades.....	25
3.1.1.	Propiedades mecánicas.....	25
3.1.2.	Propiedades térmicas.....	26
3.1.3.	Propiedades eléctricas.....	28
3.2.	Códigos y normas de válvulas.....	29
3.3.	Pruebas de laboratorio.....	31
3.3.1.	Tolerancia de prueba	33
3.4.	Montaje de válvulas.....	34
3.4.1.	Juntas.....	36
3.4.2.	Precauciones durante el montaje.....	37
3.5.	Mantenimiento.....	39
4.	PRÁCTICAS DE LABORATORIO	45
4.1.	Descripción del equipo de prueba.....	45
4.2.	Ensayo pérdidas de presión en válvulas del mismo tipo pero diferente material.....	48
4.2.1.	Objetivos.....	49
4.2.2.	Descripción del ensayo.....	49
4.2.3.	Cálculo de resultados.....	50
4.2.4.	Análisis de resultados	60
	CONCLUSIONES	61
	RECOMENDACIONES	63
	BIBLIOGRAFÍA.....	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Válvula de bronce tipo compuerta abierta a la mitad	2
2.	Válvula de PVC tipo bola	5
3.	Válvula de níquel tipo bola	7
4.	Válvula de acero forjado tipo compuerta.....	9
5.	Válvula de acero inoxidable tipo bola	11
6.	Perfiles de velocidad para flujo en tuberías.....	13
7.	Turbulencia y geometría en una válvula de globo.....	14
8.	Medición de la caída de presión en dos tramos de tubería con válvula y sin válvula.....	15
9.	Relación entre pérdida de presión y velocidad del agua.....	16
10.	Secciones de válvulas comercialmente disponibles de acero comercial, nueva y limpia	18
11.	Válvula con extremo de brida.....	35
12.	Unión de bridas por medio de tornillos	36
13.	Diferentes tipos de eslingas	38
14.	Caja de concreto para válvula.....	40
15.	Desmontaje de una válvula.....	42
16.	Tablero de ensayo	45
17.	Esquema del tablero de ensayo.....	46
18.	Esquema de ramal #1	47
19.	Esquema del ramal #2	47
20.	Manómetro de agua.....	48

21.	Determinación del coeficiente K para válvula tipo bola, en PVC, diámetro de ½” completamente abierta	51
22.	Determinación del coeficiente K para válvula tipo bola, en níquel, diámetro de ½”, completamente abierta	52
23.	Determinación del coeficiente K para válvula tipo bola, en bronce, diámetro de ½”, completamente abierta	53
24.	Determinación del coeficiente K para válvula tipo bola, en acero, forjado, diámetro de ½”,completamente abierta	54
25.	Determinación del coeficiente K para válvula tipo bola, en acero inoxidable, diámetro de ½”,completamente abierta	55
26.	Determinación del coeficiente K para válvula tipo compuerta, en bronce diámetro de ½ “, completamente abierta.....	56
27.	Determinación del coeficiente K para válvula tipo globo , en bronce, diámetro de ½”, completamente abierta	57
28.	Determinación del coeficiente K para válvula tipo globo, en acero, diámetro de ½”, completamente abierta	58

TABLAS

I.	Diámetro y precio de válvulas de bronce comercialmente disponibles a mayo del 2011	3
II.	Diámetro y precio de válvulas de PVC comercialmente disponibles a mayo del 2011	5
III.	Diámetro y precio de válvulas niqueladas comercialmente disponibles a mayo del 2011	7
IV.	Diámetro y precio de válvulas de acero forjado comercialmente disponibles a mayo del 2011	9
V.	Diámetro y precio de válvulas de acero inoxidable comercialmente disponibles a mayo del 2011	11

VI.	Datos de la gráfica pérdida de presión contra velocidad de agua	17
VII.	Factor de fricción en la zona de turbulencia completa para tubería de acero comercial, nueva y limpia	20
VIII.	Longitud equivalente en diámetros de tubo de diversas válvulas	21
IX.	Propiedades mecánicas de materiales para válvulas	26
X.	Propiedades térmicas de materiales para válvulas	27
XI.	Propiedades eléctricas de materiales para válvulas	28
XII.	Resultados y cálculos del ensayo de las pérdidas de energía en válvula tipo bola, en PVC de ½" de diámetro	51
XIII.	Resultados y cálculos del ensayo de las pérdidas de energía en válvula tipo bola, en níquel de ½" de diámetro	52
XIV.	Resultados y cálculos del ensayo de las pérdidas de energía en válvula tipo bola, en bronce de ½" de diámetro	53
XV.	Resultados y cálculos del ensayo de las pérdidas de energía en válvula tipo bola, en acero forjado de ½" de diámetro	54
XVI.	Resultados y cálculos del ensayo de las pérdidas de energía en válvula tipo bola, en acero inoxidable de ½" de diámetro.....	55
XVII.	Resultados y cálculos del ensayo de las pérdidas de energía en válvula tipo compuerta, en bronce de ½" de diámetro	56
XVIII.	Resultados y cálculos del ensayo de las pérdidas de energía en válvula tipo globo, en bronce de ½" de diámetro	57
XXIV.	Resultados y cálculos del ensayo de las pérdidas de energía en válvula tipo globo, en acero de ½" de diámetro	58
XIX.	Resumen de los coeficientes de resistencia de las válvulas ensayadas	58
XX.	Resumen de los coeficientes de resistencia en válvulas, según la bibliografía consultada.....	59

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
g	Aceleración debida a la gravedad
h	Altura o carga
A	Área de sección transversal
K	Coefficiente de resistencia
ρ	Densidad
D	Diámetro de tubería
Δ_p	Diferencial de presión
f_T	Factor de fricción
Q	Flujo volumétrico
$^{\circ}K$	Grados Kelvin
G_s	Gravedad específica del fluido
L	Longitud

L_e	Longitud equivalente
R_e	Número de Reynolds
h_f	Pérdida de energía
W	Peso
γ	Peso específico del fluido
P	Presión
v	Velocidad
V	Volumen

GLOSARIO

Caudal	Es el volumen de un fluido que pasa en la unidad de tiempo a través de una sección dada.
Fluido	Un fluido es una sustancia incapaz de resistir fuerzas o esfuerzos de corte sin desplazarse.
Manómetro	Son instrumentos que emplean columnas líquidas para determinar las diferencias de presiones.
Presión	La presión en un fluido en reposo se define como la fuerza de compresión normal por unidad de área que actúa sobre una superficie sumergida en un fluido.
PSI	Libras por pulgada cuadrada.
PVC	Cloruro de polivinilo.
Válvula	Pieza de variadas formas que al colocarla en una abertura de máquinas o instrumentos, sirve para interrumpir alternativa o permanentemente la comunicación entre dos de sus órganos, controlan la dirección, la presión, el volumen o combinación de estas magnitudes.

RESUMEN

En el capítulo uno se hace la descripción de las válvulas comercialmente disponibles en el país. Se señalan cuáles son el tipo de válvulas más utilizadas por su amplia disponibilidad comercial, ya que se pueden obtener fácilmente en diferentes puntos de la república y por su accesibilidad económica. También se hace referencia a las presiones máximas que son capaces de soportar, así como las temperaturas de trabajo, según el material que conforma la válvula.

En el capítulo dos se desarrollan los temas referentes a las pérdidas de energía. En estos temas se hace mención a las pérdidas de presión que ocurren en las válvulas y su representación a través de un coeficiente de resistencia K. Además, se hace referencia a las fórmulas teóricas utilizadas para el cálculo de dichas pérdidas.

En el capítulo tres se describen las principales propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas de las distintas clases de válvulas según su material. También se presenta un resumen de algunas normas que las válvulas deben cumplir, así como, las diferentes pruebas que se pueden realizar en campo para determinar la calidad de las válvulas.

En el desarrollo del capítulo cuatro, se describen los resultados obtenidos en los ensayos realizados en el laboratorio, tales como ensayos de pérdidas de energía en los distintos tipos de válvulas.

OBJETIVOS

General

Elaborar un documento que compare las pérdidas de energía producidas en diferentes clases de válvulas mediante la investigación bibliográfica y la realización de ensayos de laboratorio, para la obtención de resultados experimentales, comparándolos tanto con las ecuaciones teóricas, como con los valores prácticos encontrados en manuales de hidráulica, mediante el uso de un tablero de válvulas.

Específicos

1. Determinar cuáles son los diferentes tipos de válvulas que se distribuyen comercialmente en la actualidad.
2. Determinar las características físicas de las distintas clases de válvulas según su material.
3. Determinar cuáles son las pruebas de campo aplicables a las válvulas ya instaladas en una red específica.
4. Determinar cuáles son las medidas de protección, operación y mantenimiento que deben realizarse en las válvulas ya instaladas en una red.

5. Determinar, con base en aspectos estructurales, sanitarios, operacionales y de costos, que tipo de válvula se constituye como una mejor opción en el diseño de sistemas de agua potable.

INTRODUCCIÓN

En la práctica de la Ingeniería Civil, la elección del material a utilizar en un sistema hidráulico tiene mucha importancia. Cuando se diseña un sistema hidráulico se analizan varios factores, uno de ellos considera la pérdida de energía causada por las válvulas. La pérdida de energía en una válvula puede aumentarse o disminuirse con solo cambiar el tipo de material de ésta. Es entonces cuando se hace necesario comparar las pérdidas reales entre válvulas de distinto material, con el fin de tener un parámetro más que ayude a escoger las válvulas que permitan que el diseño sea eficiente.

Actualmente, en el país se encuentran disponibles comercialmente una cantidad considerable de válvulas de distintos materiales. Sin embargo, no se posee mucha información completa y detallada sobre la resistencia al flujo de estas válvulas. Se busca entonces, a través de este trabajo, presentar datos que permitan comparar las pérdidas de energía en las válvulas de mayor uso comercial en el país. En este trabajo se presentan los factores de pérdida K para un determinado conjunto de válvulas que permitirá concluir finalmente como afecta el material de las mismas en la pérdida de energía.

1. VÁLVULAS COMERCIALMENTE DISPONIBLES

1.1. Válvulas de bronce

Las válvulas de bronce son de las más utilizadas en el país por su amplia disponibilidad comercial, ya que se pueden obtener fácilmente en diferentes puntos de la república.

El bronce se define como toda aleación metálica de cobre y estaño, en la que el primero constituye su base y el segundo aparece en una proporción de entre el 3 y el 20%. El bronce fue la primera aleación de importancia obtenida por el hombre y da su nombre al período prehistórico conocido como edad de bronce. Durante milenios fue la aleación básica para la fabricación de armas y utensilios; y orfebres de todas las épocas lo han utilizado en joyería, medallas y escultura.

Exceptuando al acero, las aleaciones de bronce son superiores a las de hierro en casi todas las aplicaciones. Aunque desarrollan pátina no se oxidan bajo la superficie, son más frágiles y tienen menor punto de fusión. Son aproximadamente un 10% más pesadas que el acero, a excepción de las compuestas por aluminio o sílice. Resisten la corrosión, incluso la de origen marino, el umbral de fatiga metálica es menor y son mejores conductores del calor y la electricidad.

Otra característica diferencial de las aleaciones de bronce respecto al acero, es la ausencia de chispas cuando se le golpea contra superficies duras.

Esta propiedad ha sido aprovechada para fabricar martillos, mazas, llaves ajustables y otras herramientas para uso en atmósferas explosivas o en presencia de gases inflamables.

Como se puede apreciar, las válvulas de bronce tienen una amplia variedad de usos como resultado de la versatilidad de sus propiedades mecánicas, físicas y químicas.

Las válvulas de bronce están limitadas, aproximadamente a una temperatura máxima de 561 grados Kelvin. La presión de las válvulas de bronce tiene un límite típico máximo de presión 2,06 megapascales, a temperaturas moderadas, según el diseño y tamaño.

Las válvulas de bronce que se comercializan con mayor volumen en el país son las de tipo compuerta, bola y globo. En la tabla se presentan los diámetros disponibles y los precios de estas válvulas al momento de realizar este trabajo. Las válvulas de bronce resultan muy económicas con respecto a las válvulas de acero, aunque sus propiedades mecánicas son inferiores.

Figura 1. **Válvula de bronce tipo compuerta abierta a la mitad**



Fuente: laboratorio de Hidráulica, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla I. **Diámetro y precio de válvulas de bronce comercialmente disponibles a mayo del 2011**

Tipo de válvula	Diámetro	Precio (Q)
Bola	1/2"	57,50
	3/4"	116,05
	1"	120,15
	1 1/2"	446,00
	2"	575,15
	2 1/2"	1 264,50
	3"	3 681,85
Globo	1/2"	36,60
	3/4"	85,40
	1"	598,80
	1 1/2"	980,30
	2"	1 968,65
	2 1/2"	3 482,90
	3"	4 164,40
Compuerta	1/2"	94,55
	3/4"	117,35
	1"	181,80
	1 1/2"	432,36
	2"	780,24
	2 1/2"	959,55
	3"	1 167,60

Fuente: elaboración propia.

