

GUÍAS METODOLÓGICAS

PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS EN
LOS LABORATORIOS DE HIDRÁULICA DE
TUBERÍAS Y CANALES

JULIÁN ANDRÉS QUINTANA CASTAÑEDA
CRISTIAN AUGUSTO VILLANUEVA NÚÑEZ



Presidente del Consejo de Fundadores

P. Diego Jaramillo Cuartas, cjm

Rector General Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO

Leonidas López Herrán

Vicerrector General Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO

P. Harold Castilla Devoz, cjm

Vicerrectora General Académica

Marelen Castillo Torres

Rector Sede Principal

Jefferson Enrique Arias Gómez

Directora General de Investigaciones

Amparo Vélez Ramírez

Vicerrectora Académica Sede Principal

Luz Alba Beltrán Agudelo

Director de Investigación Sede Principal

P. Carlos Germán Juliao Vargas, cjm

Coordinadora General de Publicaciones

Rocío del Pilar Montoya Chacón

Coordinadora de Publicaciones Sede Principal

Paula Liliana Santos Vargas

Decano Facultad de Ingeniería

Manuel Fernando Dávila Sguerra

Director Programa de Ingeniería Civil

Henry Yecid Bustos Castañeda

Quintana Castañeda, Julián Andrés

Guías metodológicas para la realización de ensayos en los laboratorios de hidráulica de tuberías y canales / Julián Andrés Quintana Castañeda y Cristian Augusto Villanueva Núñez -- Bogotá: Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO. Facultad de Ingeniería, 2016.

134 p.: il.

ISBN 978-958-763-178-4

1. Distribución del agua – Análisis 2. Ingeniería hidráulica - Análisis 3. Canales (Ingeniería hidráulica) 4. Tuberías – Diseño y construcción i.Villanueva Núñez, Cristian Augusto

CDD: 6277 Q84g BRGH

GUÍAS METODOLÓGICAS PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS EN LOS LABORATORIOS DE HIDRÁULICA DE TUBERIAS Y CANALES

Autores

Julián Andrés Quintana Castañeda

Cristian Augusto Villanueva Núñez

Corrección de estilo

Carvalita

Diseño y diagramación

Sandra Milena Rodríguez Ríos

Impresión

Buenos & Creativos S.A.S.

Impreso en Colombia – Printed in Colombia

Primera edición: junio 2016

200 ejemplares

Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO

Calle 81 B # 72 B – 70

Bogotá D.C. - Colombia

2016

Reservados todos los derechos a la Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO. La reproducción parcial de esta obra, en cualquier medio, incluido electrónico, solamente puede realizarse con permiso expreso de los editores y cuando las copias no seas utilizadas para fines comerciales. Los textos son responsabilidad de los autores y no comprometen la opinión de UNIMINUTO.

AUTORES

Ingeniero Julián Andrés Quintana Castañeda

Julián Andrés Quintana Castañeda es profesor instructor del área de hidráulica y saneamiento básico del programa de Ingeniería Civil en UNIMINUTO, Bogotá, Colombia. Realizó sus estudios de pregrado en la Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO donde recibió su título como ingeniero civil en 2011. En la actualidad cursa estudios de posgrado en la Maestría en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. En su experiencia como docente ha sido profesor en cursos de mecánica de fluidos, hidráulica de tuberías e hidráulica de canales aparte de otras áreas de la ingeniería, desde el año 2011 ha sido el líder de los laboratorios de ingeniería civil.

Ingeniero Cristian Augusto Villanueva Núñez

Ingeniero civil, Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO. Durante ocho años y medio (febrero 2006 - junio 2014) fue profesor de todas las asignaturas en el área de hidráulica y saneamiento básico, en UNIMINUTO.

Docente de UNIMINUTO en asignaturas como: Instalaciones hidrosanitarias en edificaciones, Mecánica de fluidos, Mecánica de acueductos y alcantarillados y en Estructuras hidráulicas. Ha sido tutor/director de veinte trabajos de grado, aproximadamente.

Coordinador de los laboratorios del Programa de Ingeniería Civil (2006-2011) y líder del área de hidráulica (2009-2014) en UNIMINUTO. En la actualidad es candidato para optar por el grado en la Maestría en Ingeniería Civil en Recursos Hidráulicos, con énfasis en investigación, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Experiencia profesional como ingeniero civil, egresado desde el año 2003, en áreas como: alcantarillado pluvial, alcantarillado de aguas residuales, redes de acueducto, instalaciones hidrosanitarias en edificaciones, redes de gas, sistemas contra incendios, redes de riego, estudios hidrológicos, sedimentadores, equipos de estaciones de bombeo de agua potable y de aguas residuales, interventor o supervisor de diseños hidrosanitarios, entre otros. Actualmente es consultor y diseñador hidráulico independiente.

AGRADECIMIENTOS

Resalto la fundamental labor realizada por cada uno de los estudiantes —hoy en día ingenieros civiles—, que participaron en estos proyectos de grado, dirigidos por Cristian Villanueva, para crear el actual laboratorio de hidráulica de la sede Carlos Eduardo Acosta de UNIMINUTO, Barrio Quirigua.

TABLA DE CONTENIDO

Símbolos y su definición	1
Ecuaciones importantes	4
Introducción	13
Guía metodológica para la realización del ensayo de caudal (Q) en tuberías y canales	15
Guía metodológica para la realización del ensayo número de Reynolds y tipos de flujo	19
Guía metodológica para la realización del ensayo de pérdidas de energía causadas por fricción de tubería	26
Guía metodológica para la realización del ensayo de pérdidas de energía en ampliación-reducción de diámetros y válvulas	35
Guía metodológica para la realización del ensayo de coeficientes de descarga libre	45
Guía metodológica para la realización del ensayo de Aforadores de caudal en tuberías a presión	54
Guía metodológica para la realización del ensayo de golpe de ariete en almenaras y válvula reductora de presión	65
Procedimiento general para la operación del canal hidráulico	77
Guía metodológica para la realización del ensayo de curva de energía específica en canales rectangulares	80
Guía metodológica para la realización del ensayo de resalto hidráulico en canales rectangulares	86

Guía metodológica para la realización del ensayo de coeficientes experimentales “N” de Manning y “C” de Chezy para flujos uniformes	92
Guía metodológica para la realización del ensayo de vertederos de pared delgada sin contracciones	97
Guía metodológica para la realización del ensayo de compuerta vertical plana de fondo	103
Guía metodológica para la realización del ensayo de canaleta Parshall	110
Guía metodológica para la presentación de informes de laboratorio	114
Referencias Bibliográficas	119

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Rugosidad absoluta de materiales	33
Tabla 2. Valores del coeficiente K para accesorios y válvulas	43
Tabla 3. Valores de “C” según la pendiente de la tubería	72
Tabla 4. Valores de K según la longitud de la conducción	72
Tabla 5. Valores de G según el material de la conducción	73
Tabla 6. Valores de K y n según el ancho de la garganta en la canaleta Parshall	112
Tabla 7. Propiedades del agua en unidades del Sistema Internacional	117
Tabla 8. Propiedades del agua en unidades del Sistema Inglés	118

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Montaje para el estudio del número de Reynolds	16
Figura 2. Aforo de volumen para el cálculo de caudal en cada abertura de la válvula	17
Figura 3. Montaje para el estudio del número de Reynolds	21
Figura 4. Tanque de rebosadero para mantener carga hidráulica constante	21
Figura 5. Aforo de volumen para el cálculo de caudal en cada abertura de la válvula	22

Figura 6.	Inyección de tinta para visualizar tipos de flujo en la tubería transparente	22
Figura 7.	La tinta se mezcla con el agua en la tubería transparente para formar cada flujo	22
Figura 8.	Equipo para el estudio de pérdidas de energía causadas por fricción en tubería y accesorios	27
Figura 9.	Válvula 1 línea superior	28
Figura 10.	Válvula 3 línea superior	28
Figura 11.	Válvula 2 línea inferior	28
Figura 12.	Válvula 4 línea inferior	28
Figura 13.	Válvula de desagüe	29
Figura 14.	Punto de presión 2	29
Figura 15.	Válvula de purga	30
Figura 16.	Piezómetro para medición de niveles	30
Figura 17.	Equipo para el estudio de pérdidas de energía causadas por fricción en tubería y accesorios	36
Figura 18.	Válvula 2 línea inferior	37
Figura 19.	Válvula 4 línea inferior	37
Figura 20.	Válvula 1 línea superior	37
Figura 21.	Válvula 3 línea superior	37
Figura 22.	Válvula de desagüe	38
Figura 23.	Válvula antes y después de la ampliación	38
Figura 24.	Puntos de presión antes y después de la válvula de cortina	39
Figura 25.	Puntos de presión antes y después de la válvula de bola	39
Figura 26.	Tanque de aforos	39
Figura 27.	Coefficiente K para ampliación brusca de diámetros	42
Figura 28.	Coefficiente K para reducción brusca de diámetros	43
Figura 29.	Tanque de carga constante	46
Figura 30.	Orificios en tanque de carga constante	47
Figura 31.	Trayectoria parabólica del chorro	47
Figura 32.	Medición coordenada en X	48
Figura 33.	Medición coordenada en Y	48
Figura 34.	Aforo del caudal real para cada chorro	48
Figura 35.	Medición carga hidráulica “H” para cada orificio	49
Figura 36.	Orificio practicado en un tanque de carga constante	49
Figura 37.	Ubicación de la placa de orificio en la línea superior	55

Figura 38.	Vista de la placa de orificio al interior de la tubería	55
Figura 39.	Válvula 2 línea inferior	56
Figura 40.	Válvula 4 línea inferior	56
Figura 41.	Válvula 1 línea superior	56
Figura 42.	Válvula 3 línea superior	56
Figura 43.	Válvula de desagüe tanque	57
Figura 44.	Válvula de purga	57
Figura 45.	Tanque de aforos	58
Figura 46.	Valores típicos del coeficiente de descarga Cd	60
Figura 47.	Esquema de la placa de orificio	60
Figura 48.	Transmisores de presión	61
Figura 49.	Conexión de sonda en punto de presión 1	61
Figura 50.	Válvula de purga	61
Figura 51.	Conexión sondas a puntos de presión	62
Figura 52.	Aforos de volumen en el piezómetro de agua	62
Figura 53.	Montaje para el estudio de golpe de ariete en almenaras	66
Figura 54.	Montaje para el estudio de golpe de ariete en una válvula reductora de presión	66
Figura 55.	Tanque de carga hidráulica	67
Figura 56.	Válvula de desagüe	67
Figura 57.	Tanque para aforos de caudal	67
Figura 58.	Nivel de agua en almenara	68
Figura 59.	Cierre rápido de la válvula para generar golpe de ariete	68
Figura 60.	Niveles inicial y final después del cierre brusco de la válvula.....	69
Figura 61.	Medición de la diferencia de niveles en almenaras	69
Figura 62.	Tanque de aforos	69
Figura 63.	Válvula de 3"	69
Figura 64.	Válvula reductora de presión	70
Figura 65.	Manómetros de presión	70
Figura 66.	Aforo de volumen en el piezómetro de agua	71
Figura 67.	Graduación de la válvula de cortina de 4 pulgadas	78
Figura 68.	Graduación de la pendiente en el canal	79
Figura 69.	Medición del área interna del tanque para calcular el volumen de aforo	79
Figura 70.	Aforo de volumen en piezómetro de agua	79

Figura 71.	Flujo en canales abiertos	81
Figura 72.	Curva de energía específica en la sección de un canal	81
Figura 73.	Vertedero triangular	83
Figura 74.	Profundidad 1 antes del vertedero	83
Figura 75.	Resalto hidráulico	88
Figura 76.	Profundidad antes del resalto	88
Figura 77.	Profundidad después resalto	88
Figura 78.	Longitud experimental del resalto	89
Figura 79.	Profundidad aguas arriba del canal	93
Figura 80.	Perfil típico de vertedero de pared delgada sin contracciones	99
Figura 81.	Profundidad de la Napa sobre la cresta del vertedero	99
Figura 82.	Vertedero circular instalado en el canal	99
Figura 83.	Esquema de un vertedero rectangular típico de pared delgada sin contracciones	99
Figura 84.	Esquema de un vertedero triangular típico de pared delgada sin contracciones	100
Figura 85.	Esquema de un vertedero trapezoide tipo Cipolletti, de pared, sin contracciones	100
Figura 86.	Esquema de un vertedero circular típico de pared delgada sin contracciones	101
Figura 87.	Compuerta plana con descarga libre	104
Figura 88.	Abertura de la compuerta	105
Figura 89.	Profundidad a 2/3 de la garganta de la canaleta Parshall	111
Figura 90.	Canaleta Parshall en planta y perfil	112

LISTA DE FORMATOS

Formato 1.	Toma de datos en laboratorio para el ensayo de número de Reynolds	25
Formato 2.	Toma de datos en laboratorio para el ensayo de pérdidas de energía causadas por fricción en tubería PVC y galvanizada...	34
Formato 3.	Toma de datos en laboratorio para el ensayo de pérdidas de energía en ampliación-reducción de diámetros y válvulas	44
Formato 4.	Toma de datos en laboratorio para el ensayo de coeficientes de descarga libre	53

Formato 5.	Toma de datos en laboratorio para el ensayo de aforadores de caudal en tuberías a presión	64
Formato 6.	Toma de datos en laboratorio para el ensayo de golpe de ariete en almenaras	76
Formato 7.	Toma de datos en laboratorio para el ensayo de golpe de ariete en la válvula reductora de presión	76
Formato 8.	Toma de datos en laboratorio para el ensayo de energía específica	85
Formato 9.	Toma de datos en laboratorio para el ensayo de resalto hidráulico	81
Formato 10.	Toma de datos en laboratorio para el ensayo de coeficientes de experimentales “N” de Maning y “C” de Chezy para flujos uniformes	96
Formato 11.	Toma de datos en laboratorio para el ensayo de vertederos de pared delgada sin contracciones	102
Formato 12.	Toma de datos en laboratorio para el ensayo de compuerta vertical plana de fondo	109
Formato 13.	Toma de datos en laboratorio para el ensayo de canaleta Parshall	113

SÍMBOLOS Y SU DEFINICIÓN

SÍMBOLO	DEFINICIÓN
a	Celeridad para los cálculos en el golpe de ariete.
A	Área de la sección transversal de conductos.
A_c	Área transversal de la conducción en el cálculo para el golpe de ariete.
A_{ch}	Área transversal de la chimenea o almenara en el cálculo del golpe de ariete mediante almenaras.
A_{ch}	Área del chorro en el cálculo de coeficientes de descarga libre.
A_m	Área mojada en un canal abierto.
A_o	Área del orificio en el cálculo de coeficientes de descarga libre.
C	a Coeficiente dimensional para el cálculo del tiempo de parada en el golpe de ariete según la pendiente de la tubería.
C_{Ch}	Coeficiente de Chezy.
C_v	Coeficiente de velocidad.
C_c	Coeficiente de contracción.
C_d	Coeficiente de descarga.
d	Diámetro de la tubería en los cálculos para el Venturi.
D	Diámetro en un vertedero circular.
e	Espesor de las paredes de la conducción.
E_1	Energía en el punto 1.
E_2	Energía en el punto 2.
E_c	Energía crítica.
$E_{\text{específica}}$	Energía específica.