1.2. Válvulas de PVC

Se emplean válvulas de PVC (cloruro de polivinilo) en numerosas industrias en las que se requiere excelente resistencia a la corrosión y control de la contaminación. Algunos ejemplos incluyen el procesamiento de alimentos, producción farmacéutica, procesamiento químico, acuarios, irrigación, aplicación de pesticidas y purificación de agua.

Los límites de temperatura y presión por lo general son más bajos para las válvulas de PVC que para las de metal. Por ejemplo, el PVC está limitado a aproximadamente 333 grados Kelvin. Los rangos de presión de las válvulas de PVC van de 1,55 megapascales, a temperaturas moderadas, según el diseño y tamaño.

El PVC está clasificado como un termoplástico, una característica de los termoplásticos es que no sufren los efectos de la corrosión debido a que es un material dieléctrico (aislante). Por eso se dice que es resistente a la corrosión, aunque hay ciertos químicos que si pueden afectar los termoplásticos como los solventes orgánicos.

Las válvulas de PVC ofrecen bastantes ventajas, por ejemplo; su reducido peso permite su traslado en obra sin necesidad de medios auxiliares, facilitando su montaje. La moderada elasticidad del PVC hace que su comportamiento a fenómenos transitorios como el golpe de ariete, sea muy excelente. Además, la baja rugosidad interna del PVC no facilita la adherencia de solutos, manteniendo un buen coeficiente de fricción en el tiempo de servicio.

Las válvulas tipo bola son las que se comercializan con mayor volumen en el país, seguidos por los de tipo mariposa, en la tabla II se presentan los diámetros disponibles y los precios de estas válvulas en mayo del 2011. Las válvulas de retención, globo y otros tipos se pueden obtener, pero, solamente bajo pedido especial. Las válvulas de PVC resultan muy económicas con respecto a otras válvulas de otros materiales, pero su disponibilidad comercial es muy limitada.

Figura 2. **Válvula de PVC tipo bola**



Fuente: laboratorio de Hidráulica, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla II. **Diámetro y precio de válvulas de PVC comercialmente disponibles a mayo del 2011**

Tipo de válvula	Diámetro	Precio (Q)
Bola	1/2 "	37,80
	3/4"	40,55
	1"	48,35
	1 1/4"	84,75
	1 1/2"	109,95
	2"	186,65
	2 1/2"	432,80
	3"	523,00
	4"	560,30
Mariposa	3"	1 011,18
	4"	1 485,60
	6"	1 707,60

Fuente: elaboración propia.

1.3. Válvulas de níquel

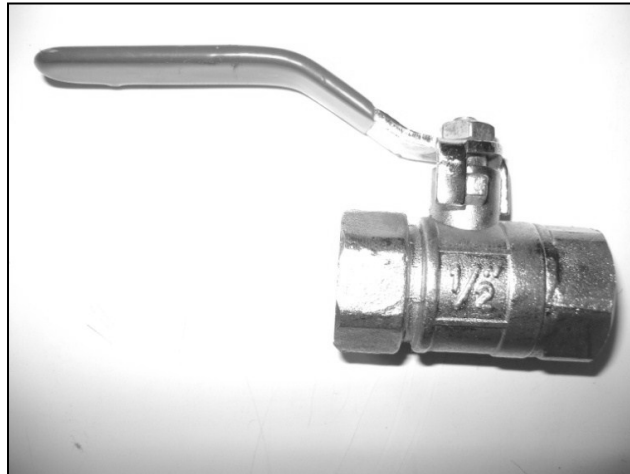
Las válvulas de níquel son ampliamente utilizadas debido a su bajo precio y amplia disponibilidad comercial, ya que se pueden obtener fácilmente en casi cualquier ferretería. En realidad estas válvulas se componen de níquel y otras aleaciones en proporciones menores, dando origen a su nombre de válvulas niqueladas. El níquel y sus aleaciones son altamente resistentes a la corrosión en muchos ambientes, en especial en un medio básico (alcalinos). En algunos metales susceptibles a la corrosión se usa el níquel como recubrimiento o como enchapado de protección.

Otra ventaja de las válvulas niqueladas es su excepcional resistencia a la oxidación a alta temperatura, sin embargo, las válvulas niqueladas no poseen alta resistencia a la presión, al contrario de otras válvulas como las de acero, además son muy frágiles y fácilmente se fracturan.

Las válvulas niqueladas están limitadas aproximadamente a una temperatura máxima de 478 grados Kelvin. La presión de las válvulas niqueladas tiene un límite típico máximo de 2,06 megapascales, a temperaturas moderadas, según el diseño y tamaño.

Las válvulas niqueladas que se comercializan con mayor volumen en el país son las de tipo bola. En la tabla III se presentan los diámetros disponibles y los precios a mayo del 2011. Las válvulas niqueladas son las más económicas en el mercado nacional, aunque vale la pena mencionar que sus propiedades mecánicas son muy inferiores con respecto a válvulas del mismo tipo pero diferente material.

Figura 3. **Válvula de níquel tipo bola**



Fuente: laboratorio de Hidráulica, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla III. **Diámetro y precio de válvulas niqueladas comercialmente disponibles a mayo del 2011**

Tipo de válvula	Diámetro	Precio (Q)
Bola	1/2"	53,64
	3/4"	90,00
	1"	118,74
	1 1/2"	279,30
	2"	462,55
	2 1/2"	1 049,00
	3"	1 476,00
	4"	2 016,00

Fuente: elaboración propia.

1.4. Válvulas de acero forjado

Se utilizan válvulas de acero forjado en numerosas plantas en las que se requiere bastante resistencia a la presión y temperatura durante largos períodos.

Los límites de temperatura y presión son considerablemente altos para las válvulas de acero forjado que para otros materiales tales como el níquel, PVC, y el bronce. Por ejemplo, el acero forjado está limitado aproximadamente a 728 grados Kelvin. Los límites típicos máximos de presión en las válvulas de acero forjado llegan a 345 megapascales a temperaturas moderadas, según indicaciones del fabricante.

Las válvulas de acero forjado ofrecen bastantes ventajas, por ejemplo: excelente capacidad para soportar grandes presiones, también su gran disponibilidad en tamaños, aunque a veces es necesario importarlas de otros países. Entre las desventajas se pueden mencionar su gran peso, poca resistencia a la corrosión y su gran costo con respecto a válvulas del mismo tamaño y tipo, pero de diferente material.

Las válvulas tipo bola, globo y compuerta son las que se comercializan con mayor regularidad en el país, seguidos por las de retención, en el cuadro IV se presentan los diámetros disponibles y los precios de estas válvulas a mayo del 2011. Las válvulas de otro tipo se pueden obtener pero solamente bajo pedido especial.

Figura 4. **Válvula de acero forjado tipo compuerta**



Fuente: laboratorio de Hidráulica, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla IV. **Diámetro y precio de válvulas de acero forjado comercialmente disponibles a mayo del 2011**

Tipo de válvula	Diámetro	Precio (Q)
Bola	1/2"	164,40
	3/4"	223,60
	1"	258,20
	1 1/2"	517,00
	2"	698,65
Globo	1/2"	305,80
	3/4"	347,40
	1"	419,35
	1 1/2"	533,05
	2"	598,76
Compuerta	1/2"	309,30
	3/4"	351,55
	1"	440,80
	1 1/2"	557,25
	2"	796,45

Fuente: elaboración propia.

1.5. Válvulas de acero inoxidable

Las válvulas de acero inoxidable son seleccionadas en la Ingeniería por su excelente resistencia a la corrosión en muchos medios. La resistencia a la corrosión del acero inoxidable se debe a su alto contenido en cromo. Para hacer un acero inoxidable limpio se debe asegurar la presencia de al menos un 12 % de cromo en el acero, de acuerdo con la teoría clásica, el cromo forma un óxido superficial que protege la subyacente aleación de hierro-cromo de la corrosión. Para producir el óxido protector, el acero inoxidable debe estar expuesto a agentes oxidantes.

El acero inoxidable está limitado aproximadamente a una temperatura máxima de 1 144 grados Kelvin. Los valores máximos típicos de presión que alcanzan las válvulas de acero inoxidable son de hasta 345 megapascales.

Las características de las válvulas de acero inoxidable descritas anteriormente demuestran claramente que las ventajas principales de este tipo de válvulas son su alta resistencia a la presión y corrosión. Entre las desventajas se pueden mencionar su alto peso y su costo que la sitúa entre las más costosas en el mercado. Actualmente, las válvulas de acero inoxidable más comercializadas son las de tipo bola, compuerta y globo.

Figura 5. **Válvula de acero inoxidable tipo bola**



Fuente: laboratorio de Hidráulica, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla V. **Diámetro y precio de válvulas de acero inoxidable comercialmente disponibles a mayo del 2011**

Tipo de válvula	Diámetro	Precio (Q)
Bola	1/2"	291,09
	3/4"	337,67
	1"	392,68
	1 1/2"	596,11
	2"	851,73
	3"	1 876,25
Globo	1/2"	295,60
	3/4"	316,80
	1"	375,24
	1 1/2"	570,40
	2"	790,80
	2 1/2"	986,50
Compuerta	3"	1 290,33
	1/2"	284,90
	3/4"	296,30
	1"	314,71
	1 1/2"	512,21
	2"	746,83
	2 1/2"	900,40
	3"	1 020,10

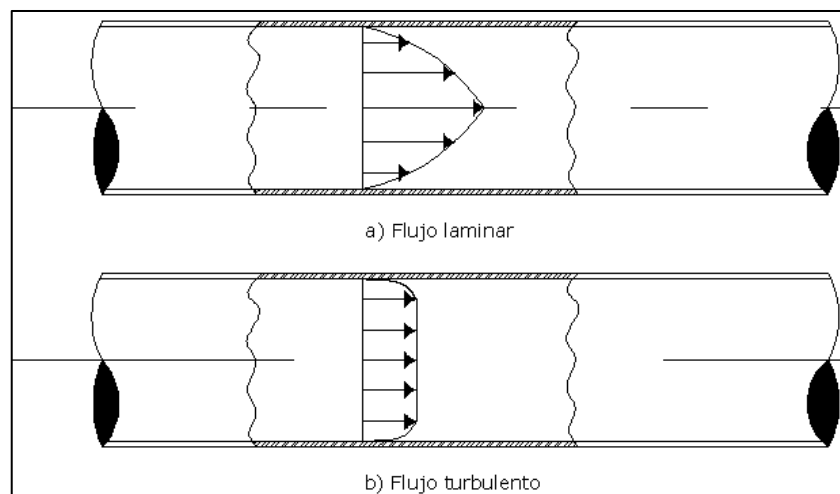
Fuente: elaboración propia.

2. PÉRDIDAS DE CARGA EN VÁLVULAS

2.1. Pérdida de presión debida a válvulas

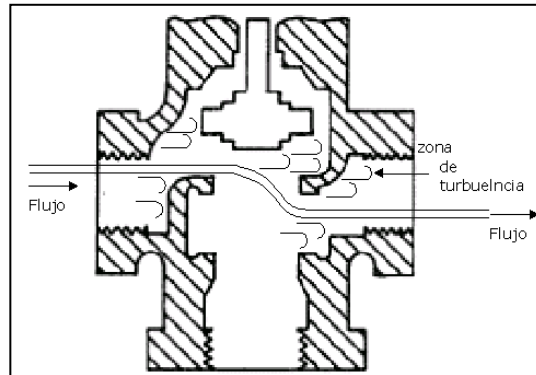
Cuando un fluido se desplaza uniformemente por una tubería recta, larga y de diámetro constante, la configuración del flujo, indicada por la distribución de la velocidad respecto del diámetro, adopta una forma característica, ver la figura 6. Cualquier obstáculo en la tubería cambia la dirección de la corriente en forma total o parcial, altera la configuración característica de flujo y ocasiona turbulencia, causando una pérdida de energía mayor de la que normalmente se produce por simple fricción a lo largo de una tubería recta. Es claro que la instalación de válvulas en una línea de tubería altera la configuración de flujo, produciendo una pérdida de presión adicional, ver la figura 7.

Figura 6. **Perfiles de velocidad para flujo en tuberías**



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Turbulencia y geometría en una válvula de globo**



Fuente: elaboración propia.

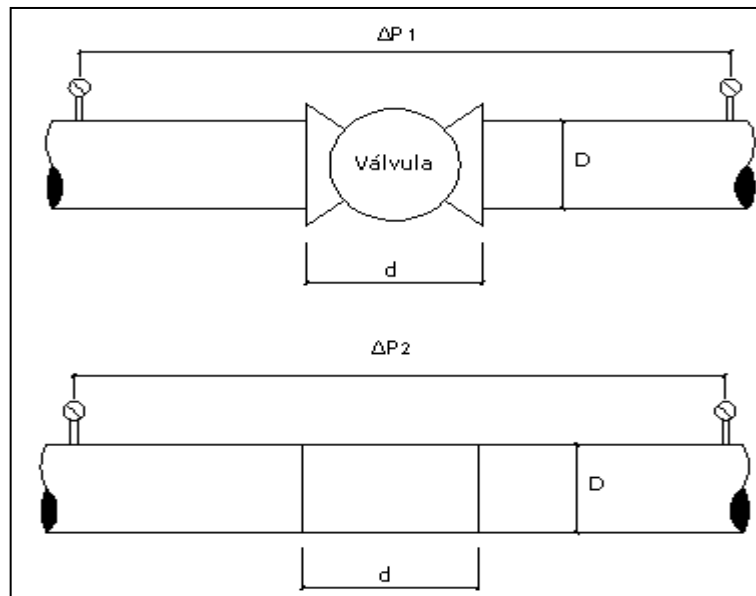
La pérdida de presión total producida por una válvula consiste en:

- La pérdida de presión dentro de la válvula.
- La pérdida de presión en la tubería de entrada a la válvula; este efecto es pequeño.
- La pérdida de presión en la tubería de salida de la válvula; este efecto puede ser muy grande.

Desde el punto de vista experimental es difícil medir las tres caídas por separado. Sin embargo, su efecto combinado es la cantidad deseada y puede medirse exactamente con métodos bien conocidos. La figura 8 muestra dos tramos de tubería del mismo diámetro y longitud. El tramo superior contiene una válvula de globo.

Si las pérdidas de presión ΔP_1 y ΔP_2 se miden entre los puntos indicados, se encuentra que ΔP_1 es mayor que ΔP_2 , debido a la turbulencia ocasionada por la instalación de la válvula, la cual depende del tipo de válvula, su diámetro, su geometría interna y su material.

Figura 8. **Medición de la caída de presión en dos tramos de tubería con válvula y sin válvula**



Fuente: elaboración propia.

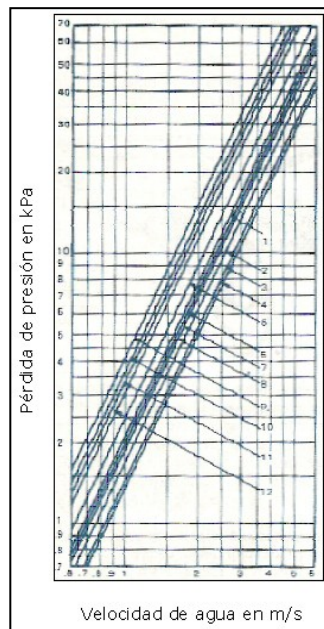
2.2. Relación entre la pérdida de presión y velocidad de flujo

Muchos experimentos han demostrado que la pérdida de presión debida a válvulas es proporcional a la velocidad elevada a un exponente constante. Cuando la caída de presión o pérdida de presión se grafica contra la velocidad en coordenadas logarítmicas, la curva resultante es por tanto una línea recta.

En el régimen de flujo turbulento, el valor de exponente de la velocidad se ha encontrado que varía aproximadamente entre 1,8 y 2,1 para diseños de válvulas.

Sin embargo, en todos los casos prácticos, se acepta que la caída de presión o pérdida de presión debida al flujo de líquidos en régimen turbulento, a través de válvulas varía con el cuadrado de la velocidad. Sin embargo, esta relación entre pérdida de presión y velocidad no es válida para todas las condiciones de funcionamiento, por ejemplo, en válvulas de retención es válida sólo si hay flujo suficiente para mantener el obturador totalmente abierto. El punto de desviación de la línea recta en las curvas obtenidas en ensayos, definen las condiciones de flujo necesarias para sostener el obturador de una válvula de retención en la posición de total apertura, ver la figura 9.

Figura 9. **Relación entre pérdida de presión y velocidad del agua**



Fuente: División de Ingeniería Crane. Flujo de fluidos. p. 22..

Tabla VI. **Datos de la gráfica pérdida de presión contra velocidad de agua**

No. de curva	Medida	Nominal	Tipo de válvula
	pulg	Mm	
1	¾	20	Válvula de globo de hierro fundido, clase 150, modelo en Y, asiento plano .
2	2	50	
3	4	100	
4	6	150	
5	1 ½	40	Válvula angular de bronce, clase 150 con obturador de anillo recambiable, asiento plano.
6	2	50	
7	2 ½	65	
8	3	80	
9	1 ½	40	Válvula de globo convencional de bronce, clase 150, con obturador de anillo recambiable, asiento plano.
10	2	50	
11	2 ½	65	
12	3	80	

Fuente: División de Ingeniería Crane. Flujo de fluidos. p.24.

2.3. Coeficiente de resistencia K

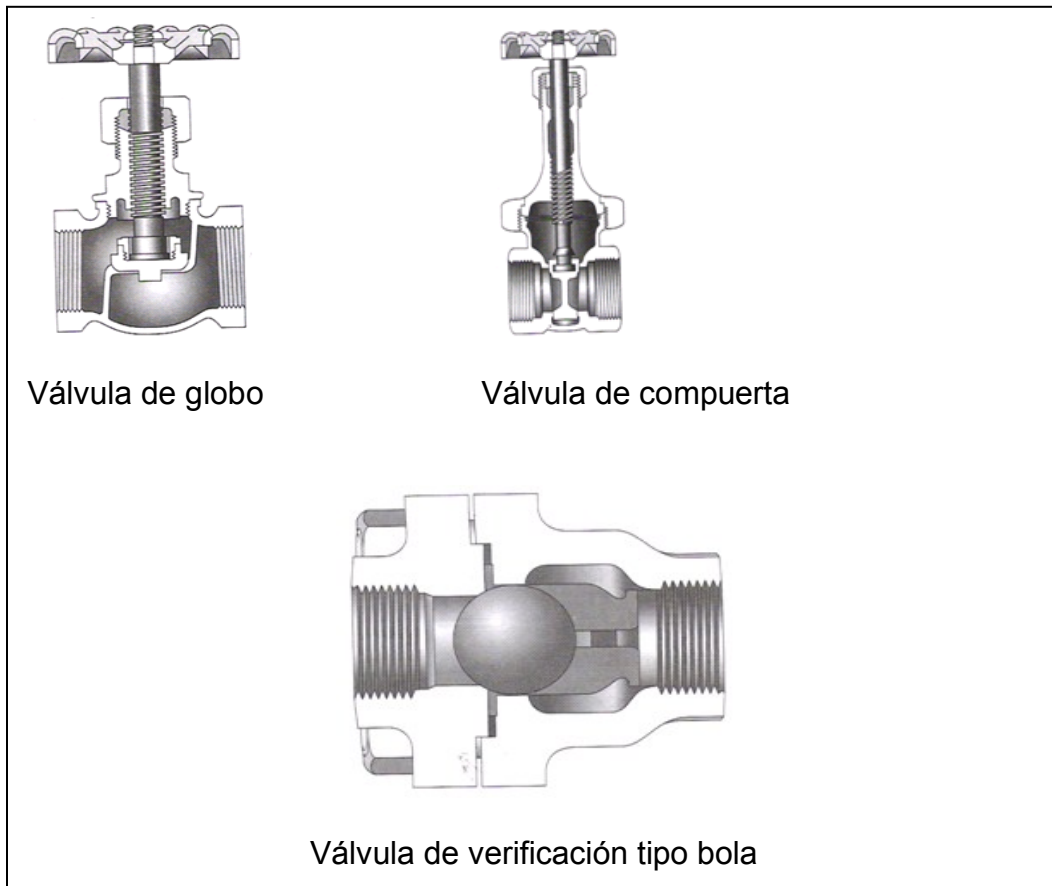
Por lo general, los valores experimentales de las pérdidas de energía en válvulas se reportan en términos de un coeficiente de resistencia K como sigue:

$$h_f = K \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (\text{Ec1})$$

En la ecuación (1), h_f es la pérdida de energía, K es el coeficiente de resistencia y v es la velocidad promedio del flujo en el tubo en la vecindad donde ocurre la pérdida. El coeficiente de resistencia es adimensional debido a que representa una constante de proporcionalidad entre la pérdida de energía y la carga de velocidad. La magnitud del coeficiente de resistencia depende de la geometría del dispositivo que ocasiona la pérdida y a veces, de la velocidad de flujo.

Igual que en la ecuación de la energía, la carga de velocidad $v^2 / 2g$ en la ecuación (1) se expresa por lo común en metros (o $N \cdot m / N$ de fluido en movimiento), en unidades del SI; o en pies, en unidades del sistema tradicional de Estados Unidos (o pie-lb/lb de fluido en circulación). Debido a que K es adimensional, la pérdida de energía tiene las mismas unidades.

Figura 10. **Secciones de válvulas comercialmente disponibles de acero comercial, nueva y limpia**



Fuente: División de Ingeniería Crane. Flujo de fluidos. p.27.

2.4. Longitud equivalente

La pérdida de energía que tiene lugar cuando el fluido circula por una válvula o acoplamiento se calcula con la ecuación (2), como ya se indicó anteriormente. Sin embargo, el método para determinar el coeficiente de resistencia K es diferente. El valor de K se reporta en la forma:

$$K = (L_e / D) f_T \quad (\text{Ec2})$$

El valor L_e / D , llamado relación de longitud equivalente se considera constante para un tipo dado de válvula o acoplamiento. El valor de L_e se denomina longitud equivalente y es la longitud de una tubería recta del mismo diámetro nominal que el de la válvula, la cual tendría la misma resistencia que esta. El término D es el diámetro interior real de la tubería.

El término f_T es el factor de fricción en la tubería a la que está conectada la válvula o acoplamiento, que se da por hecho está en la zona de turbulencia completa. Los valores para f_T varían según el tamaño de la tubería y la válvula, lo que hace que el valor del coeficiente de resistencia K también varíe.

La tabla VII presenta una lista de los valores de f_T para tamaños estándar de tubería de acero comercial, nueva y limpia.

Tabla VII. **Factor de fricción en la zona de turbulencia completa para tubería de acero comercial, nueva y limpia**

Tamaño nominal de la tubería (pulgada)	Factor de fricción f_T	Tamaño nominal de la tubería (pulgada)	Factor de fricción f_T
½	0,027	3 ½, 4	0,017
¾	0,025	5	0,016
1	0,023	6	0,015
1 ¼	0,022	8-10	0,014
1 ½	0,021	12-16	0,013
2	0,019	18-24	0,012
2 ½, 3	0,018		

Fuente: División de Ingeniería Crane. Flujo de fluidos. p.31.

2.4.1. Valores prácticos

La tabla VIII incluye valores para las extensiones ficticias correspondientes a las piezas y pérdidas más frecuentes en tuberías. Los datos presentados en gran parte fueron calculados basados en la fórmula de Darcy-Weisbach, adoptando valores precisos de K.

Donde

- * = la longitud equivalente exacta es igual a la longitud entre las caras de brida o extremos soldados.
- + = caída de presión mínima calculada en la válvula para producir flujo suficiente para abrir totalmente el obturador, en libra sobre pulgada cuadrada.

Tabla VIII. **Longitud equivalente en diámetros de tubo de diversas válvulas**

Tipo de válvula y condiciones de operación			Longitud equivalente en diámetros de tubo, Le/D	
Válvula de Globo	Vástago perpendicular a los tubos	Asiento plano, cónico o tipo macho sin obstrucción.	Apert. total	340
		Con disco de aleta o guiado con pasador.	Apert. total	450
	Modelo en Y	Asiento plano, cónico o tipo macho sin obstrucción.	Apert. total	175
		Con vástago a 60° de la tubería.	Apert. total	145
Válvulas en Angulo		Con vástago a 45° de la tubería.	Apert. total	145
		Asiento plano, cónico o tipo macho sin obstrucción.	Apert. total	200
Válvulas de Compuerta	Cuña, disco, disco doble o disco de macho.		Apert. total	13
			3/4 apert.	35
			1/2 apert.	160
			1/4 apert.	900
	Pulpa de papel.		Apert. total	17
			3/4 apert.	50
			1/2 apert.	260
			1/4 apert.	1 200
Válvulas de Retención	Convencional de bisagra.	0,5+	Apert. total	135
	Bisagra rectilínea.	0,5+	Apert. total	50
	Globo elevable o corte: Vástago Perpendicular al tubo o en Y.	2,0+	Apert. total	igual que globo
	Elevación o tope en ángulo.	2,0+	Apert. total	igual que ángulo
Válvulas de Pie con Coladera	Bola en la tubería.	2,5+ vertical 0,25+ horizontal	Apert. total	150
		Con disco elevable con vástago.	Apert. total	420
		Con disco con bisagra de cuero	Apert. total	75

Fuente: División de Ingeniería Crane. Flujo de fluidos. p.33.