Símbolos y su definición

f	Factor de fricción adimensional para la ecuación de Darcy-Weisbach.
F_1	Número de Froude en el punto 1.
G	Coefficiente adimensional para el cálculo de la celeridad en el golpe de ariete que depende del material de la conducción.
g	Aceleración de la gravedad.
H	Carga hidráulica en la ecuación de Bernoulli.
H	Carga hidráulica sobre la cresta de un vertedero.
H_1	Altura para el apoyo 1 en el canal hidráulico.
H_2	Altura para el apoyo 2 en el canal hidráulico.
H_f	Pérdidas de energía por fricción.
H_m	Altura manométrica.
$h_{\text{máxima}}$	Área transversal de la chimenea.
ΔH	Sobrepresión causada por el golpe de ariete.
K	Coefficiente adimensional para el cálculo del tiempo de parada en el golpe de ariete según la longitud de la conducción.
K	Coefficiente adimensional que depende del ancho de la garganta en los cálculos de canaleta Parshall.
$K_{\text{ampliación}}$	Coefficiente adimensional para ampliación súbita de diámetro.
$K_{\text{reducción}}$	Coefficiente adimensional para reducción súbita de diámetro.
K_s	Rugosidad absoluta para materiales.
L	Longitud de tubería.
L	Longitud de la cresta en un vertedero de pared delgada.
L_c	Longitud crítica en los cálculos para el golpe de ariete.
n	Coefficiente de rugosidad de Maning.
n	Coefficiente que depende del ancho de la garganta en los cálculos de Canaleta Parshall.
NR	Número de Reynolds.
NF	Número de Froude.
P	Presión.
P_m	Perímetro mojado en el canal abierto.

q	Caudal unitario.
Q	Caudal.
Q_T	Caudal teórico.
Q_r	Caudal real en los cálculos para los coeficientes de descarga libre.
R_H	Radio hidráulico en un canal abierto.
$S\%$	Pendiente longitudinal del canal hidráulico.
T	Tiempo.
T	Tiempo de parada para el cálculo de golpe de ariete.
T	Periodo de la tubería para los cálculos del golpe de ariete.
V	Velocidad.
V	Volumen.
$V_{vol\ ch}$	Volumen de agua en la chimenea.
V_{Ch}	Velocidad de Chezy.
V_c	Velocidad crítica.
V_r	Velocidad real en los cálculos para coeficientes de descarga libre.
V_t	Velocidad teórica en los cálculos de los coeficientes de descarga libre.
V_T	Velocidad teórica en compuerta vertical plana.
X	Distancia entre los dos apoyos en el canal hidráulico.
X_0	Coordenada en el eje X del punto en el chorro en los cálculos de coeficientes de descarga libre.
Y	Profundidad del flujo en el cálculo de energía específica.
$Y_{critica}$	Profundidad crítica.
Y_0	Coordenada en el eje Y del punto en el chorro en los cálculos de coeficientes de descarga libre.
Z	Altura en la ecuación de Bernoulli.
\emptyset	Diámetro.
ν	Viscosidad cinemática.
γ	Peso específico del fluido.
ΔE	Cambio en la energía entre dos puntos.

ECUACIONES IMPORTANTES

DESCRIPCIÓN DE LA ECUACIÓN

1. Caudal por el método volumétrico en laboratorio

$$Q = \frac{V}{T}$$

2. Caudal por la ecuación de continuidad

$$Q = V A$$

3. Área para secciones circulares

$$A = \frac{(\pi \phi^2)}{4}$$

4. Número de Reynolds

$$NR = \frac{V \phi}{\nu}$$

5. Ecuación de Darcy-Weisbach

$$Hf_{1-2} = f x \frac{L}{\phi} x \frac{V^2}{2g}$$

6. Ecuación para el cálculo del factor de fricción “f” mediante la ecuación de Hagen –Poiseuille

$$f = \frac{64}{N.Reynolds}$$

7. Ecuación para el cálculo del factor de fricción “f” mediante la ecuación de Swamee-Jain

$$f = \frac{0.25}{\left[\text{Log} \left(\frac{Ks}{3.7x\phi} + \frac{5.74}{NR^{0.9}} \right) \right]^2}$$

8. Ecuación para el cálculo del factor de fricción “f” mediante la ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \text{Log} \left[\frac{Ks}{3.7 \phi} + \frac{2.51}{NR \sqrt{f}} \right]$$

9. Ecuación para el cálculo del coeficiente K para ampliación súbita de diámetros mediante la ecuación de Borda-Carnot

$$k_{Ampliacion} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2$$

10. Ecuación para el cálculo de pérdidas de energía en ampliación súbita de diámetros mediante la ecuación de Borda-Carnot

$$H_{Perdidas de Energia} = K_{Ampliacion} \left(\frac{V_1^2}{2g} \right)$$

11. Ecuación para el cálculo del coeficiente K para reducción súbita de diámetros mediante la ecuación de Borda-Carnot

$$k_{Reduccion} = \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right)^2$$

12. Ecuación para el cálculo de pérdidas de energía en reducción súbita de diámetros mediante la ecuación de Borda-Carnot

$$H_{\text{Perdidas de Energia}} = K_{\text{Reduccion}} \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

13. Ecuación para el cálculo de pérdidas de energía causadas por válvulas

$$H_{\text{Perdidas de Energia}} = K_{\text{Valvula de Cortina}} \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

14. Ecuación para el cálculo del tiempo de parada en el golpe de ariete

$$T = C + \frac{KLV}{gH_m}$$

15. Ecuación para el cálculo de la celeridad en el golpe de ariete

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + G \frac{D}{e}}}$$

16. Ecuación para el cálculo de la sobrepresión causada por el golpe de ariete mediante la fórmula de Michaud

$$\Delta H = \frac{2LV}{gT}$$

17. Ecuación para el cálculo de la sobrepresión causada por el golpe de ariete mediante la fórmula de Allievi

$$\Delta H = \frac{aV}{g}$$

18. Ecuación para cálculo del periodo de la tubería para los cálculos del golpe de ariete

$$T = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{L A_{ch}}{g A_c}}$$

19. Ecuación para el cálculo de la sobrepresión máxima en el golpe de ariete

$$h_{max} = \frac{Q}{A_{ch}} \sqrt{\frac{L A_{ch}}{g A_c}} = V_{ch} \sqrt{\frac{Vol_{ch}}{g A_c}}$$

20. Ecuación de Bernoulli

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

21. Ecuación para el cálculo de la carga hidráulica H sobre un orificio en los cálculos para los coeficientes de descarga libre

$$H = \frac{V_2^2}{2g}$$

22. Ecuación para el cálculo de la velocidad teórica mediante la fórmula de Torricelli

$$V_2 = \sqrt{2gH}$$

23. Ecuación para el cálculo de la velocidad real mediante el método de la trayectoria en los cálculos para los coeficientes de descarga libre

$$V_r = \frac{X_0}{\sqrt{\frac{2Y_0}{g}}}$$

24. Ecuación para el cálculo del coeficiente de velocidad Cv

$$C_v = \frac{V_r}{V_t}$$

25. Ecuación para el cálculo del coeficiente de contracción Cc (método 1 si se conoce el valor de las áreas del chorro y del orificio)

$$C_c = \frac{A_{ch}}{A_0}$$

26. Ecuación para el cálculo del coeficiente de contracción Cc (método 2 si no se conoce el valor de las áreas pero sí el de los demás coeficientes)

$$C_c = \frac{C_d}{C_v}$$

27. Ecuación para el cálculo del coeficiente de descarga C_d

$$C_d = \frac{Q_r}{A_0 \sqrt{2gH}}$$

28. Ecuación para el cálculo del caudal Q_r en el orificio

$$Q_r = C_v C_c A_0 \sqrt{2gH}$$

$$Q_r = C_d A_0 \sqrt{2gH}$$

29. Ecuación para el cálculo de la velocidad teórica en la placa de orificio o diafragma

$$V_{2Teorica} = \frac{\sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{C_c A_0}{A_1}\right)^2}}$$

30. Ecuación para el cálculo del caudal real en la placa de orificio o diafragma

$$Q_{real} = C_v A_0 C_c \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma} \frac{1}{1 - \left(\frac{C_c A_0}{A_1}\right)^2}}$$

31. Ecuación para el cálculo de la velocidad en el venturímetro

$$V_2 = \left[\frac{2g \left(\frac{P_1 - P_2}{\gamma_{H2O}} \right)}{\left(1 - \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 \right)} \right]^{1/2}$$

32. Ecuación para el cálculo del caudal en el venturímetro

$$Q = V_2 A_2 = A_2 C_d \left[\frac{2g \left(\frac{P_1 - P_2}{\gamma_{H2O}} \right)}{\left(1 - \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 \right)} \right]^{1/2}$$

33. Ecuación para el cálculo de la pendiente del canal hidráulico

$$\text{Pendiente } S (\%) = \frac{H_1 - H_2}{X} \times 100$$

34. Ecuación para el cálculo del área mojada en un canal de sección rectangular

$$Am = by$$

35. Ecuación para el cálculo de la energía específica en función de la velocidad

$$E_{\text{especifica}} = Y + \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

36. Ecuación para el cálculo de la energía específica en función del caudal Q

$$E_{\text{especifica}} = Y + \left(\frac{Q^2}{2gA^2} \right)$$

37. Ecuación para el cálculo de la energía específica en función del caudal unitario q

$$E_{\text{especifica}} = y + \frac{\alpha q^2}{2gy^2}$$

38. Ecuación para el calculo del caudal unitario q en canales rectangulares

$$q = Q/b$$

39. Ecuación para el cálculo de la profundidad crítica para canales rectangulares

$$Y_{\text{critica}} = \left(\sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \right) = \frac{2}{3} E_c = \frac{V_c^2}{g}$$

40. Ecuación para el cálculo del radio hidráulico R_H

$$RH = \frac{Am}{Pm}$$

41. Ecuaciones para el cálculo de la pérdida de energía específica

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

$$\Delta E = \left[\frac{(Y_2 - Y_1)^3}{4Y_1 X Y_2} \right]$$

42. Ecuación para el cálculo de la eficiencia del resalto hidráulico

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{(8F_1^2 + 1)^{\frac{3}{2}} - 4F_1^2 + 1}{8F_1^2 (2 + F_1^2)}$$

43. Ecuación para el cálculo del número de Froude en el punto 1

$$F_1 = \left[\frac{V_1}{\sqrt{gY_1}} \right]$$

44. Ecuación para el cálculo de la longitud teórica del resalto hidráulico

$$LT = 5(Y_2 - Y_1)$$

45. Ecuación para el cálculo de la velocidad media del flujo con la fórmula de Chezy

$$V_{ch} = C_{CH} (R_H S)^{\frac{1}{2}}$$

46. Ecuación para el cálculo del coeficiente C de Chezy despejado de la ecuación de la velocidad

$$C_{CH} = \frac{V}{\sqrt{(R_H S)}}$$

47. Ecuación para el cálculo del coeficiente C de Chezy mediante las ecuaciones de Ganguillet y Kutter en unidades del sistema inglés

$$C_{ch} = \frac{41.65 + \frac{0.00281}{S} + \frac{1.811}{n}}{1 + \left(41.65 + \frac{0.00281}{S} \right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

48. Ecuación para el cálculo del coeficiente C de Chezy mediante las ecuaciones

de Ganguillet y Kutter en unidades del sistema internacional

$$C_{ch} = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{S}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{S}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

49. Ecuación para el cálculo de la velocidad media del flujo con la ecuación de Manning

$$V = \frac{1}{n} R_H^{2/3} S^{1/2}$$

50. Ecuación para el cálculo del área del orificio o abertura de una compuerta vertical

$$A_0 = (ab)$$

51. Ecuación para el cálculo del área del chorro contraído por el orificio

$$A_{ch} = (b Y_2)$$

52. Ecuación para el cálculo del caudal teórico

$$Q_T = A_0 (2g Y_1)^{1/2}$$

53. Ecuación para el cálculo de la velocidad real

$$V_R = \frac{Q_R}{A_0}$$

54. Ecuación para el cálculo de la velocidad teórica

$$V_T = (2g Y_1)^{1/2}$$

55. Ecuación para el cálculo del coeficiente de velocidad C_v

$$C_v = \frac{V_R}{V_T}$$

56. Ecuación para el cálculo del coeficiente de descarga C_d método 1

$$C_d = \frac{Q_R}{Q_T}$$

57. Ecuación para el cálculo del coeficiente de descarga C_d método 2

$$C_d = \frac{C_c C_v}{\sqrt{1 + \frac{C_c a}{Y_1}}}$$

58. Ecuación para el cálculo del coeficiente de contracción C_c

$$C_c = \frac{A_{ch}}{A_0}$$

59. Ecuación para el cálculo de la distancia desde el plano de la compuerta vertical hasta la sección contraída

$$L = \frac{a}{C_c}$$

60. Ecuación para el cálculo del caudal en el vertedero rectangular

$$Q = 1,84LH^{\frac{3}{2}}$$

61. Ecuación para el cálculo del caudal en el vertedero triangular

$$Q = 1,4H^{2,5}$$

62. Ecuación para el cálculo del caudal en el vertedero circular

$$Q = 1,518D^{0,693}H^{1,807}$$

63. Ecuación para el cálculo del caudal en el vertedero trapezoidal

$$Q = 1,861LH^{1,5}$$

64. Ecuación para el cálculo del caudal mediante una canaleta Parshall

$$Q = KH_a^n$$

INTRODUCCIÓN

Este libro ha sido concebido como texto de consulta para profesores y estudiantes de hidráulica que deben realizar prácticas de laboratorio libres, en las que los grupos pueden operar los equipos y tomar datos conducentes al estudio de fenómenos hidráulicos en sistemas de presión y superficie libre que permiten comprender los conceptos y la teoría aprendida en el aula pero en espacios distintos, como los laboratorios. El área de hidráulica y saneamiento básico de UNIMINUTO no cuenta con ninguna normativa que oriente a estudiantes y profesores sobre cómo operar y tomar los datos en los equipos, a diferencia de los laboratorios de mecánica de suelos y pavimentos, que cuentan con las normas Invías y NTC.

El documento está compuesto por 13 ensayos que se dividen en las dos áreas de hidráulica, de la siguiente manera: siete guías para los ensayos en hidráulica de tuberías y seis en hidráulica de canales. El lector encontrará una sencilla introducción sobre los fenómenos o dispositivos por estudiar, una guía procedimental que explica cómo se deben operar los equipos desarrollados como proyectos de grado de ingenieros civiles egresados del Programa de Ingeniería Civil de UNIMINUTO, las fórmulas y ecuaciones que permitirán realizar los cálculos pertinentes para la explicación y que soportan los conceptos del aula de clases y finalmente, lo orientarán en el desarrollo del ensayo hasta la presentación del informe, ya que también cuenta con una guía procedimental para la entrega de estos documentos con las pautas que el profesor designe.

Además, incluye una lista de las ecuaciones más importantes, glosario de terminología técnica y tablas de consulta de las propiedades de los fluidos más comunes y del agua.

En la Ingeniería Civil se deben tener laboratorios bien dotados que les permitan a los estudiantes y profesores realizar diversas pruebas. Estos sitios son propicios para el entendimiento de la ciencia y la física aplicada a la ingeniería. El principal objetivo es aprender experimentando con la materia.

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE CAUDAL (Q) EN TUBERÍAS Y CANALES

INTRODUCCIÓN

Los métodos que permiten determinar el caudal que circula por un conducto, de presión o en superficie libre, son indirectos porque el caudal (Q) se deduce de la relación que lo liga con las variables que se miden. Se estudiarán los métodos volumétrico y de la ecuación de continuidad.

Método volumétrico:

Se emplea para caudales pequeños y consiste en tomar el tiempo (t) que tarda el agua que circula por el conducto en llenar un recipiente de volumen (v) conocido.

Ecuación de continuidad:

El caudal se define como la velocidad media de las partículas multiplicada por el área transversal del tubo de la corriente. Las unidades en las cuales se expresa el caudal son: metros cúbicos por segundo, en el Sistema Internacional, o en litros por segundo.

$$Q = AV$$

Este método se utiliza aprovechando el principio de la conservación de la masa y considerando que en los líquidos la densidad es prácticamente constante.

1. OBJETIVO GENERAL

- 1.1 Calcular el caudal del flujo de agua que circula por una tubería y un canal mediante el método volumétrico y la ecuación de continuidad.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1 Calcular el caudal del flujo de agua en una tubería mediante el aforo de volúmenes y tiempos que permitan cuantificar el caudal del flujo con los métodos mencionados.
- 2.2 Comparar los resultados obtenidos por los métodos usados y encontrar diferencias que establezcan el uso apropiado de cada uno en las pruebas realizadas en los laboratorios.

3. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

- 3.1 Montaje en acrílico para determinar el número de Reynolds o canal hidráulico
- 3.2 Probetas plásticas de 250, 500 y 1000 mililitros
- 3.3 Cronómetro
- 3.4 Flexómetro de 5 m
- 3.5 Tiempo requerido para la práctica: una hora



Figura 1. Montaje para el estudio del número de Reynolds.

4. PROCEDIMIENTO

Método volumétrico

- 4.1 Encienda la bomba
- 4.2 Regule el caudal por la manipulación de la válvula al final de la tubería

trasparente en el montaje de Reynolds, que alimenta al tanque de acrílico o por la manipulación de la válvula de 4 pulgadas que alimenta el canal hidráulico.

- 4.3 Deje llenar los tanques de agua y mida el volumen en un tiempo determinado.
- 4.4 Repita el procedimiento anterior para todos los caudales que genere por medio de la abertura de la válvula.
- 4.5 Anote los valores en el formato de toma de datos.

Método de ecuación de continuidad

- 4.6 Tome la medida del diámetro interno de la tubería (promedio).
- 4.7 Encienda la bomba y abra la llave o válvula.
- 4.8 Mida la distancia vertical de la salida del flujo al nivel de caída.
- 4.9 Mida la distancia horizontal de la salida del flujo al punto de contacto con el suelo o nivel de choque.
- 4.10 Repita el procedimiento anterior para dos tuberías más.
- 4.11 Anote los valores en el formato de toma de datos.

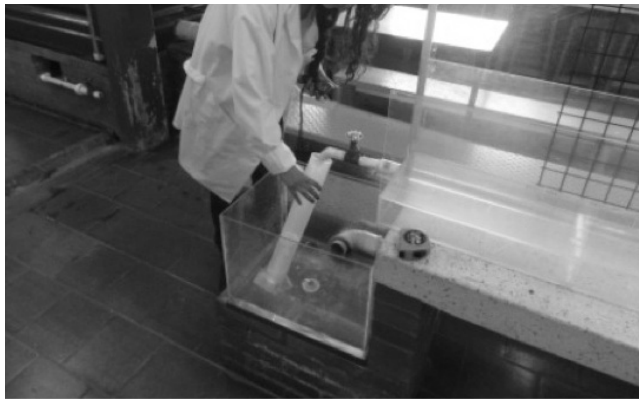


Figura 2. Aforo de volumen para el cálculo de caudal en cada abertura de la válvula.

5. ECUACIONES POR UTILIZAR

A continuación se presentan los modelos matemáticos para determinar el caudal por el método volumétrico y el método de la ecuación de continuidad.

5.1 Cálculo del caudal Q por el método volumétrico:

$$Q = \frac{V}{T}$$

Donde:

- ✓ Q: caudal (m³/s)
- ✓ V: volumen (m³)
- ✓ T: tiempo (s)

5.2 Cálculo del caudal Q por el método de la ecuación de continuidad:

$$Q = V A$$

Donde:

- ✓ Q: caudal (m³/s)
- ✓ V: velocidad (m/s)
- ✓ A: área (m²)

5.3 Cálculo del área de la tubería:

$$A = \frac{(\pi \varnothing^2)}{4}$$

Donde:

- ✓ A: área (m²)
- ✓ Ø: diámetro (m)

5.4 Cálculo del área en un canal abierto de geometría rectangular:

$$Am = by$$

Donde:

- ✓ Am: área mojada en (m²)
- ✓ b: ancho sumergido del canal en (m)
- ✓ y: profundidad del flujo en (m)

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO NÚMERO DE REYNOLDS Y TIPOS DE FLUJO

INTRODUCCIÓN

El número de Reynolds es un parámetro adimensional arduamente usado en mecánica de fluidos e hidráulica de tuberías que permite clasificar los tipos de flujo que suelen presentarse en una tubería circular. El flujo se afecta por características propias del fluido tales como viscosidad, temperatura, densidad y rugosidad en la tubería. El número de Reynolds fluctúa en varios rangos en los que para números menores de 2000 el tipo de flujo se denomina laminar; para números mayores a 4000, turbulento, y para números entre 2000 y 4000, transicional. En este ensayo de laboratorio se espera que los flujos observados en la tubería transparente correspondan al valor del número de Reynolds obtenidos mediante las ecuaciones teóricas.

1. OBJETIVO GENERAL

- 1.1 Estudiar de forma experimental en el laboratorio los tipos de flujo laminar, transicional y turbulento mediante el cálculo del número de Reynolds en una tubería circular.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1 Visualizar los tipos de flujo en una tubería transparente utilizando una tinta que al mezclarse con el agua los describe fácilmente.
- 2.2 Calcular el número de Reynolds correspondiente a cada flujo mediante la toma de datos que permiten corroborar lo observado con la tinta y el valor numérico.
- 2.3 Analizar los parámetros del flujo y características de la conducción que influyen en el número de Reynolds.

VALORES TÍPICOS PARA EL NÚMERO DE REYNOLDS

Para el flujo laminar el número de Reynolds debe estar entre $0 < \leq 2000$; para flujo transicional, entre $2000 < \leq 4000$, para el flujo turbulento debe ser >4000 .

3. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

- 3.1 Montaje en acrílico para determinar el número de Reynolds
- 3.2 Probetas plásticas de 250, 500 y 1000 mililitros
- 3.3 Cronómetro
- 3.4 Termómetro de vidrio
- 3.5 Flexómetro de 5 m
- 3.6 Tiempo requerido para la práctica: dos horas



Figura 3. Montaje para el estudio del número de Reynolds.

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1 Vierta agua en el tanque del montaje encendiendo la bomba centrífuga de 1 hp, de manera que el líquido llegue hasta la altura del rebosadero, que permitirá mantener constante el nivel y evitará que se desborde.



Figura 4. Tanque de rebosadero para mantener carga hidráulica constante.

- 4.2 Regule la válvula de cortina de $\frac{1}{2}$ ubicada en el extremo izquierdo de la tubería, en el tanque de aforos para diferentes caudales, comenzando desde uno bajo hasta un alto. Determine el caudal aforando volúmenes y tiempos para cada abertura.

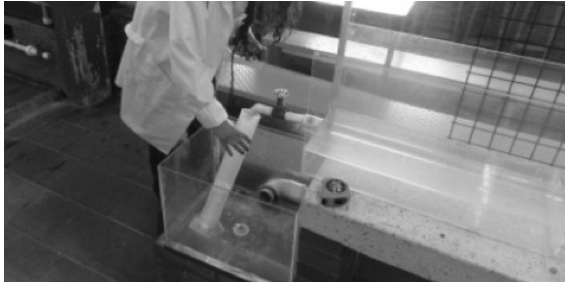


Figura 5. Aforo de volumen para el cálculo de caudal en cada abertura de la válvula.

4.3 En la parte superior del tanque de agua de rebosadero se encuentra el depósito con la tinta que permitirá visualizar los tipos de flujo en la tubería transparente. Deje pasar una pequeña cantidad por la tubería, de manera que al mezclarse con el agua se forme el tipo de flujo. A continuación, describa lo que observó en la hoja de toma de datos.



Figura 6. Inyección de tinta para visualizar tipos de flujo en la tubería transparente.

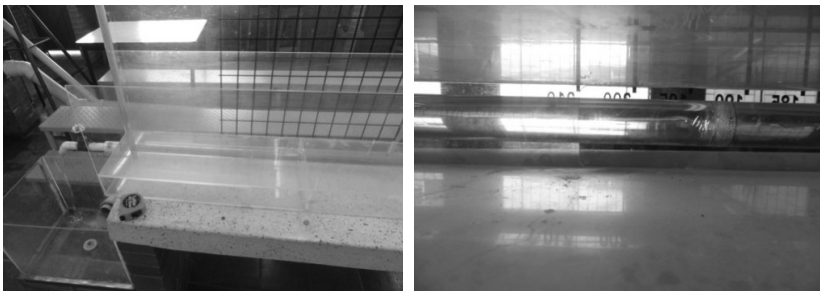


Figura 7. La tinta se mezcla con el agua en la tubería transparente para formar cada flujo.

- 4.4 Tome la temperatura del agua en ese momento, introduciendo el termómetro en el tanque de rebosadero durante un minuto. Con este valor de temperatura se determinará la viscosidad del agua en cualquier tabla o libro fundamental para establecer el número de Reynolds.
- 4.5 Mida la tubería que transporta el agua. Esas dimensiones se requieren para los cálculos posteriores.

5. ECUACIONES POR UTILIZAR

- 5.1 Cálculo del caudal Q por el método volumétrico:

$$Q = \frac{V}{T}$$

Donde:

- ✓ Q : caudal (m^3/s)
- ✓ V : volumen (m^3)
- ✓ T : tiempo (s)

- 5.2 Cálculo del caudal Q por el método de la ecuación de continuidad:

$$Q = V A$$

Donde:

- ✓ Q : caudal (m^3/s)
- ✓ V : velocidad (m/s)
- ✓ A : área (m^2)

- 5.3 Cálculo del área de la tubería:

$$A = \frac{(\pi \emptyset^2)}{4}$$

Donde:

- ✓ A : área (m^2)
- ✓ \emptyset : diámetro (m)

- 5.4 Cálculo de la velocidad mediante la ecuación de continuidad. Despejando la velocidad de la ecuación de continuidad se tiene que:

$$Q = V A$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde:

- ✓ V: velocidad (m/s)
- ✓ Q: caudal (m³/s)
- ✓ A: área (m²)

Esta velocidad corresponde a la que tiene el fluido que transporta por la tubería.

Nota: para calcular la velocidad y posteriormente el número de Reynolds, recuerde que el diámetro interno de la tubería no es el mismo ya que el nominal o estándar son mayores que el real y están definidos por el fabricante.

5.5 Cálculo del número de Reynolds:

$$NR = \frac{V \phi}{\nu}$$

Donde:

- ✓ NR: número de Reynolds (no tiene unidades)
- ✓ V: velocidad (m/s)
- ✓ Ø: diámetro interno (m)
- ✓ ν : viscosidad cinemática del fluido (m²/s)

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA CAUSADAS POR FRICCIÓN EN TUBERÍA

INTRODUCCIÓN

Un fluido en una tubería o conducto cerrado a presión experimenta una pérdida de energía causada por la fricción con las paredes del conducto, las cuales pueden ser altas si la rugosidad del material lo es. Dicha pérdida hará que la presión del fluido en un tramo del conducto disminuya de forma considerable para el fin de un sistema de transporte de fluidos. En este ensayo se estudian las pérdidas causadas en tubería PVC y galvanizada mediante el uso de la ecuación de Darcy-Weisbach y de los métodos usados para calcular el factor de fricción “ f ” de Swame-Jain. Al finalizar, el estudiante deberá comparar los valores de pérdidas obtenidas mediante la ecuación teórica y la caída de presión en los transmisores instalados en el equipo, entre los dos materiales anteriormente descritos.

1. OBJETIVO GENERAL

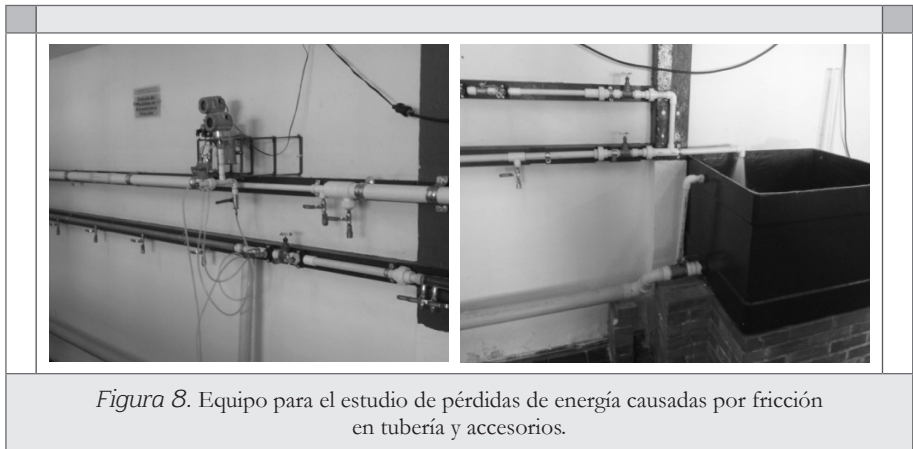
- 1.1 Determinar en el laboratorio las pérdidas de energía causadas por fricción en tubería de PVC y galvanizada mediante la ecuación de Darcy-Weisbach.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1 Determinar las pérdidas de energía causadas por la fricción del flujo en un tramo de tubería galvanizada y otro de PVC de una pulgada de diámetro nominal.
- 2.2 Comparar los resultados obtenidos entre las pérdidas de energía causadas por los dos materiales para establecer las diferencias y usos de cada uno en la conducción de agua.