2.5. Coeficientes de flujo

El coeficiente de flujo, conocido también como coeficiente de capacidad, permite calcular el caudal que puede circular por la válvula en función de la presión diferencial de la misma. En la industria de fabricación de válvulas, sobre todo en relación con válvulas de control, es conveniente expresar la capacidad de la válvula y las características del flujo de la válvula en función de un coeficiente de flujo. Existen tres tipos de coeficientes de flujo, que son:

- Coeficiente Cv (coeficiente C de la válvula)
- Coeficiente Kv (coeficiente K de la válvula)
- Coeficiente Av (coeficiente área de la válvula)

2.5.1. Coeficiente Cv

En Estados Unidos y Gran Bretaña, el coeficiente de flujo que se usa se designa como Cv, dado por la siguiente expresión:

$$C_v = Q \sqrt{\frac{G_s}{\Delta_p}} \quad (\text{Ec3})$$

Donde

Cv = coeficiente C de la válvula (adimensional)

Q = flujo volumétrico, caudal (gal/min)

Gs = gravedad específica del fluido

Δp = diferencial de presión (psi)

2.5.2. Coeficiente Kv

Otro coeficiente usado en algunos países, particularmente en Europa, es Kv y se define así:

$$Kv = Q \sqrt{\frac{Gs}{\Delta_p}} \quad (\text{Ec4})$$

Donde

Kv = coeficiente K de la válvula (adimensional)

Q = flujo volumétrico, caudal (m^3/h)

Gs = gravedad específica del fluido

Δ_p = diferencial de presión (bar)

2.5.3. Coeficiente Av

El coeficiente de flujo de una válvula es definida por el Sistema Internacional de Unidades (S.I.) por la siguiente ecuación:

$$Av = Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta_p}} \quad (\text{Ec5})$$

Donde

Av = coeficiente área de la válvula (m^2)

Q = flujo volumétrico, caudal (m^3/s)

ρ = densidad del fluido (kg/m^3)

Δ_p = diferencial de presión (pascales)

Cualquiera de los tres coeficientes anteriores se puede emplear para dimensionar válvulas. Es decir, para elegir el coeficiente de forma para un diferencial de presión y su correspondiente caudal.

2.6. Condiciones de flujo laminar

En las instalaciones de tuberías, el flujo cambia de régimen laminar a turbulento dentro de límites del número de Reynolds de 2 000 a 4 000, definidos como zona crítica.

El número de Reynolds crítico inferior, es 2 000, que se reconoce por lo general como el límite superior al aplicar la ley de Pouseuille para flujo laminar en tuberías rectas,

$$h_f = 3263 \left(\frac{\mu L v}{d^2 \rho} \right) \quad (\text{Ec6})$$

que es idéntica a la ecuación de Darcy-Weisbach al introducir el factor de fricción para un flujo laminar $f=64/Re$. El flujo laminar con números de Reynolds superiores a 2 000 es inestable y la zona crítica y límite inferior de la zona de transición, mezcla turbulenta y movimiento laminar, pueden alterarse de modo imprevisto.

$$h_f = \left(f \frac{L}{D} \right) \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Ec7})$$

La ecuación $h_f = Kv^2 / 2g$ es válida para calcular la pérdida de presión en válvulas para todas las condiciones de flujo, incluyendo flujo laminar, usando el coeficiente de resistencia K apropiado.

3. ESPECIFICACIONES PARA VÁLVULAS SEGÚN SU MATERIAL

3.1. Propiedades

Los materiales se seleccionan para diversas aplicaciones y componentes adecuando las propiedades del material a las condiciones funcionales requeridas por el componente. Los materiales poseen tres tipos de propiedades, siendo estas las propiedades mecánicas, físicas y las químicas. Las propiedades físicas a su vez se dividen en propiedades eléctricas, magnéticas, ópticas y térmicas.

Las propiedades más importantes que deben cumplir los materiales de la cual están constituidas las válvulas, son las propiedades:

- Mecánicas
- Térmicas
- Eléctricas

3.1.1. Propiedades mecánicas

El comportamiento mecánico de los materiales se describe mediante sus propiedades mecánicas, que son simplemente los resultados idealizados de ensayos. En el cuadro se muestran las principales propiedades mecánicas que deben tener los materiales utilizados para la construcción de las válvulas, siendo ellos:

Densidad: masa de material por una unidad de volumen.

Resistencia a la tensión: esfuerzo que corresponde a la carga máxima en una prueba de tensión.

Módulo de elasticidad: es una medida de rigidez del material, se determina por la pendiente de la gráfica esfuerzo-deformación en la región elástica.

Elongación: alargamiento total, expresado en porcentaje de una probeta durante una prueba o ensayo de tensión, generalmente hasta la ruptura.

Tabla IX. **Propiedades mecánicas de materiales para válvulas**

Propiedad mecánica	P.V.C	Aluminio	Bronce	Acero
Peso específico(kg/m ³)	1 308 a 1 400	2 700	8 900	7 850
Resistencia a la tensión(Mpa)	49-54	45	300 a 900	276 (min)
Módulo de elasticidad(Gpa)	2,94-3,92	69	80 a 115	200
Elongación(%)	80	60	65	18 (min)

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Propiedades térmicas

La temperatura es un factor externo de enorme importancia, ya que afecta prácticamente a todas las características de los materiales. Las propiedades mecánicas, eléctricas o magnéticas sufren importantes cambios cuando la temperatura varía.

Deben tenerse en cuenta los efectos térmicos a la hora de dimensionar o seleccionar el material idóneo ya que algunas aplicaciones industriales requieren la utilización de materiales con propiedades térmicas específicas. En la tabla X se muestran las principales propiedades térmicas de los materiales que conforman las válvulas, ellos son:

Calor específico: cantidad de energía necesaria para aumentar en 1 grado Celsius la temperatura de 1 kilogramo de material.

Conductividad térmica: capacidad de un material para transferir calor. La conducción térmica es el fenómeno por el cual el calor se transporta de regiones de alta temperatura a regiones de baja temperatura dentro de un mismo material o entre diferentes cuerpos.

Coefficiente de dilatación lineal: variación relativa de longitud al elevar un grado de temperatura.

Tabla X. **Propiedades térmicas de materiales para válvulas**

Propiedad Térmica	P.V.C	Aluminio	Bronce	Acero
Calor específico J/(kg*K)	1047	909	360	460
Conductividad térmica W/(m*K)	80	209-232	116-186	47-58
Coefficiente de dilatación lineal (x10 ⁶)xcm/cm*C°	100	25	16	12

Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Propiedades eléctricas

En algunas aplicaciones, el comportamiento eléctrico del material es más crítico que el comportamiento mecánico. Se debe observar que el comportamiento eléctrico se encuentra influido por la estructura del material, por su procesamiento y por el ambiente al que se encuentra expuesto. En el cuadro XI se muestran las principales propiedades eléctricas de los materiales que conforman las válvulas, siendo ellos:

Conductividad eléctrica: es la capacidad de un cuerpo de permitir el paso de la corriente eléctrica a través de sí.

Coefficiente térmico de resistividad: el coeficiente de conductividad térmica (λ) caracteriza la cantidad de calor necesario por m^2 , atravesado durante una unidad de tiempo.

Resistividad: grado de dificultad que encuentran los electrones en sus desplazamientos.

Tabla XI. Propiedades eléctricas de materiales para válvulas

Propiedad Eléctrica	P,V.C	Aluminio	Bronce	Acero
Conductividad eléctrica(Ω^{-1})	1×10^{-13}	$3,77 \times 10^5$	$6,67 \times 10^5$	$1,00 \times 10^5$
Coefficiente térmico de resistividad $\Omega \cdot \text{cm} / \text{C}^\circ$		0,0043	0,002	0,0065
Resistividad a la temperatura ambiente ($\times 10^{-6}$) $\Omega \cdot \text{cm}$	10^{-12}	$2,65 \times 10^{-6}$	$(14-16) \times 10^{-6}$	$9,71 \times 10^{-6}$

Fuente: elaboración propia.

3.2. Códigos y normas de válvulas

La industria manufacturera de válvulas es antigua y se encuentra actualmente en varios países alrededor del mundo. El perfeccionamiento de la mayor parte de las válvulas en uso actual tuvo lugar hace décadas ya igual que muchos otros productos manufacturados, se han establecido normas para asegurar la uniformidad entre diversos fabricantes.

Para especificar válvulas, se acostumbra mencionar que deben cumplir con los requisitos de materiales, diseño, manufactura, pruebas e inspección de una norma determinada. Esto asegura cierta calidad dentro de la uniformidad establecida por la industria. Sin embargo, es posible obtener una calidad mejor que la incluida en la norma.

Se pueden utilizar piezas forjadas en vez de fundidas y los componentes pueden ser más fuertes. Además, la mano de obra puede ser mucho mejor que la requerida por las normas. La calidad se relaciona con las características que deben ofrecer los fabricantes y todos deben cumplir con las normas mínimas.

Las especificaciones y normas para válvulas, más utilizadas en el mundo son:

Especificaciones ASTM

E23 - pruebas de impacto de materiales metálicos con barra ranurada

E165 - inspección con líquido penetrante

Extendidas por:

American Society for Testing and Materials

1916 Race Street Philadelphia, PA 19103

Normas ANSI

- B16,1 - Bridas y accesorios con brida para tubo de hierro fundido
(25, 125, 250 y 200 lb)
- B16,5 - Bridas para tubos de acero, válvulas y accesorios con bridas (150, 300, 400, 600, 900, 1500 y 2500 lb)
- B16,10 - Dimensiones de cara a cara y de extremo a extremo de válvulas de material ferroso
- B16,11 - Accesorios de acero forjado

Expedidas por:

American National Standards Institute
1430 Broadway
New York, N.Y. 10018

Especificaciones API

- 598- inspección y pruebas de válvulas
- 600- válvulas de compuerta, de acero
- 602- válvulas de compuerta de acero al carbono, pared delgada de 150lb
- 604- válvulas de compuerta y macho con brida, de hierro nodular

Expedidas por:

American Petroleum Institute
1801 K Street Institute
Washington, DC, 2006

Normas MSS

SP25-	Sistema estándar de marcas para válvulas
SP42-	Válvulas resistentes a corrosión
SP53-	Norma de calidad para fundiciones de acero para válvulas
SP61-	Pruebas hidrostáticas de válvulas de acero
SP67-	Válvulas de mariposa
SP72-	Válvulas de bola con extremos con brida o soldados a tope para servicio general.
SP80-	Válvulas de bronce tipo compuerta

Expedidas por:

Manufacturers Standardization Society of the valve and
Fittings Industry
1815 Myer Drive
Arlington, VA 22209

3.3. Pruebas de laboratorio

Una prueba bastante práctica que puede llevarse a cabo en el laboratorio de hidráulica, es la sugerida por la American Cast Iron Pipe Company. Esta empresa sugiere que todas las tuberías recién instaladas o cualquier sección con válvulas deberán ser sometidas a una prueba hidrostática de al menos 1,5 veces la presión de trabajo en el punto de prueba.

Las presiones de prueba deben cumplir con los siguientes criterios:

- Ser por lo menos 1,25 veces la presión de trabajo en el punto más alto a lo largo de la sección que se prueba.

- No exceder las presiones para las que son diseñadas las tuberías, los accesorios o juntas de cerrojo.
- Que la prueba dure al menos 2 horas.
- Una variación no mayor a \pm 34,5 psi (34,5 kilopascales) durante el tiempo de la prueba.
- No exceder más del doble del rango de presión nominal de las válvulas o hidratantes cuando el límite de presión de la sección bajo prueba incluya válvulas o hidratantes de asiento metálico cerrado.
- Las válvulas no deberán ser operadas en ninguna dirección con presión diferencial mayor que la nominal.
- Los hidratantes en una sección de prueba solamente serán probados con la válvula principal del hidratante cerrada.
- No exceder el rango de presión de las válvulas cerradas de compuerta con asiento de hule elástico o válvulas de mariposa con asiento de hule.

Cada sección con válvulas deberá ser llenada lentamente. La prueba de presión específica, basada en la elevación del punto más bajo de la línea o sección bajo prueba y corregida a la elevación del manómetro, es aplicada por medio de una bomba conectada a la tubería.

Las válvulas no deberán ser operadas en dirección de abrir ni de cerrar a presiones diferenciales por arriba del rango de su presión nominal.

Es buena práctica el permitir que el sistema se estabilice a la presión de prueba antes de llevar a cabo la prueba de fugas.

Antes de aplicar la presión de prueba específica, se debe sacar completamente el aire de la sección de tubería por probar. Si no hay ventilas de aire permanentes en todos los puntos altos, se deberán instalar inserciones para tomas en dichos puntos para que el aire pueda ser expulsado, las tomas se cierran y la presión se aplica. Al terminar la prueba de presión, las tuercas de inserción deberán ser retiradas y tapadas o dejadas en su lugar, según indiquen las especificaciones.

Cualquier tubería, accesorio, válvula, hidrante o junta expuesta deberá ser cuidadosamente examinado durante las pruebas de presión. Cualquier tubería, accesorio, válvula o hidrante dañado o defectuoso detectado durante la prueba de presión, deberá ser reparado con material resistente y la prueba deberá repetirse hasta que los resultados sean satisfactorios.