3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS

- 3.1 Banco de pruebas para determinar pérdidas por fricción en tuberías y accesorios
- 3.2 Cronómetro
- 3.3 Flexómetro de 5 m
- 3.4 Tiempo requerido para el desarrollo de la práctica: 2 horas



4. PROCEDIMIENTO

- 4.1 Verifique que las válvulas 1 y 3 que forman parte de la línea superior estén completamente cerradas.



Figura 9. Válvula 1 línea superior.

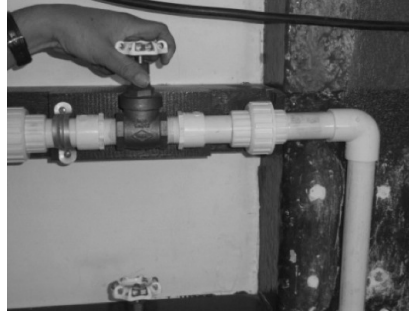


Figura 10. Válvula 3 línea superior.

4.2 Verifique que la válvula 2 en la línea inferior esté completamente abierta.



Figura 11. Válvula 2 línea inferior.

4.3 Regule un caudal bajo con la válvula 4 en la línea inferior cercana al tanque de aforos.

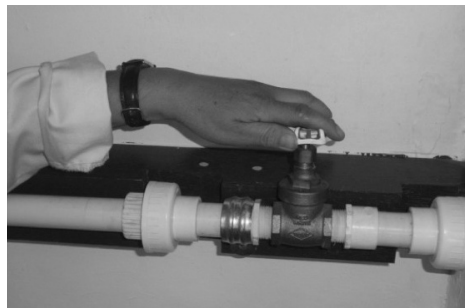
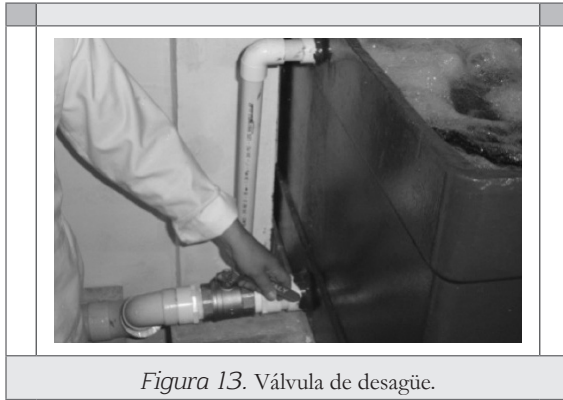
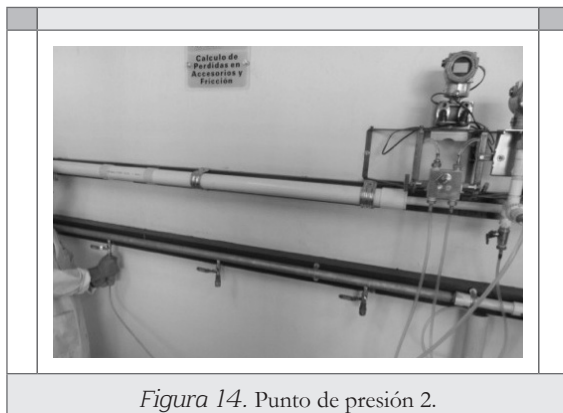


Figura 12. Válvula 4 línea inferior.

- 4.4 Verifique que la válvula de desagüe en el tanque de aforos esté completamente abierta.



- 4.5 Solicite al auxiliar el encendido de la bomba centrífuga y espere a que el agua llene completamente la instalación.
- 4.6 Solicite al auxiliar el encendido del transmisor de presión manométrico y espere a que la lectura sea 0.00 PSI. En caso contrario, reste el valor de presión a la obtenida después de conectar la sonda del transmisor.
- 4.7 Acople la sonda del transmisor manométrico al acople rápido en el punto 1 de la tubería galvanizada.



- 4.8 Abra la válvula del punto 1 y espere a que el agua fluya por la sonda hacia el transmisor. Abra la válvula inferior al transmisor y deje pasar agua por un minuto, lo que se conoce como purga del sistema. Luego cierre la válvula de purga y espere a que el transmisor mida la presión, la cual se podrá visualizar en la pantalla del equipo.

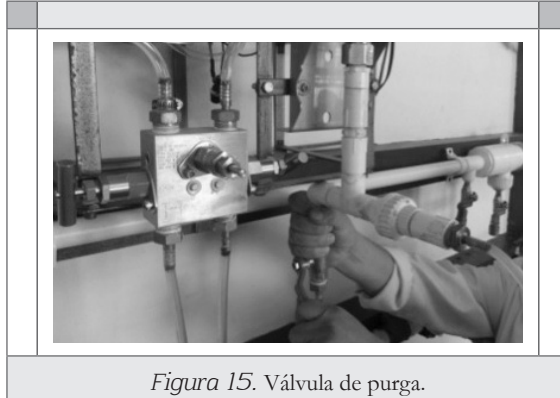


Figura 15. Válvula de purga.

- 4.9 Hecha la medición en el punto uno, cierre la válvula y realice el mismo procedimiento para el siguiente.
- 4.10 Al finalizar la medición en todos los puntos, afore el caudal de flujo en el tanque de aforos.



Figura 16. Piezómetro para medición de niveles.

- 4.11 Aumente el caudal en la válvula 4 y repita el procedimiento anterior para las demás aberturas y en la tubería PVC.
- 4.12 Tome la temperatura del agua. Este dato se requiere en los cálculos posteriores.
- 4.13 Realice un plano con todas las dimensiones de la instalación, el cual le servirá para cálculos posteriores.

Nota importante: las mediciones de presión que se hacen con los transmisores corresponden a las pérdidas de presión que se presentan de manera experimental en el laboratorio. Estas se deben comparar con los datos de pérdida obtenidos por los métodos descritos por la teoría.

5. ECUACIONES POR UTILIZAR

5.1 Cálculo del caudal Q por el método volumétrico:

$$Q = \frac{V}{T}$$

- ✓ Donde:
- ✓ Q : caudal (m^3/s)
- ✓ V : volumen (m^3)
- ✓ T : tiempo (s)

5.2 Cálculo del caudal Q por el método de la ecuación de continuidad:

$$Q = VA$$

- ✓ Donde:
- ✓ Q : caudal (m^3/s)
- ✓ V : velocidad (m/s)
- ✓ A : área (m^2)

5.3 Cálculo del área de la tubería

$$A = \frac{(\pi\varnothing^2)}{4}$$

- ✓ Donde:
- ✓ A : área (m^2)
- ✓ \varnothing : diámetro (m)
- ✓ π : constante

5.4 Cálculo de la velocidad mediante la ecuación de continuidad:

$$Q = VA$$

Al despejar de la ecuación de continuidad la velocidad, se obtiene la siguiente expresión:

$$V = \frac{Q}{A}$$

- ✓ Donde:
- ✓ V: velocidad (m/s)
- ✓ Q: caudal (m³/s)
- ✓ A: área (m²)

Esta velocidad corresponde a la que tiene el fluido que se transporta por la tubería.

5.5 Cálculo de pérdidas de fricción en tuberías mediante la ecuación de Darcy-Weisbach

Las pérdidas por fricción primarias causadas por el fluido que circula por la tubería se pueden determinar mediante la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$Hf_{1-2} = f x \frac{L}{\varnothing} x \frac{V^2}{2g}$$

- ✓ Donde:
- ✓ Hf_{1-2} : pérdidas por fricción entre 1 y 2 m
- ✓ f: coeficiente de Darcy - Weisbach
- ✓ L: longitud de la tubería entre los dos puntos de estudio (m)
- ✓ \varnothing : diámetro interno de la tubería (m)
- ✓ V: velocidad media de flujo (m/s)
- ✓ g: aceleración de la gravedad (m/s²)

Para determinar las pérdidas mediante la ecuación de Darcy-Weisbach se requiere conocer un factor de fricción “f”. A continuación se presentan varios métodos para cálculo:

5.6 Para el cálculo del factor de fricción “f” en rango de flujo laminar se debe usar la ecuación de Hagen-Poiseuille.

$$f = \frac{64}{N. Reynolds}$$

5.7 Para el cálculo del factor de fricción “f” en rango de flujo turbulento se debe usar la ecuación de Swamee-Jain.

$$f = \frac{0.25}{\left[\text{Log} \left(\frac{Ks}{3.7x\varnothing} + \frac{5.74}{NR^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Donde:

- ✓ f: coeficiente de Darcy – Weisbach
- ✓ ϕ : diámetro interno de la tubería (m)
- ✓ NR: número de Reynolds
- ✓ Ks: rugosidad absoluta que depende del tipo de material de la tubería (mm)

Para el cálculo del factor de fricción mediante las ecuaciones de Swamee-Jain y de Colebrook-White se requiere conocer el valor de la rugosidad absoluta del material de la tubería. A continuación se presenta una tabla de las rugosidades absolutas dependiendo del material.

Tabla 1. Rugosidad Absoluta de Materiales

MATERIAL	RUGOSIDAD Ks (mm)	MATERIAL	RUGOSIDAD Ks (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06 - 0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12 - 0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03 - 0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03 - 0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06 - 0,24
Fundición centrífuga	0,003	Hormigón	0,3 - 3,0

Fuente: adaptado de Hidráulica de tubería, Saldarriaga, J.G. Alfaomega Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia (2007)

5.8 Cálculo del coeficiente “f” mediante la ecuación de Colebrook-White

Para hallar el factor de fricción mediante esta ecuación se deben asignar valores numéricos a “f” a los dos lados de la igualdad hasta que se cumpla, es decir, que el valor asignado haga que los de los lados izquierdo y derecho sean iguales. Cuando eso suceda, el valor de “f” asignado será el final para el factor de fricción.


$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \text{Log} \left[\frac{Ks}{3.7 \phi} + \frac{2.51}{NR \sqrt{f}} \right]$$

Donde:

- ✓ f: coeficiente a dimensional de Darcy-Weisbach
- ✓ Ks: rugosidad absoluta que depende del material (mm)

- ✓ Ø: diámetro interno de la tubería (m)
- ✓ NR: número de Reynolds

Una vez calculado el factor de fricción por los diversos métodos, se remplace en la ecuación de Darcy-Weisbach junto con los valores de las demás variables y se procede a comparar los resultados obtenidos teóricamente con los obtenidos de manera experimental.

 <p>UNIMINUTO Corporación Universitaria Minuto de Dios Educación de calidad al alcance de todos</p>	<p>CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS-FACULTAD DE INGENIERÍA-PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL-LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE TUBERÍAS-ENSAYO DE PERDIDAS DE ENERGÍA EN TUBERÍA PVC Y GALVANIZADA</p>	<p>UMD-IC-HT-V1 FEBRERO DE 2014 Hoja 1 de 1</p>
---	---	--

FECHA DE REALIZACIÓN: _____

Tubería: _____																	
Ab. Vál Reg. Caudal	T1 (s)	Vol 1 (m ³)	T2 (s)	Vol 2 (m ³)	T P (s)	Vol P (m ³)	Caudal Q (m ³ /s)	P1 PSI	P2 PSI	P3 PSI	P4 PSI	Velocidad (m/s)	Número de Reynolds	ΔP1-P2 PSI	ΔP1-P3 PSI	ΔP1-P4 PSI	Perdida Experimental en (m)
1.0																	
2.0																	
3.0																	
4.0																	

INTEGRANTES DEL GRUPO	OBSERVACIONES

Formato 2. Toma de datos en laboratorio para el ensayo de pérdidas de energía causadas por fricción en tubería PVC y galvanizada. Fuente: elaboración propia. Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, Bogotá, Colombia (2014)

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN AMPLIACIÓN-REDUCCIÓN DE DIÁMETROS Y VÁLVULAS

INTRODUCCIÓN

A demás de las pérdidas de energía causadas por la fricción del flujo en la tubería, que se conocen como primarias, existen también las pérdidas de energía secundarias o locales, que se generan por los accesorios que se presentan y son parte indispensable en una conducción, tales como codos, té y válvulas. El flujo del fluido presenta perturbaciones constantes en los cambios de dirección, diámetro y por las aberturas de válvulas usadas para permitir el paso por la conducción. Estas pérdidas también se conocen como menores porque suelen despreciarse cuando en una tubería de grandes longitudes las que se dan por la fricción son mucho mayores en comparación con las causadas por accesorios, pero en tuberías cortas se tienen muy en cuenta y más si la cantidad de accesorios es importante. En este ensayo el estudiante deberá determinar las pérdidas de energía causadas por los accesorios instalados en el equipo mediante ecuaciones teóricas y posteriormente compararlas con las pérdidas de energía representadas por los cambios de presión registrados entre cada accesorio y medidos por los transmisores.

1. OBJETIVO GENERAL

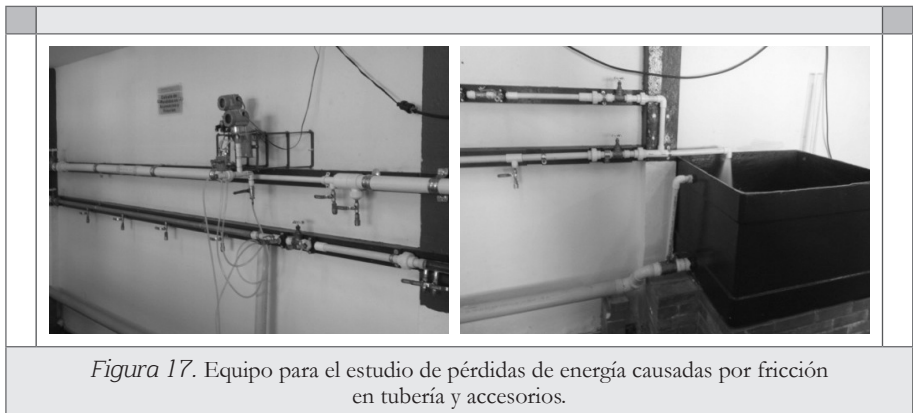
- 1.1 Experimentar en el laboratorio las pérdidas de energía causadas por accesorios en la conducción tales como ampliación y reducción de diámetros, válvula de cortina de 1" y de bola de $\frac{3}{4}$ ".

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1 Determinar las pérdidas de energía causadas por la ampliación y reducción súbita del diámetro en una tubería.
- 2.2 Establecer las pérdidas de energía causadas por una válvula de cortina de una pulgada.
- 2.3 Definir las pérdidas de energía causadas por una válvula de bola de $\frac{3}{4}$ de pulgada.
- 2.4 Comparar las pérdidas de energía obtenidas mediante la formulación teórica con los datos obtenidos por transmisores de presión instalados en la tubería.

3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS

- 3.1 Banco de pruebas para determinar pérdidas de presión
- 3.2 Cronómetro
- 3.3 Flexómetro de 5 m
- 3.4 Tiempo requerido para realizar la práctica: 2 horas



4. PROCEDIMIENTO

- 4.1 Verifique que las válvulas 2 y 4 estén cerradas durante la práctica.

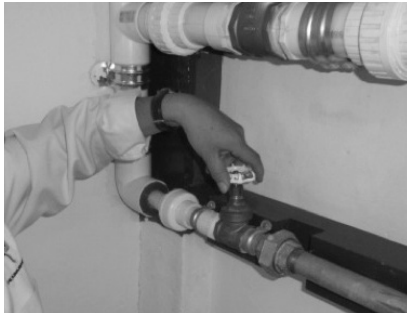


Figura 18. Válvula 2 línea inferior.

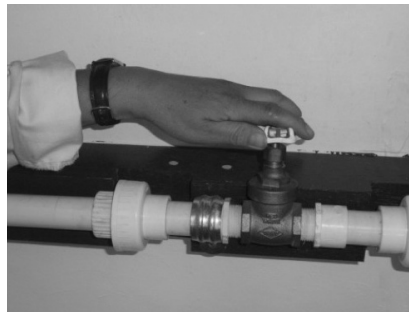


Figura 19. Válvula 4 línea inferior.

4.2 Verifique que la válvula 1 este completamente abierta.



Figura 20. Válvula 1 línea superior.

4.3 Regule un caudal bajo, medio o alto con la válvula 3.

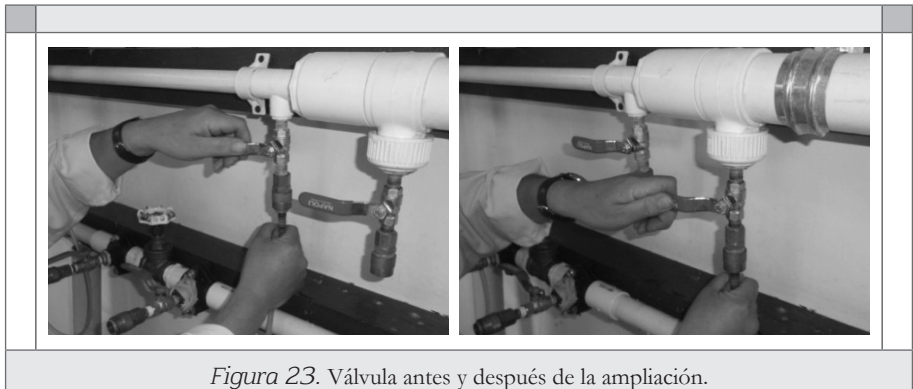


Figura 21. Válvula 3 línea superior.

- 4.4 Verifique que la válvula de desagüe en el tanque de aforos esté completamente abierta.

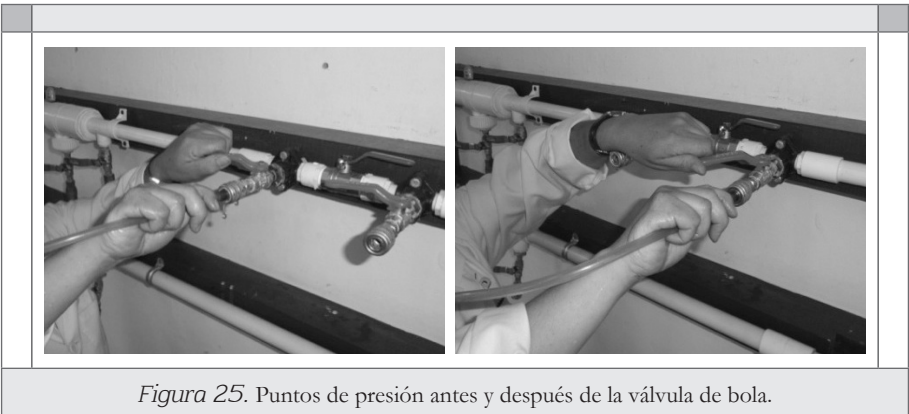
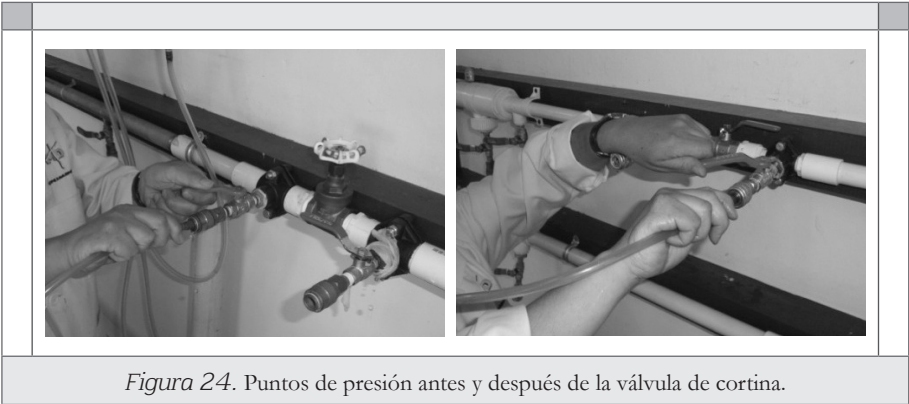


- 4.5 Solicite al auxiliar de laboratorio que encienda la bomba.
- 4.6 Solicite al auxiliar el encendido de los transmisores de presión, espere a que la lectura en ellos sea 0.0 PSI.
- 4.7 Ubique la ampliación y reducción de diámetros; conecte la sonda del transmisor manométrico en la tubería antes de la ampliación; abra la llave de la válvula en ese punto y deje que fluya agua hacia el transmisor. Abra la válvula de purga que se encuentra bajo el equipo y déjela abierta durante 30 segundos de manera que el aire salga y ciérrela nuevamente.



- 4.8 Espere a que el equipo registre la presión en la pantalla y anótelas en el formato.
- 4.9 Cierre la válvula y cambie la sonda a la ampliación abrupta de diámetro. Repita este mismo procedimiento para la siguiente ampliación y luego para

la reducción; de igual manera para las válvulas de cortina y de bola, teniendo en cuenta las válvulas que deben estar abiertas o cerradas.



4.10 Mida el caudal del flujo en el tanque de aforos.



- 4.11 Cambie la abertura de la válvula 3 y repita el procedimiento para un segundo caudal.
- 4.12 Realice un esquema de todo el montaje, el cual le servirá para los cálculos posteriores.

5. ECUACIONES POR UTILIZAR

- 5.1 Cálculo del caudal Q por el método volumétrico:

$$Q = \frac{V}{T}$$

Donde:

- ✓ Q: caudal (m³/s)
- ✓ V: volumen (m³)
- ✓ T: tiempo (s)

- 5.2 Cálculo del caudal Q por el método de la ecuación de continuidad:

$$Q = V A$$

Donde:

- ✓ Q: caudal (m³/s)
- ✓ V: velocidad (m/s)
- ✓ A: área (m²)

- 5.3 Cálculo del área de la tubería:

$$A = \frac{(\pi \emptyset^2)}{4}$$

Donde:

- ✓ A: área (m²)
- ✓ Ø: diámetro (m)

- 5.4 Cálculo de la velocidad mediante la ecuación de continuidad.
Despejando la velocidad de la ecuación de continuidad se tiene que:

$$Q = V A$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde:

- ✓ V: velocidad (m/s)
- ✓ Q: caudal (m³/s)
- ✓ A: área (m²)

5.5 Cálculo del coeficiente K cuando ocurre una ampliación brusca de diámetro mediante la ecuación de Borda-Carnot.

Para las pérdidas por ampliación de diámetros se ha obtenido teóricamente que el coeficiente de pérdida ($K_{Ampliación}$) se logra con la siguiente expresión:

$$K_{Ampliación} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$$

Donde

- ✓ K ampliación: coeficiente de pérdidas por ampliación de diámetros
- ✓ A_1 : área de la tubería antes de la ampliación (m²)
- ✓ A_2 : área de la tubería después de la ampliación (m²)

5.6 Cálculo de las pérdidas de energía causadas por ampliación brusca o súbita de diámetros.

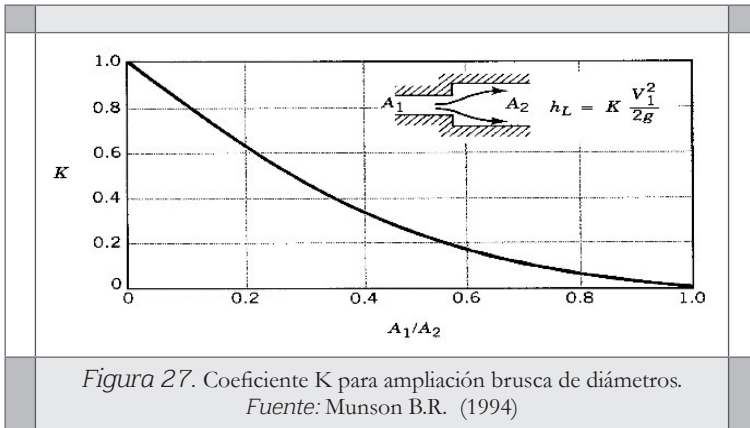
Una vez calculado el coeficiente K de la ampliación se reemplaza en la siguiente ecuación para determinar la pérdida de carga.

$$H_{Pérdidas de Energía} = K_{Ampliación} \left(\frac{V_1^2}{2g}\right)$$

Donde

- ✓ $H_{Pérdidas de carga}$: pérdida de energía causada en la ampliación (m)
- ✓ $K_{ampliación}$: valor del coeficiente K es adimensional
- ✓ V_1 : velocidad antes de la ampliación (m/s)
- ✓ g: aceleración de la gravedad (m/s²)

5.7 Otra manera de determinar el coeficiente K cuando ocurre una ampliación brusca de diámetro se ilustra en la siguiente gráfica:



De la relación entre las áreas A_1 y A_2 se obtendrá un resultado con el cual se ingresa en la gráfica y se determina el valor del coeficiente K para establecer las pérdidas causadas por la ampliación brusca de diámetros.

5.8 Cálculo del coeficiente K cuando ocurre una reducción brusca de diámetro mediante la ecuación de Borda-Carnot.

$$k_{Reduccion} = \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)^2$$

Donde

- ✓ $R_{reduccion}$: coeficiente de pérdidas por ampliación de diámetros
- ✓ A_1 : área de la tubería antes de la reducción (m^2)
- ✓ A_2 : área de la tubería después de la reducción (m^2)

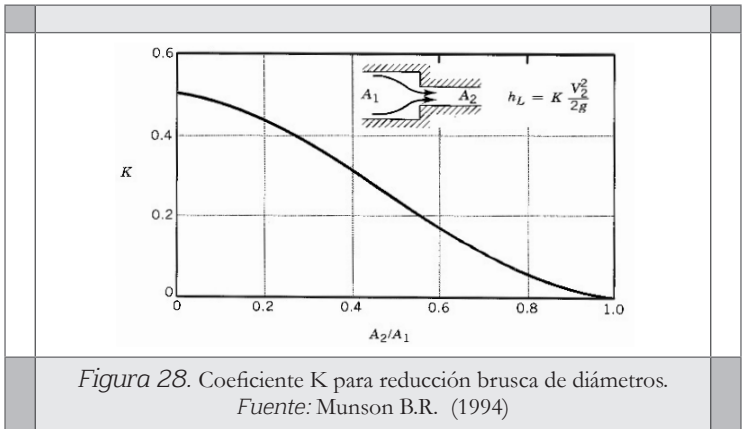
5.9 Cálculo de las pérdidas causadas por una reducción brusca de diámetro

$$H_{Pérdidas de Energía} = K_{Reduccion} \left(\frac{V_2^2}{2g}\right)$$

Donde

- ✓ $H_{Pérdidas de carga}$: pérdida de energía causada en la reducción (m)
- ✓ $K_{reduccion}$: valor del coeficiente K es adimensional
- ✓ V_2 : velocidad después de la reducción (m/s)
- ✓ g : aceleración de la gravedad (m/s^2)

5.10 Otra manera de determinar el coeficiente K cuando ocurre una reducción brusca de diámetro se ilustra en la siguiente gráfica



5.11 El valor de K para las válvulas se encuentra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Valores del Coeficiente K para accesorios y válvulas.

ACCESORIO	VALOR "K"
Válvula de globo completamente abierta	10.0
Válvula de ángulo completamente abierta	5.0
Válvula de cheque completamente abierta	2.5
Válvula compuerta completamente abierta	0.2
Válvula de compuerta en ¾ de apertura	1.0 -1.15
Válvula de compuerta en ½ de apertura	5.6
Válvula de compuerta en ¼ de apertura	24.0

Fuente: adaptado de Hidráulica de tubería, Saldarriaga J.G. Alfaomega Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia (2007).

5.12 Cálculo de las pérdidas de energía causadas por válvula de cortina o de globo.

$$H_{\text{Pérdidas de Energía}} = K_{\text{válvula de Cortina}} \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Donde


- ✓ $H_{\text{Pérdidas de carga}}$: pérdida de energía causada por la válvula de cortina (m)
- ✓ $K_{\text{válvula}}$: valor del coeficiente K para la válvula según la apertura
- ✓ V: velocidad del flujo (m/s)
- ✓ g: aceleración de la gravedad (m/s²)

$$H_{\text{Pérdidas de Energía}} = K_{\text{Valvula de Globo}} \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Donde

- ✓ $H_{\text{Pérdidas de carga}}$: pérdida de energía causada por la válvula de cortina (m)
- ✓ $K_{\text{válvula}}$: valor del coeficiente K para la válvula según la abertura
- ✓ V: velocidad del flujo (m/s)
- ✓ g: aceleración de la gravedad (m/s^2)

Nota: recuerde que las pérdidas de carga que resultan de la formulación teórica se deben comparar con las que se obtienen en el laboratorio mediante los transmisores de presión. A partir de esta comparación se hace el análisis y se saca la conclusión de resultados objeto de las pruebas realizadas en este informe.

 UNIMINUTO Corporación Universitaria Minuto de Dios Educación de calidad al alcance de todos	CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS-FACULTAD DE INGENIERÍA-PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL-LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE TUBERÍAS-ENSAYO PERDIDAS DE ENERGÍA EN AMPLIACIÓN-REDUCCIÓN DE DIAMETROS Y VÁLVULAS	UMD-IC-HT-V1 FEBRERO DE 2014 Hoja 1 de 1

FECHA DE REALIZACIÓN: _____

Ab. Vál Reg. Caudal	T1 (s)	Vol 1 (m ³)	T2 (s)	Vol 2 (m ³)	T P (s)	Vol P (m ³)	Caudal Q (m ³ /s)	Accesorio:				Velocidad (m/s)	P1-P2 PSI	ΔP3-P4 PSI	ΔP1-P4 PSI	Valor de K Accesorio	Pérdida Experimental en (m)
								P1 PSI	P2 PSI	P3 PSI	P4 PSI						
1.0																	
2.0																	
3.0																	
4.0																	

INTEGRANTES DEL GRUPO	OBSERVACIONES

Formato 3. Toma de datos en laboratorio para el ensayo de pérdidas de energía en ampliación-reducción de diámetros y válvulas. *Fuente:* elaboración propia. Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, Bogotá, Colombia (2014)

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE COEFICIENTES DE DESCARGA LIBRE

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista hidráulico, los orificios son perforaciones absolutamente regulares y de perímetro cerrado, colocado por debajo de la superficie libre del líquido en depósitos o almacenamientos, tanques o canales. Se clasifica de acuerdo con las condiciones de trabajo, es decir, descargando libremente, ahogados parcialmente o sumergidos o a presión en el interior de una tubería. De la misma manera, la clasificación puede realizarse de acuerdo con su forma circular, cuadrada, rectangular o triangular.