3.3.1. Tolerancia de prueba

La tolerancia de prueba se define como la cantidad de agua que debe ser surtida (agua de reemplazo) en cualquier tubería instalada o sección con válvulas, para mantener la presión dentro de una variación de (5 libras sobre pulgada cuadrada) 34,5 kilopascales, de la presión de prueba especificada después de que el aire ha sido expulsado y la tubería ha sido llenada con agua.

La tolerancia de prueba no se mide por una baja en la presión en una sección de prueba en un período de tiempo. Ninguna instalación de tubería debe ser aceptada si la cantidad de agua de reemplazo es mayor que la determinada usando la siguiente fórmula:

$$T = \frac{LD\sqrt{P}}{715,317} \quad (\text{Ec8})$$

Donde

T= tolerancia de prueba (L/h)

L= longitud del tubo probado (m)

D= diámetro nominal del tubo (mm)

P= promedio de presión de prueba (kilopascales)

Cuando se estén probando válvulas cerradas de asiento metálico, una cantidad adicional de agua de relleno por válvula cerrada de 1,2 m L/h/mm del diámetro nominal de la válvula es permitido. Cuando haya hidrantes en la sección en prueba, esta deberá hacerse sobre la válvula principal en el hidrante. La aceptación de una instalación es determinada en la base de la tolerancia de prueba. Si cualquier prueba muestra una cantidad de agua de relleno mayor a la permitida, el instalador es responsable de localizar y reparar cualquier fuga, hasta que los resultados de la prueba estén dentro del rango permitido. Todas las fugas visibles deben ser reparadas sin importar el tamaño y gravedad de la fuga.

3.4. Montaje de válvulas

Las válvulas con extremo de brida son las que más se utilizan en la mayor parte de las tuberías de proceso, ver figura 11.

En los que se requieren instalación firme y protección contra escurrimientos se emplean válvulas de extremos soldados. Los tamaños para tubos pequeños suelen tener extremos roscados, según sea el material del tubo y la válvula y el fluido que se va a manejar.

Figura 11. **Válvula con extremo de brida**



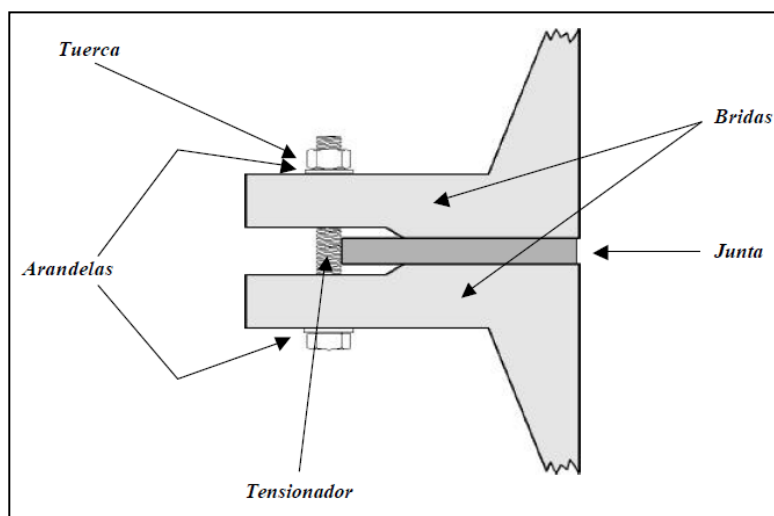
Fuente: División de Ingeniería Crane. Flujo de fluidos. p.35.

Los extremos con brida tienen dimensiones y capacidades de presión estándar para diversos materiales de construcción. Los diámetros de las caras realzadas, los agujeros para tornillos y los diámetros de las caras realzadas están incluidas en diversas normas de American National Standards Institute (ANSI) y de Manufacturer's Standardization Society of the Fitting Industry (MSS). Las clases para presiones idénticas o similares con diferentes materiales, tienen las mismas dimensiones.

Cuando se montan las bridas de acero de cara realzada en bridas de hierro fundido, bronce o acero inoxidable, se debe tener cuidado especial para no doblar o romper el material de menor resistencia.

Además, si se unen bridas de acero de cara realzada con bridas de cara plana de otros materiales, se recomienda desmontar la cara realzada y utilizar una junta de ese tamaño en la unión.

Figura 12. **Unión de bridas por medio de tornillos**



Fuente: elaboración propia.

3.4.1. Juntas

Las juntas para las bridas entre válvula y tubos son de tres categorías: blandas, semimetálicas y metálicas, con muchas subdivisiones.

Las juntas blandas son las hechas con elastómeros, las de hojas de asbesto comprimidas, que tienen por lo general aglutinante de caucho sintético para darles resistencia a la corrosión y mejorar el sellamiento y las de materiales de hidrocarburos fluorados, como PTFE, con o sin relleno.

Las juntas blandas de empleo más frecuente en servicio con productos químicos son las hojas de asbesto comprimido y de PTFE.

Las juntas semimetálicas incluyen las de camisa metálica rellenas con asbesto, de las cuales hay muchos tipos, las de metal corrugado y metal perfilado con asbesto pegado con adhesivo en las ranuras concéntricas y las de tipo devanado en espiral con hoja de asbesto, papel o PTFE.

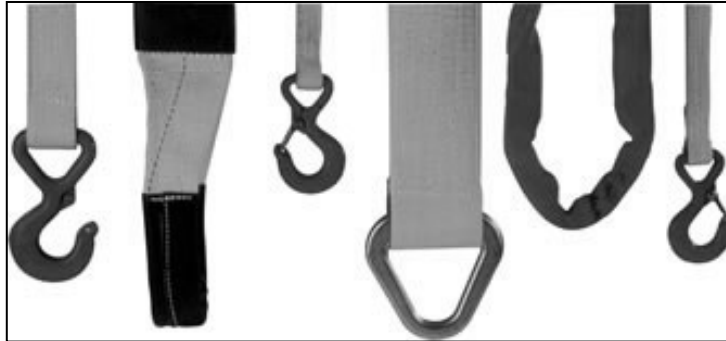
Las juntas metálicas son de diversos diseños estandarizados. La junta anular es la más común, aunque la junta lenticular cada vez tiene más aplicaciones en servicio para alta presión. Hay muchos tipos no estandarizados, como las de metal corrugado, metal plano liso y otras variantes.

La temperatura máxima de servicio en la mayor parte de las juntas elastoméricas no excede de 473grados Kelvin. Las de PTFE están limitadas a 533grados Kelvin, pues a más temperatura empiezan a desintegrarse; se recomienda que trabajen con temperaturas inferiores, por lo general, unos 478grados Kelvin, para evitar que fluya en frío.

3.4.2. Precauciones durante el montaje

El manejo es de suma importancia, en especial para válvulas grandes que requieren el uso de un polipasto. Las válvulas no se deben levantar por el volante, brazos de yugo o mecanismo de operación. Se deben colocar eslingas (ver figura 13) debajo del cuerpo, en forma que impidan que se invierta. Las válvulas pequeñas que se pueden levantar con la mano no tienen problemas para el manejo.

Figura 13. **Diferentes tipos de eslingas**



Fuente: División de Ingeniería Crane. Flujo de fluidos. p.40.

Cuando se reciben las válvulas es preferible dejarlas en su empaque original, salvo que se vayan a guardar bajo techo. Los protectores de las bridas no se deben quitar sino hasta el momento de instalarlas y, después de quitarlos, se debe inspeccionar si el interior de la válvula está limpio y de ser necesario quitar los cuerpos extraños. Por lo general, las válvulas se deben almacenar con los discos cerrados.

Hay que accionar las válvulas un ciclo completo de cierre, apertura y cierre para probar su funcionamiento. Las válvulas de retención se suelen embarcar con algún tope interno para proteger al disco y al asiento contra daños mecánicos. Hay que quitar el tope antes de instalar la válvula en la tubería.

El espacio entre las bridas de la tubería se debe establecer de modo que se puedan instalar las válvulas sin deflectar los tubos.

Las válvulas no se destinan a uso como elementos de tensión o compresión para aproximar o separar tuberías mal instaladas.

Una vez que la válvula esté conectada, hay que comprobar que los tornillos de bonete estén apretados. Las tuercas se pueden aflojar durante el embarque y las juntas pueden estar poco comprimidas o escurrirse y permitir fugas entre el cuerpo y el bonete.

3.5. Mantenimiento

El mantenimiento de las válvulas en servicio suele estar limitado a apretar los tornillos de la unión entre el bonete y el cuerpo, en el caso de válvulas metálicas. Si es usada para conducción de agua potable, dentro de un sistema para una urbanización, debe protegerse mediante la construcción de una caja de mampostería o concreto fundido (ver figura 14) que tenga las dimensiones necesarias para permitir la inspección, manipulación y además que permita la extracción de la misma.

Si el líquido que fluye por la válvula es algún químico, observar las especificaciones de la misma para evitar que se deteriore. En el caso que se utilice para riego, existen también válvulas de color negro, que evitan la absorción de rayos ultravioleta y resisten mejor la intemperie.

Figura 14. **Caja de concreto para válvula**



Fuente: Municipalidad de Mixco.

El mantenimiento extenso de las válvulas de una tubería, aunque esté fuera de servicio, sólo se hace en circunstancias inusitadas. El grado de reparaciones con las válvulas instaladas está limitado por su diseño. Es mucho más conveniente desmontar una válvula con bridas e instalar una de repuesto, que intentar repararla instalada, aunque el diseño de la válvula permita hacer ciertas reparaciones sin desmontarla. A veces, a las válvulas grandes se les puede dar servicio cuando están instaladas, pues puede ser difícil desmontarlas para llevarlas al taller.

Las válvulas que se pueden reparar sin desmontarlas, para corregir problemas con el asentamiento e instalar nuevos discos o sellos de asiento, son las de compuerta, globo, retención, macho, bola de entrada superior y diafragma. Hay que desmontar la mayor parte de las válvulas de bola y de mariposa para tener acceso a los sellos de la bola y de los asientos.

La rectificación de los asientos de las válvulas de compuerta y de retención de bisagra, requiere el uso de una máquina especial que se monta en la brida del cuerpo y corta una nueva superficie de asiento. Debido a la necesidad de que el asiento esté plano y su ángulo coincida en forma precisa con el del disco, este procedimiento es de resultados dudosos en las válvulas de compuerta de cuña maciza. Si se corta más de una cantidad mínima en los asientos, se necesita un disco nuevo para tener cierre correcto. Los asientos en las válvulas de globo y de retención por elevación se pueden rectificar por el lado del bonete, con buenos resultados.

El desmontaje de las válvulas de la tubería para repararlas tiene algunas ventajas. Muchas veces la pérdida de tiempo será menor si se tienen disponibles las válvulas para repuesto. La calidad de las reparaciones será mejor y la inspección más precisa porque se tendrá acceso a todas las superficies. Además, se pueden probar la hermeticidad del asentamiento, lo cual es difícil si la válvula está instalada.

El mantenimiento de las válvulas de compuerta metálica, globo y retención consiste en la rectificación de los asientos y discos. La reparación de válvulas de acero inoxidable es muy similar a la de las de acero al carbono de baja aleación.

Una excepción es que se debe evitar la soldadura del acero inoxidable, porque el metal quedará sensible al ataque por productos corrosivos. Si es indispensable soldar, las piezas se deben recocer en solución y enfriar por inmersión para mantener la resistencia a la corrosión.

Figura 15. **Desmontaje de una válvula**



Fuente: Municipalidad de Mixco.

La reparación de las válvulas de bola incluye instalar nuevos sellos de asiento, bola y vástago nuevo si es necesario así como empaquetaduras, juntas, tornillos y tuercas. Por lo general, se requiere muy poca rectificación de los componentes de las válvulas de bola.

Las válvulas de macho, lubricadas, se pueden reparar con soldadura y rectificación del cuerpo o del macho. Sin embargo, no es fácil encontrar el equipo de precisión para rectificar estas piezas y es dudoso que la reparación resulte económica, sobre todo en válvulas pequeñas.

En resumen, es preferible hacer las reparaciones de las válvulas desmontadas de la tubería, aunque el reemplazo de piezas de PTFE y algunas metálicas con la válvula instalada da resultados satisfactorios en algunos tipos.