Según el espesor, pueden ser de pared delgada o gruesa. A la corriente líquida que sale del recipiente se le llama vena líquida o chorro. Si el contacto de la vena líquida con la pared tiene lugar en una línea estaremos en presencia de un orificio en pared delgada. Si el contacto es en una superficie se tratará de un orificio en pared gruesa.

Al estudiar un orificio se deben tener en cuenta los coeficientes denominados de descarga libre: C_d coeficiente de descarga, C_v coeficiente de velocidad y C_c coeficiente de contracción.

1. OBJETIVO GENERAL

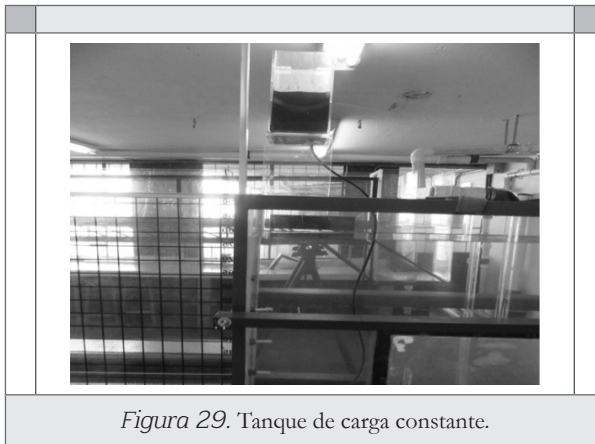
- 1.1 Determinar experimentalmente en el laboratorio los coeficientes de velocidad C_v , coeficiente de descarga C_d y coeficiente de contracción C_c utilizados en hidráulica para corregir el caudal que puede circular por un orificio en un tanque con carga constante.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1 Determinar el coeficiente de velocidad C_v
- 2.2 Determinar el coeficiente de descarga C_d
- 2.3 Determinar el coeficiente de contracción C_c

3. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

- 3.1 Montaje en acrílico para determinar los orificios de descarga libre
- 3.2 Probetas plásticas 500 y 1000 mililitros
- 3.3 Cronómetros
- 3.4 Termómetro de vidrio
- 3.5 Flexómetro de 5 m
- 3.6 Tiempo requerido para el desarrollo de la práctica: 2 horas



4. PROCEDIMIENTO

- 4.1 Llene el tanque de acrílico con agua. Ponga a funcionar la bomba centrífuga y revise que el nivel del agua se mantenga a un centímetro por encima del rebosadero.

- 4.2 Primero se quita el tapón de uno de los orificios en el cual se hará la toma de datos. Los orificios son de cuatro formas: cuadrado, triangular, rectangular y circular. Para cada uno de ellos se hace el mismo procedimiento que se explica a continuación.



- 4.3 Al quitar el tapón de uno de los orificios saldrá un chorro de agua que dibujará una trayectoria parabólica hasta llegar al fondo del canal en el mismo montaje en que se realiza el ensayo del número de Reynolds.
- 4.4 Para este chorro de agua se dibujarán en el tablero acrílico, con marcador borrable de cualquier color, cinco puntos distribuidos en toda la trayectoria parabólica.



- 4.5 Con los puntos dibujados en el tablero acrílico se mide la distancia en X y la altura en Y. Es decir, las coordenadas que sitúan en el espacio bidimensional los puntos.



Figura 32. Medición coordenada en X.



Figura 33. Medición coordenada en Y.

- 4.6 Para el chorro de agua correspondiente a cada orificio se determinará el caudal. Con este objetivo se harán dos mediciones de volumen y tiempo que al final se promediarán para tener un solo valor corregido.



Figura 34. Aforo del caudal real para cada chorro.

- 4.7 Para el cálculo de la carga H, por cada uno de los orificios se medirá la altura desde el falso fondo en el canal del montaje hasta el centro de gravedad de cada orificio. Posteriormente se mide la altura del nivel del agua en el tanque de carga constante, la diferencia entre las dos alturas determinará la carga o cabeza hidráulica con la que el chorro saldrá impulsado por el orificio.

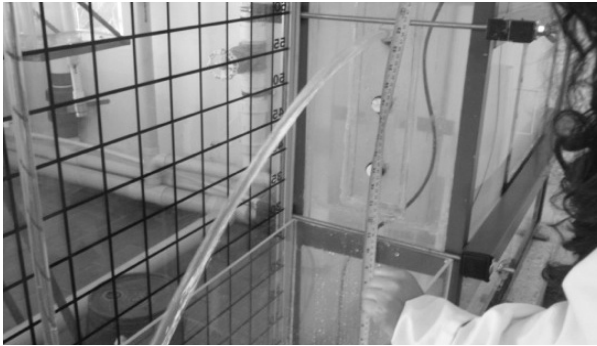


Figura 35. Medición carga hidráulica "H" para cada orificio.

- 4.8 Para hacer los cálculos en la casa se debe anotar el volumen del tanque desde el centro de gravedad del orificio hasta el nivel del agua.
- 4.9 Realizar un esquema con las dimensiones de todo el montaje y los orificios, lo cual servirá para los cálculos posteriores.

5. ECUACIONES POR UTILIZAR

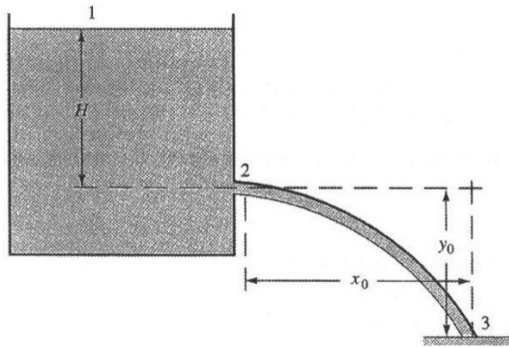


Figura 36. Orificio practicado en un tanque de carga constante
Fuente: Mecánica de los fluidos, Streeter V. L. 9ª.
Edición McGraw Hill (1999)

La cabeza H sobre el orificio se mide desde el centro de éste hasta la superficie libre. Se supone que la cabeza se mantiene constante porque existe una entrada de agua igual a la salida en el chorro. La ecuación de Bernoulli, tomando como punto 1 la superficie libre y 2 en el centro de la vena, contracta en la salida del

chorro, con la presión atmosférica en ambos puntos y el punto 2 como el plano de referencia. Si se desprecian las pérdidas se tiene que:

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

$$H = \frac{V_2^2}{2g}$$

5.1 Cálculo de la carga hidráulica H sobre el orificio: la carga hidráulica sobre el orificio se puede determinar mediante la siguiente expresión obtenida de simplificar la ecuación de Bernoulli:

$$H = \frac{V_2^2}{2g}$$

Donde:

- ✓ H: carga hidráulica sobre el orificio (m)
- ✓ V_2 : velocidad en el chorro (m/s)
- ✓ g: gravedad (m/s²)

5.2 Cálculo de la velocidad teórica mediante la ecuación de Torricelli. Si se despeja la velocidad en 2 de la ecuación de Bernoulli, se tiene que:

$$V_2 = \sqrt{2gH}$$

Que se conoce como ecuación de Torricelli y es también la velocidad teórica.

5.3 Cálculo de la velocidad real mediante el método de la trayectoria:

Este método se usa en el laboratorio para determinar la velocidad midiendo la posición de un punto en la trayectoria de un chorro libre, aguas abajo de la vena contracta. Se puede determinar la velocidad real V_r si se desprecia la resistencia del aire. La componente X de la velocidad no cambia, por consiguiente $V_r t = X_0$, donde t es el tiempo que se requiere para que una partícula viaje desde un punto en la vena contracta hasta un punto 3. El tiempo para que una partícula caiga una distancia Y_0 por acción de la gravedad cuando no tiene velocidad inicial en esa dirección, se expresa mediante $Y_0 = gt^2/2$. Después de eliminar t de las dos relaciones se tiene:

$$V_r = \frac{X_0}{\sqrt{\frac{2Y_0}{g}}}$$

Donde:

- ✓ V_r : velocidad real (m/s)
- ✓ X_0 : coordenada en X para un punto en el chorro (m)
- ✓ Y_0 : coordenada en Y para un punto en el chorro (m)
- ✓ g : gravedad (m/s²)

Determinada la velocidad real, se calcula la velocidad teórica y la relación entre estos dos valores da como resultado el valor del coeficiente de velocidad C_v , así:

$$C_v = \frac{V_r}{V_t}$$

Donde:

- ✓ C_v : coeficiente adimensional de velocidad
- ✓ V_r : es la velocidad en el chorro que sale por el orificio (m/s)
- ✓ V_t : velocidad teórica (m/s)

5.4 Cálculo del coeficiente de contracción C_c si se conoce el A_{ch} y A_0 :

El caudal real Q_r del orificio es producto de la velocidad real en la vena contracta y el área del chorro. La relación entre el área del chorro A_{ch} en la vena contracta con respecto al área del orificio en A_0 se denomina coeficiente de contracción C_c , es decir:

$$C_c = \frac{A_{ch}}{A_0}$$

Donde:

- ✓ C_c : coeficiente adimensional de contracción
- ✓ A_{ch} : es el área de la vena contracta (m²)
- ✓ A_0 : área del orificio (m²)

Como el cálculo del área contracta de la vena líquida en el chorro no es fácil y sí lo es el área del orificio, es necesario usar otras expresiones para hallar el valor del coeficiente de contracción. En el numeral 5.8 *cálculo del coeficiente de descarga* una vez hallado $C_d = C_c C_v$ se puede despejar C_c como se demuestra en la siguiente expresión:

$$C_c = \frac{C_d}{C_v}$$

5.5 Cálculo del caudal real Q_r :

El caudal que fluye por el orificio se puede afectar por irregularidades propias del orificio. Por esto es necesario determinarlo mediante los coeficientes. A continuación se presenta la fórmula que hace posible el cálculo. Este caudal será el real corregido:

$$Q_r = C_v C_c A_0 \sqrt{2gH}$$

Se acostumbra a combinar los dos coeficientes $C_v C_c$ con otro coeficiente que se denomina coeficiente de descarga y es igual a $C_d = C_v C_c$

$$Q_r = C_d A_0 \sqrt{2gH}$$

Donde:

- ✓ Q_r : caudal real en el orificio (m^3/s)
- ✓ C_d : coeficiente de descarga
- ✓ A_0 : área del orificio (m^2)
- ✓ H : carga hidráulica sobre el orificio (m)
- ✓ g : gravedad (m/s^2)

5.6 Cálculo del coeficiente de descarga: el coeficiente de descarga se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$Q_r = C_d A_0 \sqrt{2gH}$$

Se despeja de esta ecuación el coeficiente de descarga C_d , el cual queda así:

$$C_d = \frac{Q_r}{A_0 \sqrt{2gH}}$$

Donde:

- ✓ C_d : coeficiente de descarga
- ✓ Q_r : caudal real en el orificio (m^3/s)
- ✓ A_0 : área del orificio (m^2)
- ✓ H : carga hidráulica sobre el orificio (m)
- ✓ g : gravedad (m/s^2)

5.7 Cálculo del coeficiente de contracción C_c si se conocen los demás coeficientes. Conociendo el coeficiente de velocidad C_v y de descarga C_d se puede conocer el coeficiente de contracción C_c de la siguiente manera:

Como $C_d = C_v C_c$ se tiene que:

$$C_c = \frac{C_d}{C_v}$$

Donde:

- ✓ C_c : coeficiente adimensional de contracción
- ✓ C_d : coeficiente adimensional de descarga
- ✓ C_v : coeficiente adimensional de velocidad

 UNIMINUTO Corporación Universitaria Minuto de Dios Educación de calidad al alcance de todos	CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS-FACULTAD DE INGENIERÍA- PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL-LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE TUBERÍAS- ENSAYO DE COEFICIENTES DE DESCARGA LIBRE
--	---

ORIFICIO	PUNTO	Vol 1 (ml)	T 1 (s)	Vol 2 (ml)	T 2 (s)	Vol P (ml)	T P (s)	Q (L/s)	Q (m³/s)	H Total (cm)	H. C. (cm)	Carga H (cm)	X _i (cm)	Y _i (cm)	Y (cm)	V media (m/s)	Número de Reynolds
CIRCULAR Ø=5 mm	1																
	2																
	3																
	4																
	5																
CUADRADO L1=5, L2=5 (mm)	1																
	2																
	3																
	4																
	5																
RECTANGULAR L1=4, L2=3 (mm)	1																
	2																
	3																
	4																
	5																
TRIANGULAR B=7, L1=8, L2=8 (mm)	1																
	2																
	3																
	4																
	5																

INTEGRANTES DEL GRUPO	OBSERVACIONES

Formato 4. Toma de datos en laboratorio para el ensayo de coeficientes de descarga libre.
 Fuente: elaboración propia. Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, Bogotá, Colombia (2014)

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE AFORADORES DE CAUDAL EN TUBERÍAS A PRESIÓN

INTRODUCCIÓN

El caudal en la sección de una tubería se puede medir indirectamente con dispositivos de aforo en el sitio donde se desea conocer. Los más usados son los venturímetros, toberas o diafragma, también llamada placa de orificio, que se adaptan generalmente a tuberías de medianas y grandes dimensiones en las que es necesario llevar un control de los caudales, como en el caso de redes de abastecimiento de agua. En tuberías en las que se permita una gran pérdida de energía para efectuar el aforo se puede utilizar una placa de orificio para estrangular la sección. Este consiste en una placa a la que se le hace un orificio de área A_0 y se inserta dentro de la tubería en la sección deseada. La modificación en las velocidades ocasiona un cambio de presión antes y después de la placa cuyo valor determina el caudal. La función básica de un venturímetro consiste en producir un estrangulamiento en la sección transversal de la tubería, el cual modifica las presiones. Con la medición de ese cambio es posible determinar el caudal que circula por la sección. El estrangulamiento es muy brusco pero la ampliación hasta la sección original es gradual. En este ensayo el estudiante deberá cuantificar el caudal que fluye por la tubería usando los dispositivos de aforo mencionados y de las ecuaciones teóricas y comparar los resultados obtenidos con la forma típica de determinar el caudal en el laboratorio, que es por el método volumétrico.

1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar experimentalmente en el laboratorio el funcionamiento de una placa de orificio y el venturímetro como dispositivos para aforo de caudal en tuberías a presión.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1 Determinar el caudal que fluye por la tubería mediante el uso de una placa de orificio y un venturímetro y compararlo con el hallado mediante el método volumétrico y así determinar las diferencias entre los dos.
- 2.2 Comparar los resultados obtenidos mediante los dos dispositivos y el método volumétrico para establecer las ventajas y desventajas de los mismos en el cálculo del caudal en una tubería a presión.

3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS

- 3.1 Banco de pruebas para determinar pérdidas de energía en tuberías
- 3.2 Cronómetro
- 3.3 Flexómetro de 5 m
- 3.4 Tiempo requerido para el desarrollo de la práctica: 2 horas

4. PROCEDIMIENTO PARA TOMA DE DATOS EN LA PLACA DE ORIFICIO

- 4.1 La placa de orificio se encuentra en la línea superior del banco de pruebas para el estudio de pérdidas de energía en tuberías.

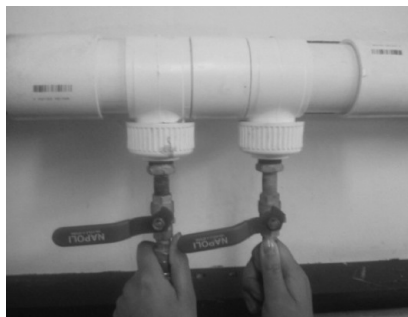


Figura 37. Ubicación de la placa de orificio en la línea superior.

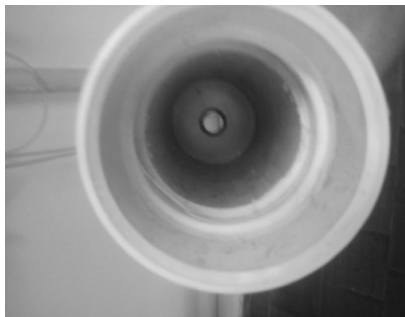


Figura 38. Vista de la placa de orificio al interior de la tubería.

4.2 Verifique que las válvulas 2 y 4 estén completamente cerradas.



Figura 39. Válvula 2 línea inferior.

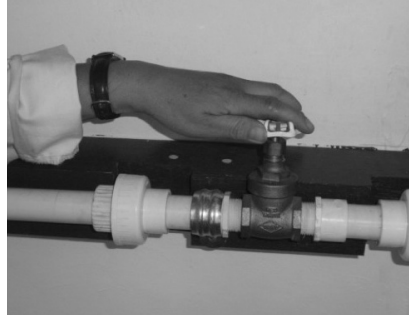


Figura 40. Válvula 4 línea inferior.

4.3 Verifique que la válvula 1 esté completamente abierta.



Figura 41. Válvula 1 línea superior.

4.4 Regule un caudal bajo, medio o alto con la válvula 3.

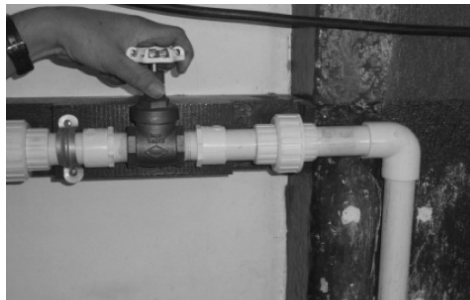


Figura 42. Válvula 3 línea superior.

- 4.5 Verifique que la válvula de desagüe en el tanque de aforos esté completamente abierta.

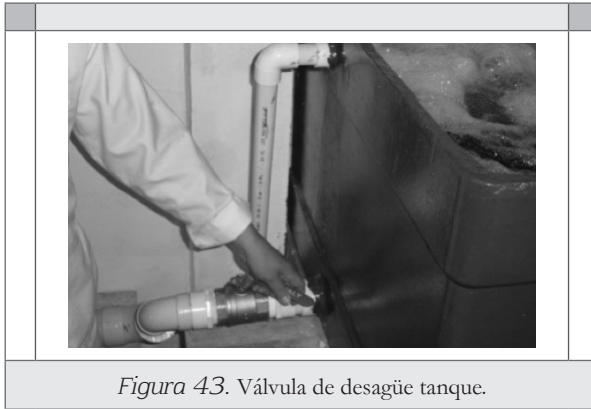


Figura 43. Válvula de desagüe tanque.

- 4.6 Solicite al auxiliar de laboratorio que encienda la bomba.
- 4.7 Solicite al auxiliar que encienda los transmisores de presión. Espere a que la lectura en ellos sea 0.0 PSI.
- 4.8 Conecte las sondas del transmisor diferencial antes y después de la placa de orificio. Abra las llaves de las válvulas en cada punto. Deje que fluya agua hacia el transmisor, abra la válvula de purga que se encuentra bajo el equipo y déjela abierta durante 30 segundos de manera que el aire salga del mismo y ciérrela nuevamente.

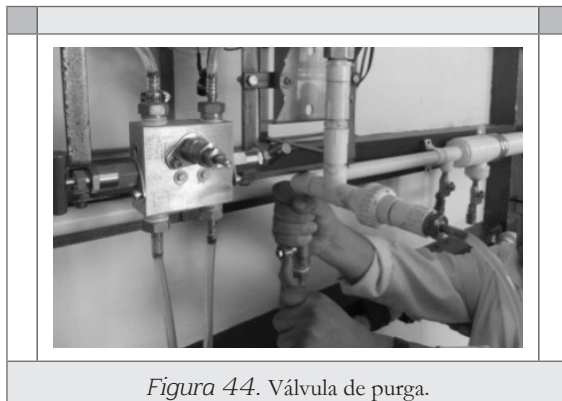


Figura 44. Válvula de purga.

- 4.9 Espere a que el equipo registre la diferencia de presión en la pantalla y anótela en el formato.
- 4.10 Mida el caudal del flujo en el tanque de aforos.

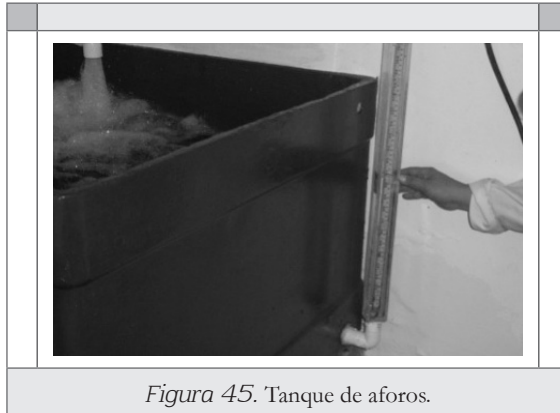


Figura 45. Tanque de aforos.

- 4.11 Cambie la abertura de la válvula 3 y repita el procedimiento para un segundo caudal.
- 4.12 Realice un esquema de todo el montaje. Este le servirá para los cálculos posteriores.

5. ECUACIONES POR UTILIZAR EN LA PLACA DE ORIFICIO

5.1 Cálculo de la velocidad teórica en la sección 2.

Tomando como base la ecuación de continuidad y de Bernoulli para dos secciones antes y después de la contracción y de realizar algunas simplificaciones sencillas, se tiene que la velocidad teórica se halla mediante la siguiente expresión:

$$V_{2Teorica} = \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma \left[1 - \left(\frac{C_c A_0}{A_1} \right)^2 \right]}}$$

Donde:

- ✓ V: velocidad (m/s)
- ✓ p : presión (kN/m²)
- ✓ p_1 : presión (kN/m²)
- ✓ p_2 : presión (kN/m²)
- ✓ γ : peso específico (kN/m³)
- ✓ A_0 : área en la contracción de la vena líquida de agua dentro de la placa del orificio (m²)
- ✓ A_1 : área de la tubería antes del orificio (m²)
- ✓ C_c : coeficiente adimensional de contracción

5.2 Cálculo del caudal real

En la ecuación anterior se expresa la velocidad en la sección 2, en función del área del orificio A_0 , y un coeficiente de contracción C_c . Debido a que, en general, en estos dispositivos se produce una contracción de la vena líquida cuya área no se puede medir directamente. Para obtener una expresión de la velocidad real se debe multiplicar la velocidad teórica por un coeficiente denominado C_v . Finalmente, al multiplicar por el área de la sección contraída expresada en función del área del orificio $A_0 C_c$ se obtiene una expresión para el caudal real:

$$Q_{real} = C_v A_0 C_c \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma} \frac{1}{1 - \left(\frac{C_c A_0}{A_1}\right)^2}}$$

Donde:

- ✓ Q_{real} : caudal (m^3/s)
- ✓ C_c : coeficiente de contracción
- ✓ C_v : coeficiente de velocidad
- ✓ A_0 : área del orificio (m^2)
- ✓ A_1 : área en la sección 1 (m^2)
- ✓ p_1 : presión (kN/m^2)
- ✓ p_2 : presión (kN/m^2)
- ✓ γ : peso específico (kN/m^3)
- ✓ g : gravedad (m/s^2)

En la ecuación anterior, el producto de $C_v C_c$ se conoce como coeficiente de descarga. Para tener una expresión más sencilla, debido a la complejidad en el cálculo de los coeficientes, se tiene la siguiente ecuación:

$$Q_{real} = C_d A_0 \sqrt{2g \left(\frac{P_1 - P_2}{\gamma} \right)}$$

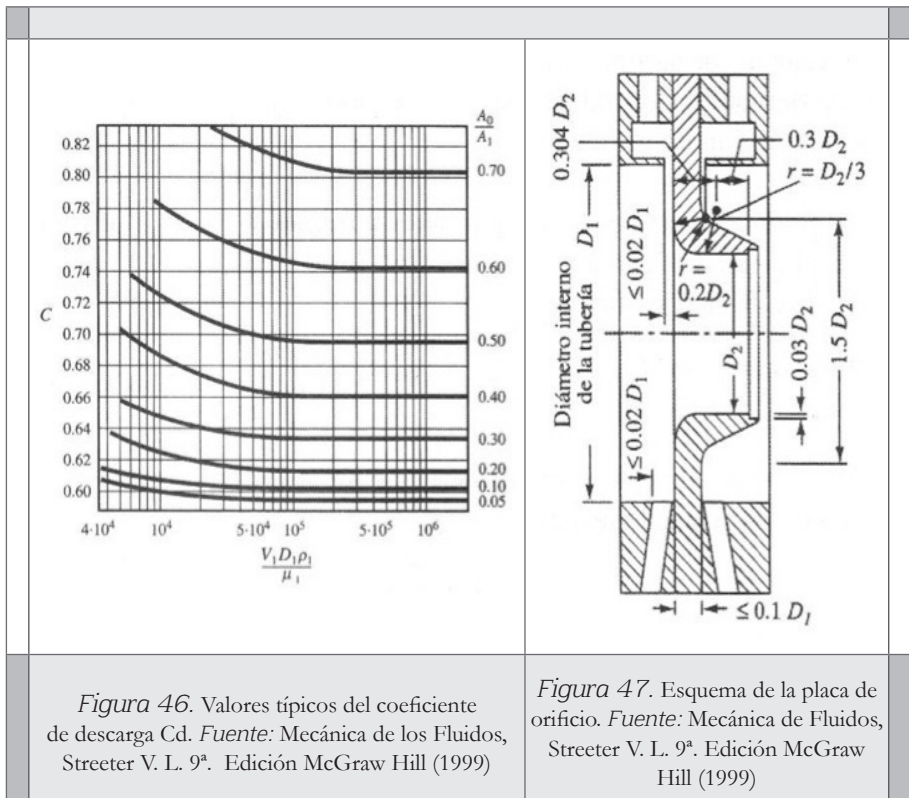
Donde:

- ✓ Q_{real} : caudal (m^3/s)
- ✓ C_d : coeficiente de descarga
- ✓ A_0 : área del orificio (m^2)
- ✓ p_1 (kN/m^2)

- ✓ P_1 (kN/m²)
- ✓ γ : peso específico (kN/m³)
- ✓ g : gravedad (m/s²)

El coeficiente C_d depende del número de Reynolds que incluye el efecto de la viscosidad, la forma del orificio y la rugosidad de las paredes. En el caso de un diafragma particular, su forma elimina las contracciones y por esto el coeficiente de descarga puede tomar como valor la unidad 1.

A continuación se presenta una gráfica que permite determinar el valor del coeficiente C_d en función del número de Reynolds y la relación de A_2/A_1



Nota: las dimensiones de la placa de orificio o diafragma instalado en la tubería de los laboratorios de Ingeniería Civil de UNIMINUTO son:

- Diámetro 1 = 5.08 cm
- Diámetro 2 = 1.90 cm

6. PROCEDIMIENTO PARA TOMA DE DATOS EN EL VENTURÍMETRO

- 6.1 Repita el procedimiento descrito en los numerales comprendidos entre 4.2 y 4.7 en las mediciones para la placa de orificio. Tenga en cuenta que el venturímetro se encuentra instalado en la línea inferior, contrario a la placa de orificio que se halla en la línea superior. Por esto debe cerrar y abrir las válvulas, de manera que el flujo circule sin problemas por el venturi.
- 6.2 Solicite al auxiliar que encienda los transmisores de presión y espere a que la lectura en ellos sea 0.0 PSI.

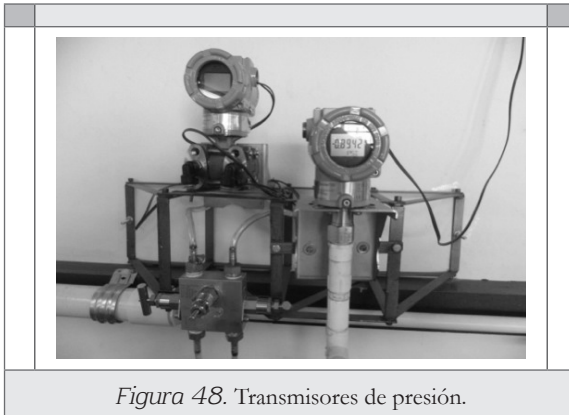


Figura 48. Transmisores de presión.

- 6.3 Conecte la sonda del transmisor manométrico en el acople 1, antes de la garganta del venturi. Abra la llave de la válvula en ese punto, deje que fluya agua hacia el transmisor, abra la válvula de purga que se encuentra bajo el equipo y déjela abierta durante 30 segundos de manera que el aire salga del mismo y ciérrela nuevamente.