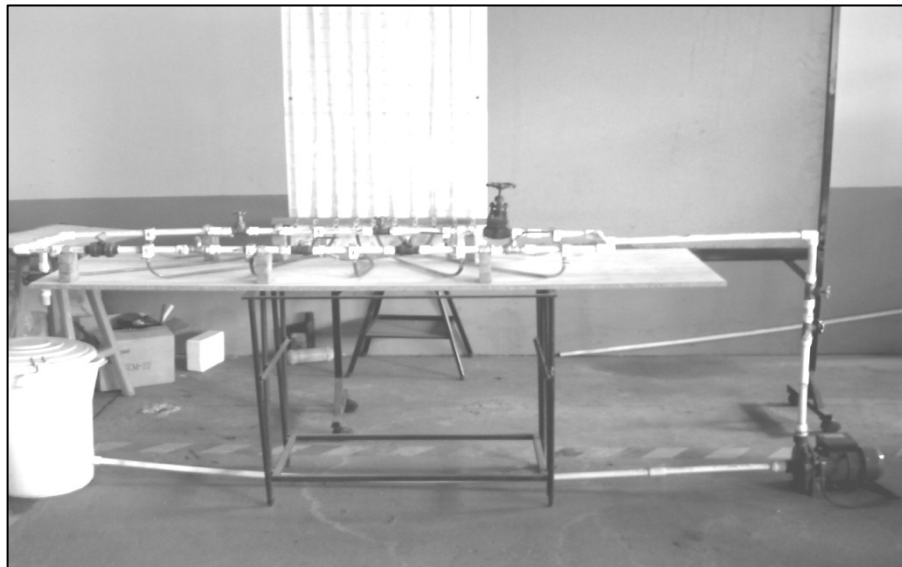
La rectificación en las válvulas de globo, compuerta y retención metálicas requiere equipo y personal especializados. La reparación de una válvula se considera económica si se puede reacondicionar a un costo no mayor al 65% del precio de reposición. Los costos de reparación, en promedio, son del 50% del costo de reposición; sin embargo, muchas válvulas no se reparan pues el costo es mayor a los citados. Por lo general, una válvula no se puede reparar si no se puede aprovechar el cuerpo, porque el costo de reparación excederá del valor recuperable.

4. PRÁCTICAS DE LABORATORIO

4.1. Descripción del equipo de pruebas

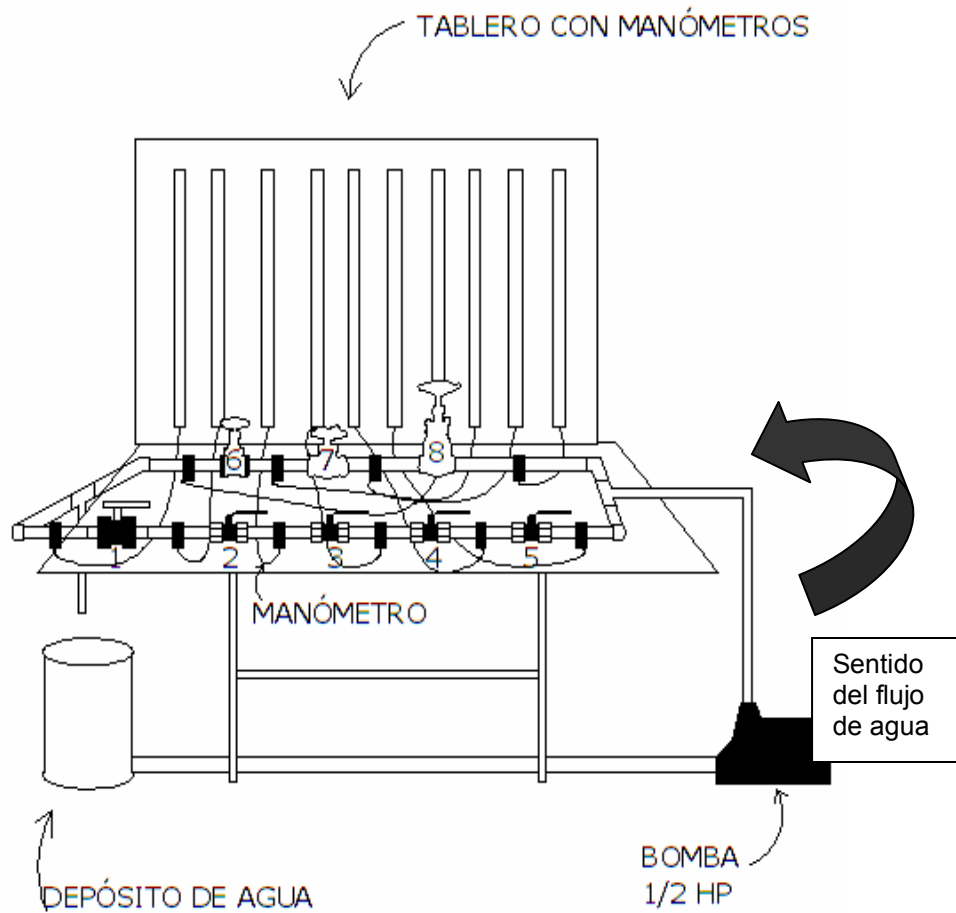
El equipo consta de un circuito de dos ramales, de PVC, de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro, en los cuales se encuentran ubicadas las válvulas de bola, compuerta y globo. Cada accesorio mencionado se encuentra ubicado entre dos tomas de presión (racores), a los cuales se conecta un manómetro diferencial de agua. El flujo que circula por el circuito es suministrado por una bomba centrífuga de $\frac{1}{2}$ caballo de potencia y es regulado por las válvulas que conforman el mismo, a manera de hacer circular el flujo de agua en el ramal que se esté ensayando. El flujo se mide por el método volumétrico, en litros por minuto (lpm).

Figura 16. **Tablero de ensayo**



Fuente: laboratorio de Hidráulica, Universidad de San Carlos de Guatemala.

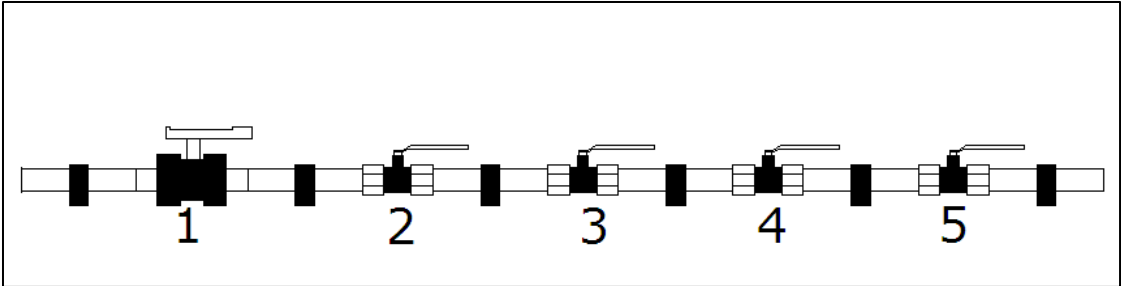
Figura 17. Esquema del tablero de ensayo



Número	Tipo de válvula
1	Tipo bola, en PVC, diámetro 1/2"
2	Tipo bola, niquelada, diámetro 1/2"
3	Tipo bola, en bronce, diámetro 1/2"
4	Tipo bola, en acero forjado, diámetro 1/2"
5	Tipo bola, en acero inoxidable, diámetro 1/2"
6	Tipo compuerta, en bronce, diámetro 1/2"
7	Tipo globo, en bronce, diámetro 1/2"
8	Tipo globo, en acero, diámetro 1/2"

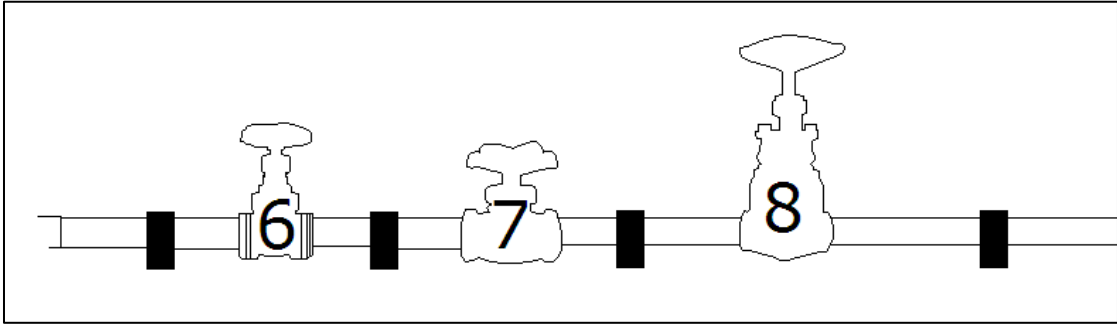
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Esquema del ramal #1**



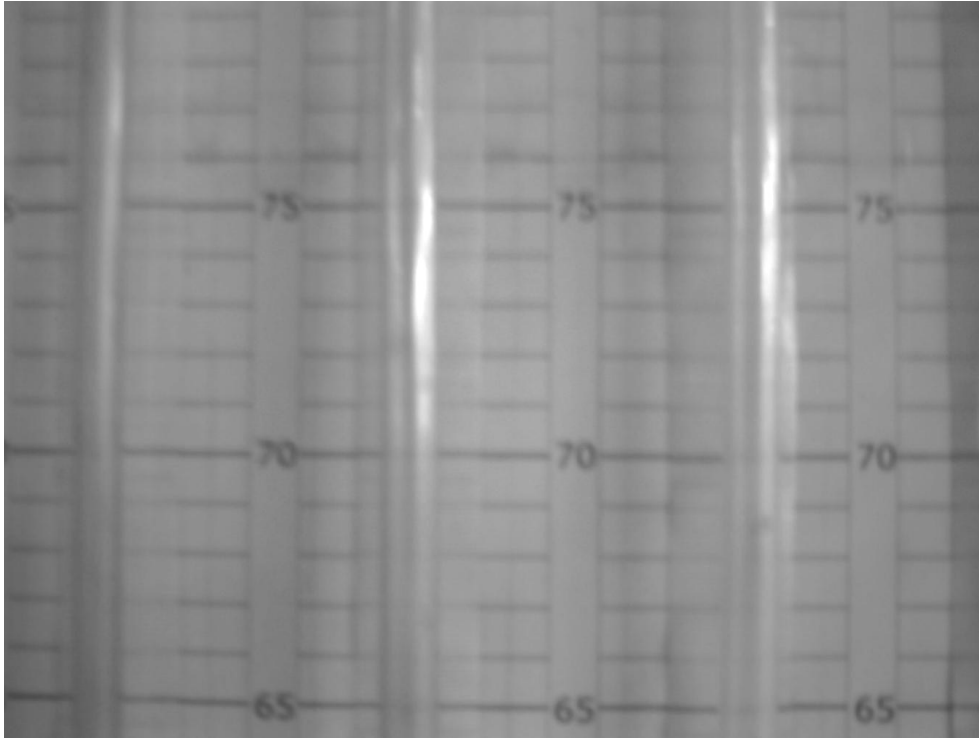
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Esquema del ramal #2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Manómetro de agua**



Fuente: laboratorio de Hidráulica, Universidad de San Carlos de Guatemala.

4.2. Ensayo pérdidas de presión en válvulas de mismo tipo pero diferente material

En este ensayo se calculan los factores de pérdida K para un determinado conjunto de válvulas que permitirá concluir finalmente como afecta el material de las mismas en la pérdida de energía.

4.2.1. Objetivos

Entre los objetivos de este ensayo están:

- Observar las pérdidas de energía o caída de presión que sufre el flujo al pasar por una válvula.
- Determinar los factores de los cuales dependen las pérdidas de energía en las válvulas según su material.
- Determinar, experimentalmente, los factores de pérdida “ K ” para válvulas de distintos materiales.

4.2.2. Descripción del ensayo

- Encender la bomba y enviar directamente el flujo al ramal donde están ubicadas las válvulas a ensayar.
- Purgar el aire dentro de las mangueras.
- Abrir completamente la válvula reguladora, a manera de obtener el máximocaudal.
- Tomar la diferencia de alturas en los meniscos del manómetro (en centímetros).
- Tomar la lectura del flujo por el método volumétrico (litros por minuto, l/min).

- Estrangular la válvula para disminuir el flujo y repetir los pasos 4 y 5, hasta obtener una cantidad mínima de 7 lecturas, por lo menos.

4.2.3. Cálculo de resultados

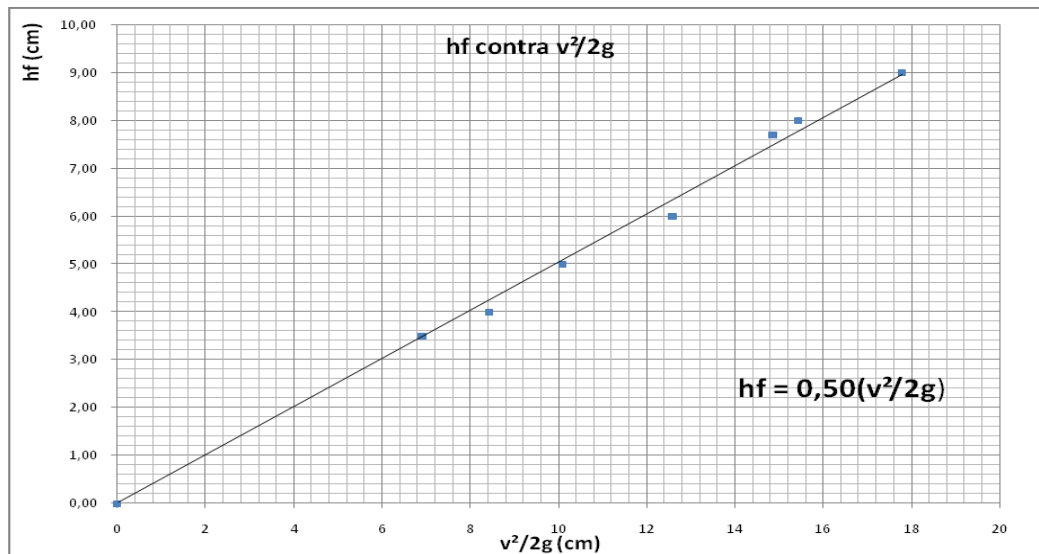
- Determinar la pérdida de energía en la tubería h_f , por medio del manómetro, de la siguiente manera: $h_f = h_1 - h_2$.
- Determinar la velocidad de flujo $v = \frac{Q}{A}$, donde Q es el caudal, en centímetros cúbicos sobre segundos, y A el área de la tubería, $1,267 \text{ cm}^2$ para un diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgada.
- Determinar el valor de la energía cinética $v^2/2g$, en centímetros.
- Para el cálculo del factor K se plotean los valores de $h_f = K(v^2/2g)$ contra los valores de $v^2/2g$, ambos en centímetros y ajustar la dispersión por el método de mínimos cuadrados, donde la variable independiente es la energía cinética y la variable dependiente es h_f . La pendiente de dicha recta será el factor de pérdidas.

Tabla XII. **Resultados y cálculos del ensayo de las pérdidas de energía en válvula tipo bola, en PVC, de ½ " de diámetro**

Lectura No.	Caudal (L/s)	Caudal (cm³/s)	hf (cm)	v (cm/s)	v²/2g (cm)
1	0	0	0	0	0
2	0,235	234,742	9,0	185,308	17,774
3	0,219	218,659	8,0	172,612	15,422
4	0,215	214,592	7,7	169,401	14,853
5	0,197	197,498	6,0	155,907	12,581
6	0,177	176,783	5,0	139,554	10,080
7	0,162	161,638	4,0	127,599	8,427
8	0,146	146,341	3,5	115,523	6,908

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Determinación del coeficiente K para válvula tipo bola, en PVC, diámetro de 1/2", completamente abierta**



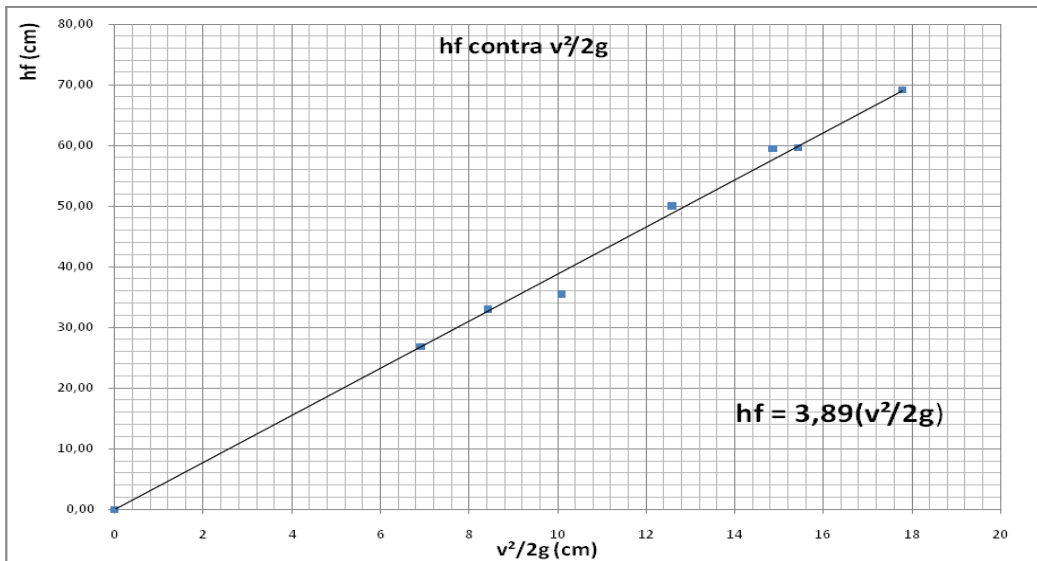
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Resultados y cálculos del ensayo de las pérdidas de energía en válvula tipo bola, en níquel, de 1/2 " de diámetro**

Lectura No.	Caudal (L/s)	Caudal (cm ³ /s)	hf (cm)	v (cm/s)	v ² /2g (cm)
1	0	0	0	0	0
2	0,235	234,742	69,1	185,308	17,774
3	0,219	218,659	59,6	172,612	15,422
4	0,215	214,592	59,5	169,401	14,853
5	0,197	197,498	50,0	155,907	12,581
6	0,177	176,783	35,5	139,554	10,080
7	0,162	161,638	33,0	127,599	8,427
8	0,146	146,341	26,9	115,523	6,908

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Determinación del coeficiente K para válvula tipo bola, en níquel, diámetro de 1/2", completamente abierta**



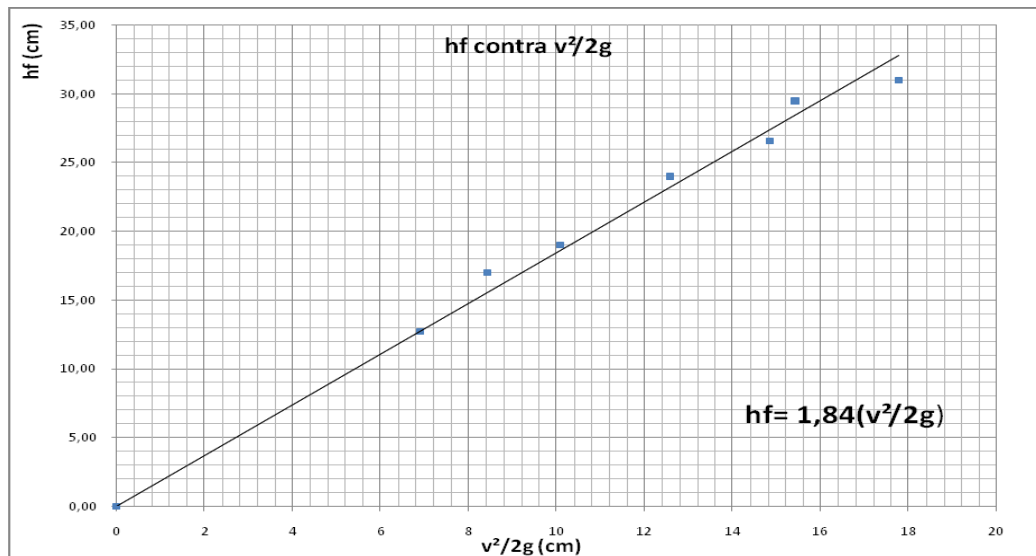
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Resultados y cálculos del ensayo de las pérdidas de energía en válvula tipo bola, en bronce, de ½ " de diámetro**

Lectura No.	Caudal (L/s)	Caudal (cm ³ /s)	hf (cm)	v (cm/s)	v ² /2g (cm)
1	0	0	0	0	0
2	0,235	234,742	31,0	185,308	17,774
3	0,219	218,659	29,5	172,612	15,422
4	0,215	214,592	26,6	169,401	14,853
5	0,197	197,498	24,0	155,907	12,581
6	0,177	176,783	19,0	139,554	10,080
7	0,162	161,638	17,0	127,599	8,427
8	0,146	146,341	12,7	115,523	6,908

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Determinación del coeficiente K para válvula tipo bola, en bronce, diámetro de 1/2", completamente abierta**



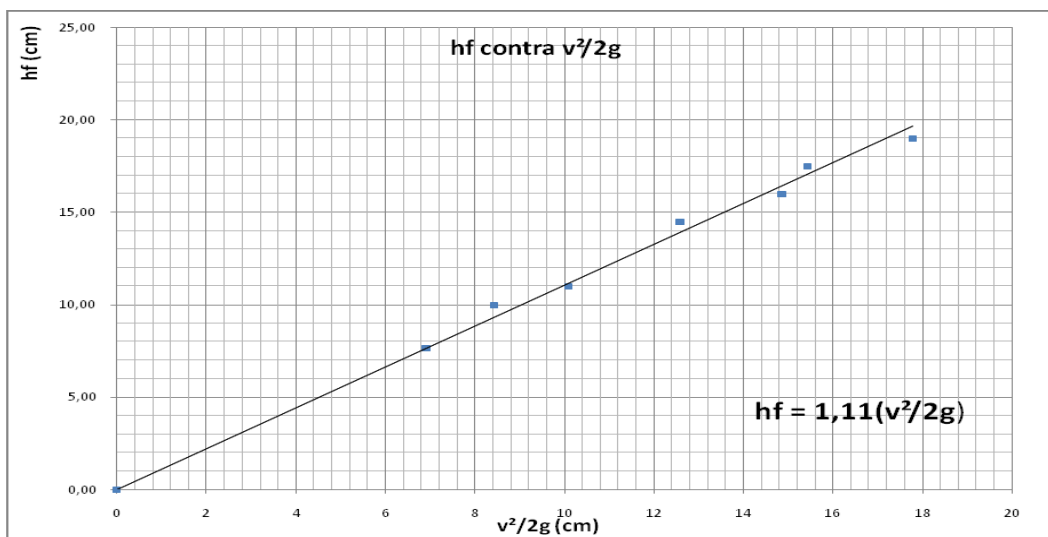
Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Resultados y cálculos del ensayo de las pérdidas de energía en válvula tipo bola, en acero forjado, de 1/2" de diámetro**

Lectura No.	Caudal (L/s)	Caudal (cm ³ /s)	hf (cm)	v (cm/s)	v ² /2g (cm)
1	0	0	0	0	0
2	0,235	234,742	19,0	185,308	17,774
3	0,219	218,659	17,5	172,612	15,422
4	0,215	214,592	16,0	169,401	14,853
5	0,197	197,498	14,5	155,907	12,581
6	0,177	176,783	11,0	139,554	10,080
7	0,162	161,638	10,0	127,599	8,427
8	0,146	146,341	7,7	115,523	6,908

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Determinación del coeficiente K para válvula tipo bola, en acero forjado, diámetro de 1/2", completamente abierta**



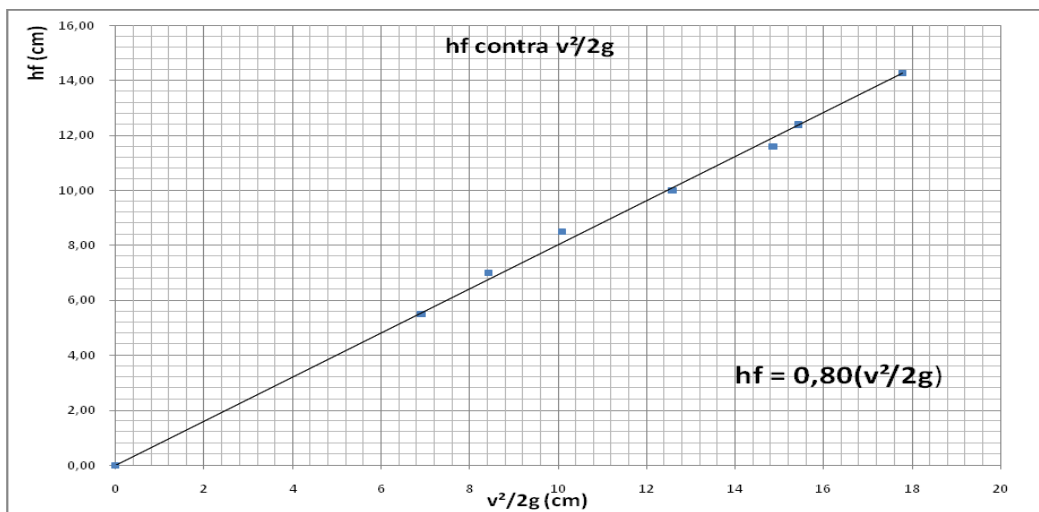
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Resultados y cálculos del ensayo de las pérdidas de energía en válvula tipo bola, en acero inoxidable, de 1/2 " de diámetro**

Lectura No.	Caudal (L/s)	Caudal (cm ³ /s)	hf (cm)	v (cm/s)	v ² /2g (cm)
1	0	0	0	0	0
2	0,235	234,742	14,3	185,308	17,774
3	0,219	218,659	12,4	172,612	15,422
4	0,215	214,592	11,6	169,401	14,853
5	0,197	197,498	10,0	155,907	12,581
6	0,177	176,783	8,5	139,554	10,080
7	0,162	161,638	7,0	127,599	8,427
8	0,146	146,341	5,5	115,523	6,908

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Determinación del coeficiente K para válvula tipo bola, en acero inoxidable, diámetro de 1/2", completamente abierta**



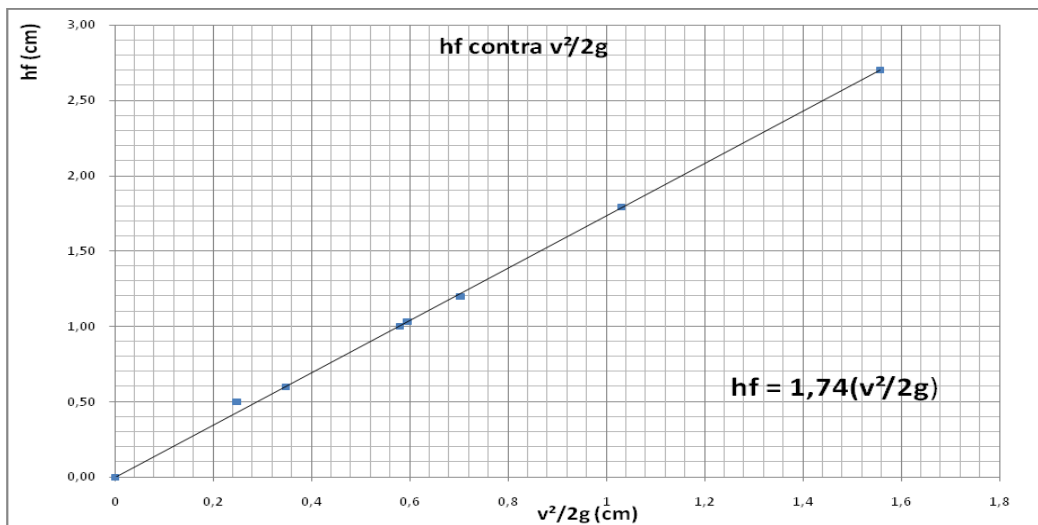
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Resultados y cálculos del ensayo de las pérdidas de energía en válvula tipo compuerta, en bronce, de ½ " de diámetro**

Lectura No.	Caudal (L/s)	Caudal (cm ³ /s)	hf (cm)	v (cm/s)	v ² /2g (cm)
1	0	0	0	0	0
2	0,028	27,663	0,5	21,837	0,247
3	0,033	32,787	0,6	25,882	0,347
4	0,042	42,373	1,0	33,450	0,579
5	0,043	42,918	1,0	33,880	0,594
6	0,047	46,642	1,2	36,820	0,702
7	0,056	56,497	1,7	44,599	1,030
8	0,069	69,444	2,7	54,820	1,556

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Determinación del coeficiente K para válvula tipo compuerta, en bronce, diámetro de 1/2", completamente abierta**



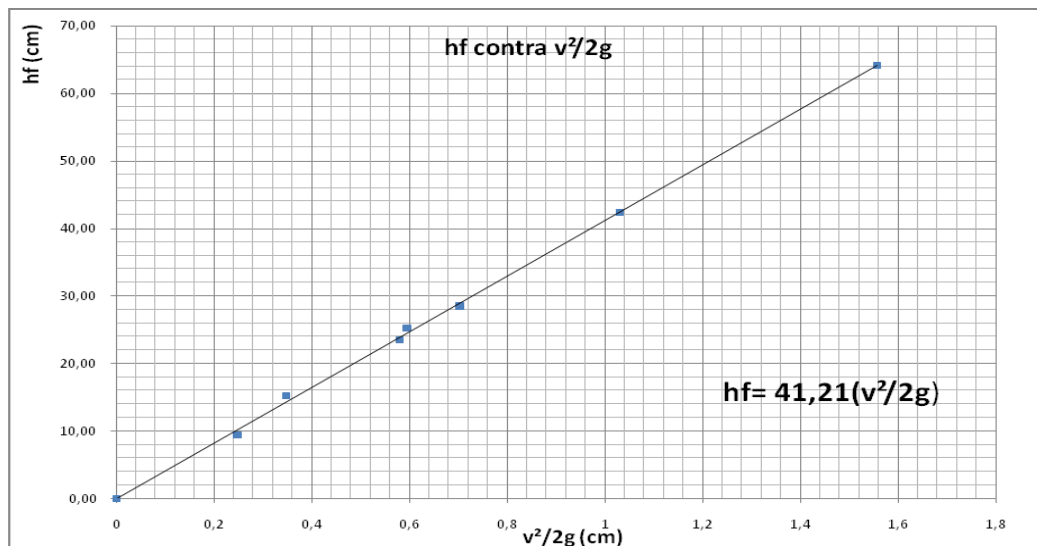
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Resultados y cálculos del ensayo de las pérdidas de energía en válvula tipo globo, en bronce, de ½ " de diámetro**

Lectura No.	Caudal (L/s)	Caudal (cm ³ /s)	hf (cm)	v (cm/s)	v ² /2g (cm)
1	0	0	0	0	0
2	0,028	27,663	9,4	21,837	0,247
3	0,033	32,787	15,2	25,882	0,347
4	0,042	42,373	23,5	33,450	0,579
5	0,043	42,918	25,2	33,880	0,594
6	0,047	46,642	28,5	36,820	0,702
7	0,056	56,497	42,4	44,599	1,030
8	0,069	69,444	64,1	54,820	1,556

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Determinación del coeficiente K para válvula tipo globo, en bronce, diámetro de 1/2", completamente abierta**



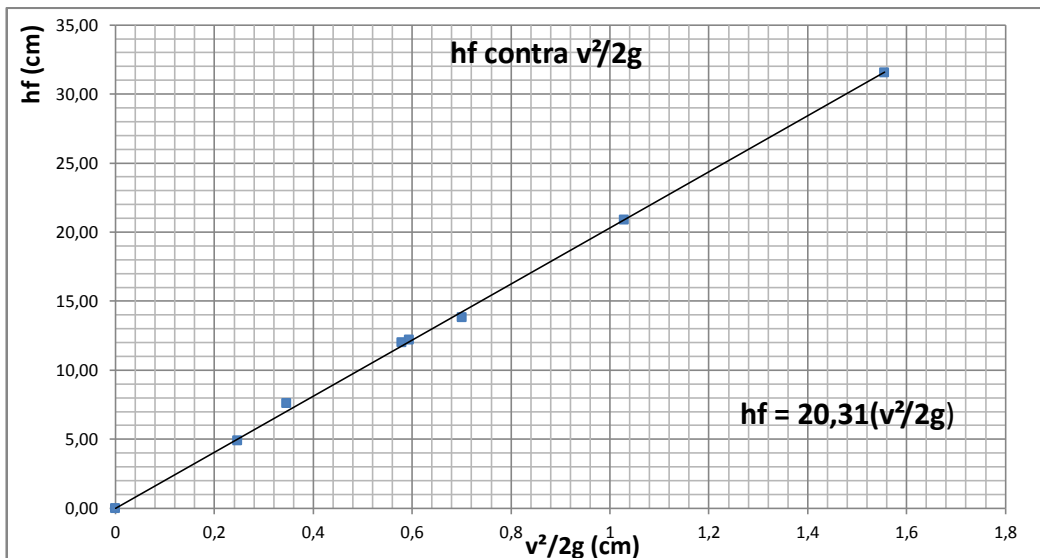
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Resultados y cálculos del ensayo de las pérdidas de energía en válvula tipo globo, en acero, de ½ " de diámetro**

Lectura No.	Caudal (L/s)	Caudal (cm ³ /s)	hf (cm)	v (cm/s)	v ² /2g (cm)
1	0	0	0	0	0
2	0,028	27,663	4,9	21,837	0,247
3	0,033	32,787	7,6	25,882	0,347
4	0,042	42,373	12,0	33,450	0,579
5	0,043	42,918	12,2	33,880	0,594
6	0,047	46,642	13,8	36,820	0,702
7	0,056	56,497	20,9	44,599	1,030
8	0,069	69,444	31,6	54,820	1,556

Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Determinación del coeficiente K para válvula tipo globo, en acero, diámetro de 1/2", completamente abierta**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Resumen de los coeficientes de resistencia de las válvulas ensayadas**

Tipo de válvula	Coefficiente K
Tipo bola, en PVC, diámetro ½"	0,50
Tipo bola, niquelada, diámetro ½"	3,89
Tipo bola, en bronce, diámetro ½"	1,84
Tipo bola, en acero forjado, diámetro ½"	1,11
Tipo bola, en acero inoxidable, diámetro ½"	0,80
Tipo compuerta, en bronce, diámetro ½"	1,74
Tipo globo, en bronce, diámetro ½"	41,21
Tipo globo, en acero, diámetro ½"	20,31

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Resumen de los coeficientes de resistencia en válvulas, según, la bibliografía consultada**

Tipo de válvula	Coefficiente K
Tipo bola, en PVC, diámetro ½"	0,50
Tipo bola, niquelada, diámetro ½"	No hay datos
Tipo bola, en bronce, diámetro ½"	4,05
Tipo bola, en acero forjado, diámetro ½"	No hay datos
Tipo bola, en acero inoxidable, diámetro ½"	No hay datos
Tipo compuerta, en bronce, diámetro ½"	No hay datos
Tipo globo, en bronce, diámetro ½"	14,85
Tipo globo, en acero, diámetro ½"	0,22

Fuente: elaboración propia.

4.2.4. Análisis de resultados

En las gráficas de pérdida de energía contra energía cinética, para las válvulas ensayadas, la dispersión tiende a ajustarse en una recta, cuya pendiente es efectivamente el factor de pérdida. Lo cual concuerda con las fórmulas utilizadas en los textos para el cálculo de pérdidas en válvulas.

A pesar de lo anterior, los resultados obtenidos en los ensayos no son similares a los datos presentados en los textos consultados, esto se debe a que el flujo no siempre se encontraba en la zona de turbulencia completa.

Se comprueba que hay más pérdida en válvulas con superficies metálicas sin tratamiento con respecto a las válvulas de PVC y acero inoxidable que tienen superficies mucho más lisas, evidenciándose el efecto del factor de fricción.

Además, se observa que la que presenta mayor pérdida es la válvula de bronce tipo globo, con un valor de K igual a 41,21. Mientras que la de menor pérdida es la válvula de PVC tipo bola, con un valor de K igual a 0,50, lo anterior concuerda con el criterio de clasificación que dan los libros de texto, marcándose así el efecto de la configuración geométrica interna de cada tipo de válvula.

CONCLUSIONES

1. Al estudiar la pérdida por fricción experimentalmente, se comprueba que el valor del mismo depende del material con que está construida la válvula y la velocidad de circulación del flujo.
2. De las pruebas realizadas en el laboratorio el valor de K de las válvulas tipo bola, en PVC, de diámetro $\frac{1}{2}$ ", es casi 8 veces mayor que el valor de K en las válvulas tipo bola en níquel.
3. Las válvulas tipo globo producen una pérdida de energía de casi 20 veces las de tipo bola del mismo diámetro.
4. Para proyectos de agua potable, por calidad, por resistencia, por costo y menor pérdida de energía se puede concluir que las válvulas de bronce ofrecen una de las mejores alternativas. Las válvulas de PVC tienen una resistencia menor a las de bronce, sin embargo; su disponibilidad en el mercado nacional es casi nulo.
5. A diferencia de las válvulas de bronce y acero sin tratamiento, las válvulas de PVC no sufren de corrosión.
6. Las válvulas de bronce y acero, por el material de que están fabricadas, poseen un peso mayor que las de PVC y níquel, lo anterior hace que manejarlas sea mucho más complicado que las anteriores.

7. La metodología usada experimentalmente concuerda con la teoría del flujo en válvulas y pérdidas localizadas.

RECOMENDACIONES

1. Es indispensable tomar en cuenta la magnitud de las pérdidas de energía en las válvulas, al diseñar un sistema de conducción o distribución de líquidos, pues con base a dichos valores se calculará la presión en el punto de interés.
2. La correcta operación del equipo, especialmente la lectura de datos y la manipulación de las válvulas adecuadamente, es importante para un buen funcionamiento y el correcto desarrollo de los ensayos.
3. En cualquier diseño se deben considerar las recomendaciones del fabricante, en cuanto a la resistencia de presión de las válvulas.
4. En la instalación de las válvulas se debe considerar el protegerlas de la intemperie, para evitar el deterioro de las mismas.
5. La correcta selección del tipo y material de una válvula para un sistema de tubería es básico, pues influye la forma geométrica y material de construcción, en cuanto al funcionamiento hidráulico.
6. Incluir este tipo de prácticas de laboratorio con estudiantes de los cursos de Mecánica de Fluidos e Hidráulica.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARRECIS CABRERA, Hugo. *Válvulas de PVC*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. 98 p.
2. División de ingeniería de Crane. *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. México: McGraw-Hill, 1993. 350 p. ISBN:84-260-0750-6.
3. MOTT, Robert. *Mecánica de fluidos*. México: Pearson, 2005. 284 p. ISBN: 84-260-0475-5.
4. PONCE VICTORIA, Fernando. *Manual para ensayo de pérdidas de energía en accesorios de tubería del laboratorio de hidráulica*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 73 p.
5. STREETER, Víctor. *Mecánica de los fluidos*. México: McGraw-Hill, 2000. 244 p. ISBN: 84-260-0750-6.