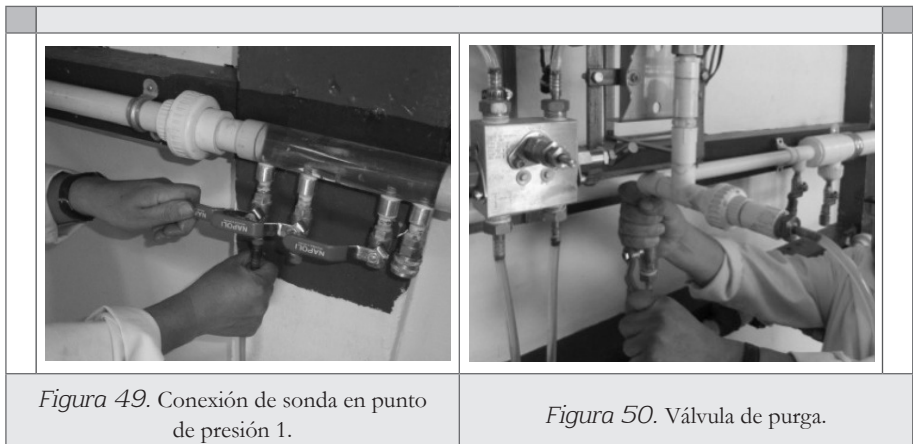
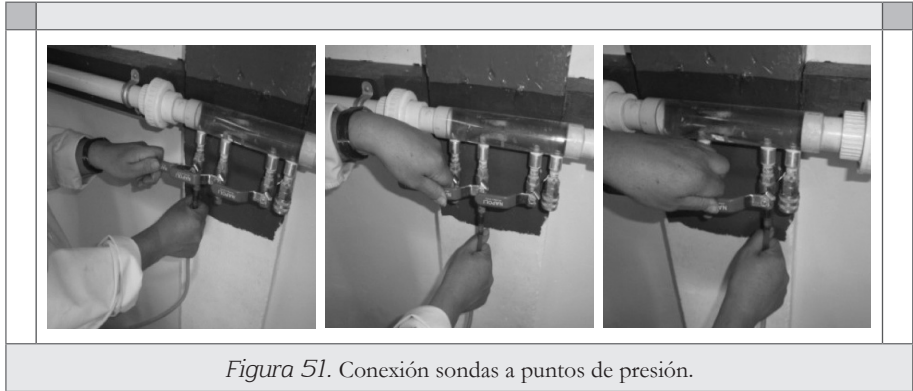


Figura 49. Conexión de sonda en punto de presión 1.



Figura 50. Válvula de purga.

- 6.4 Espere a que el transmisor registre la presión en ese punto y anótelas en el formato.
- 6.5 Cierre la válvula en el punto 1 y acople la sonda del transmisor en el punto 2 justo en la garganta del venturi y repita el procedimiento anterior.
- 6.6 Cierre la válvula en el punto 2 y acople la sonda del transmisor en el punto 3, en la salida del venturi.



- 6.7 Mida el caudal del flujo en el tanque de aforos.



- 6.8 Cambie la abertura de la válvula 3 y repita el procedimiento para un segundo caudal.
- 6.9 Realice un esquema de todo el montaje. Le servirá para los cálculos posteriores.

7. ECUACIONES POR UTILIZAR EN EL VENTURÍMETRO

7.1 Cálculo de la velocidad y el caudal

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g \left(\frac{P_1 - P_2}{\gamma_{H2O}} \right)}{\left(1 - \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 \right)}}$$


Donde:

- ✓ V_2 : velocidad (m/s)
- ✓ p : presión (kN/m²)
- ✓ P_1 : presión (kN/m²)
- ✓ P_2 : presión (kN/m²)
- ✓ γ : peso específico (kN/m³)
- ✓ d_2 : diámetro en la garganta (m)
- ✓ d_1 : diámetro en la entrada al venturi (m)
- ✓ g : gravedad (m/s²)

$$Q = V_2 A_2 = A_2 C_d \sqrt{\frac{2g \left(\frac{P_1 - P_2}{\gamma_{H2O}} \right)}{\left(1 - \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 \right)}}$$

Donde:

- ✓ Q : caudal (m³/s)
- ✓ C_d : coeficiente de descarga
- ✓ A_2 : área de la sección en la contracción producida por la garganta o estrangulamiento (m²)
- ✓ V_2 : velocidad (m/s)
- ✓ p : presión (kN/m²)
- ✓ P_1 : presión (kN/m²)
- ✓ P_2 : presión (kN/m²)
- ✓ γ_{H2O} : (kN/m³)
- ✓ D_2 : diámetro en la garganta (m)
- ✓ D_1 : diámetro en la entrada al venturi (m)
- ✓ g : gravedad (m/s²)

 UNIMINUTO Corporación Universitaria Minuto de Dios Educación de calidad al alcance de todos	CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS-FACULTAD DE INGENIERÍA-PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL-LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE TUBERÍAS-ENSAYO DE AFORADORES DE CAUDAL EN TUBERIAS A PRESIÓN	UMD-IC-HT-V1 FEBRERO DE 2014 Hoja 1 de 1
--	---	--

FECHA DE REALIZACIÓN: _____

Ab. Vál Reg. Caudal	T1 (s)	Vol 1 (m ³)	T2 (s)	Vol 2 (m ³)	T P (s)	Vol P (m ³)	Caudal Q (m ³ /s)	Aforador: _____				Velocidad (m/s)	Caudal Teórico (m ³ /s)	Velocidad Teórica en (m/s)
								P1 PSI	P2 PSI	P3 PSI	P4 PSI			
1.0														
2.0														
3.0														
4.0														

INTEGRANTES DEL GRUPO	OBSERVACIONES

Formato 5. Toma de datos en laboratorio para el ensayo de aforadores de caudal en tuberías a presión. *Fuente:* elaboración propia. Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, Bogotá, Colombia (2014)

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE EN ALMENARAS Y VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN

INTRODUCCIÓN

El golpe de ariete es un fenómeno de la hidráulica de tuberías a presión que se produce cuando el flujo de agua que circula por una tubería experimenta un aumento en la presión o sobrepresión debido al cierre brusco e inmediato de una válvula de control instalada en algún tramo de la tubería. Las partículas de fluido que transitan son empujadas por las que vienen atrás y están en movimiento. Esta sobrepresión se desplaza por todo el conducto a velocidades mayores que las del sonido. La sobrepresión generada hace que la tubería se dilate o expanda mientras trata de disiparse hasta disminuir poco a poco en el conducto. Cuando esto sucede la tubería regresa a su estado inicial y es entonces cuando se produce la rotura en la conducción. El golpe de ariete también puede dañar las válvulas de control ya que el primer choque de la masa de agua justo cuando se cierra el paso se presenta contra los accesorios más cercanos. En este ensayo el estudiante deberá cuantificar el golpe de ariete generado por el cierre brusco de dos válvulas en tubería de $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de pulgada en el equipo de almenaras y en la válvula reductora de presión instalados en el laboratorio.

1. OBJETIVO GENERAL

- 1.1 Cuantificar de forma experimental en el laboratorio y según condiciones dadas el golpe de ariete mediante el uso de almenaras y de una válvula reductora de presión.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1 Cuantificar el golpe de ariete causado por el cierre brusco de válvulas en tubería de $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de pulgada en el equipo de almenaras.
- 2.2 Cuantificar el golpe de ariete mediante el uso de una válvula reductora de presión.

3. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

- 3.1 Equipo de almenaras y válvula reductora de presión
- 3.2 Cronómetro
- 3.3 Flexómetro de 5 m
- 3.4 Marcadores borrables de colores
- 3.5 Tiempo requerido para la práctica: 2 horas



Figura 53. Montaje para el estudio de golpe de ariete en almenaras.

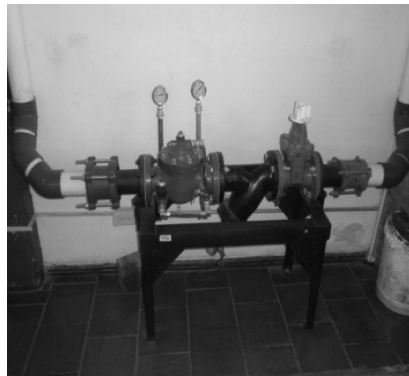


Figura 54. Montaje para el estudio de golpe de ariete en una válvula reductora de presión.

4. PROCEDIMIENTO PARA TOMA DE DATOS EN ALMENARAS

- 4.1 En el tanque de almacenamiento de agua regule un nivel, bien sea para 30 o 40 cm de altura, cerrando alguna de las válvulas inferiores. Estas alturas serán las cargas hidráulicas que se usarán para cuantificar el golpe de ariete para tubería de $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de pulgada.



Figura 55. Tanque de carga hidráulica.



Figura 56. Válvula de desagüe.

- 4.2 Regule la válvula de cortina que se encuentra cerca al tanque de aforos en alguna de las tuberías a tres aberturas (alta, media y baja); cierre la válvula de bola que está a la salida de la tubería en el tanque de aforos.



Figura 57. Tanque para aforos de caudal.

- 4.3 Marque el nivel del agua en cada almenara cuando no haya flujo saliendo por la válvula.



Figura 58. Nivel de agua en almenara.

- 4.4 Abra la válvula de bola y espere a que el flujo se estabilice dentro de la tubería. Los demás integrantes del grupo deben fijar su mirada en cada almenara para marcar el nivel hasta donde llegue el agua. Cierre la válvula de bola bruscamente, de manera que el flujo se interrumpa. En ese momento se producirá la sobrepresión como producto del golpe de ariete que se transmitirá regresando por la conducción hasta encontrar cada almenara y disipando su energía en cada una.



Figura 59. Cierre rápido de la válvula para generar golpe de ariete.

- 4.5 Anote los datos de los niveles inicial y final en las almenaras, el volumen y el tiempo en el tanque de aforos para calcular el caudal. Después cambie la abertura de la válvula de cortina a una siguiente y repita el procedimiento anterior.

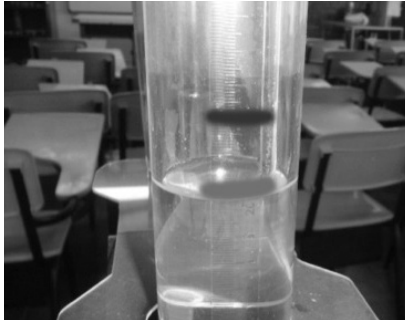


Figura 60. Niveles inicial y final después del cierre brusco de la válvula.

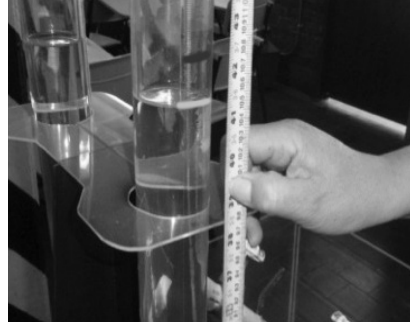


Figura 61. Medición de la diferencia de niveles en almenaras.

4.6 Cuando haya terminado de tomar datos para una carga hidráulica de 30 cm para la tubería de $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de pulgada, repita el procedimiento para una carga de 40 cm.

5. PROCEDIMIENTO PARA TOMA DE DATOS EN LA VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN

5.1 Regule una abertura, sea alta, media o baja en la válvula de alguna de las tuberías que llegan al tanque de aforos. Las demás deben estar cerradas.

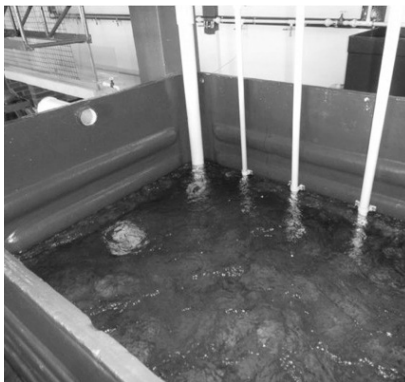


Figura 62. Tanque de aforos.



Figura 63. Válvula de 3".

5.2 Solicite al auxiliar de laboratorio que encienda la bomba y espere a que toda la conducción se llene completamente de agua para purgar el sistema y evacuar el aire que queda atrapado en la tubería y en la reductora. Abra la

válvula de palanca que se encuentra en la parte inferior del sistema y deje salir agua por unos segundos de manera que el aire salga sin problemas.

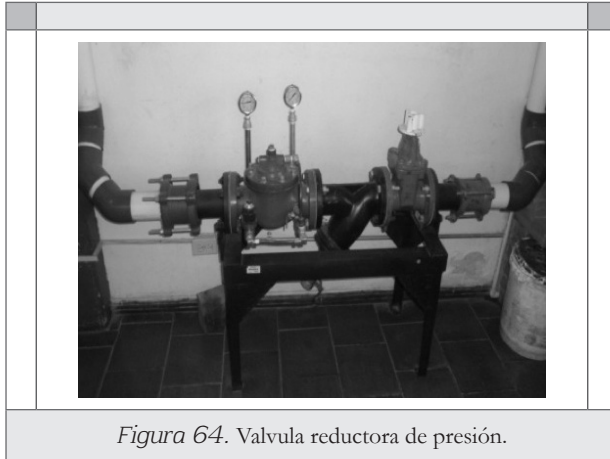


Figura 64. Válvula reductora de presión.

5.3 Regule la presión del agua en la salida de la reductora graduando el tornillo de bronce que se encuentra en la tubería de cobre, cerca al manómetro de la entrada. Esta graduación hará que el diafragma interno de la reductora abra o cierre y así disminuya o aumente la presión según la necesidad de operación.



Figura 65. Manómetros de presión.

5.4 Tome nota de las presiones en los manómetros de entrada y salida de la reductora. Para producir el golpe de ariete cierre bruscamente la válvula de palanca que se encuentra al lado del manómetro de salida, el flujo será bloqueado y la presión del agua en el manómetro de la entrada aumentará

abruptamente. Anote el primer pico de presión y abra nuevamente la válvula para evitar daños en el sistema.

- 5.5 Afore el caudal del flujo en el tanque de aforos para dos lecturas de tiempo y repita el procedimiento anterior para otra abertura en la misma tubería y después tres aberturas para las demás.



- 5.6 Realice un esquema con medidas de todo el montaje. Las necesitará en los cálculos posteriores.

6. ECUACIONES POR UTILIZAR PARA EL CÁLCULO DEL GOLPE DE ARIETE EN ALMENARAS Y VALVULA REDUCTORA DE PRESIÓN

- 6.1 Tiempo de parada: el valor del tiempo de parada influye en el golpe de ariete de modo que a menor tiempo, mayor golpe. Se debe no solo al cierre de las válvulas, sino también a la parada del motor que acciona la bomba de la conducción. Por siguiente, siempre habrá necesidad de cuantificarlo.

El valor del tiempo de parada se determina mediante la siguiente ecuación empírica, para la cual las unidades se expresan en segundos:

$$T = C + \frac{KLV}{gH_m}$$

Donde:

- ✓ T: tiempo de parada (s)
- ✓ C: coeficiente según la pendiente de la conducción

- ✓ K: valor que depende de la longitud de la conducción
- ✓ L: longitud real de la conducción (m)
- ✓ V: velocidad del agua en la conducción (m/s)
- ✓ Hm: altura manométrica (m)
- ✓ g: gravedad (m/s²)

La longitud “L” corresponde a la de la conducción desde la toma de agua hasta el tanque de aforos.

A continuación se presenta una tabla con diferentes valores de “C”, según la pendiente de la conducción.

Tabla 3. Valores de C según la pendiente de la Tubería

PENDIENTE DE LA TUBERÍA	VALOR C
40 %	0
33 %	0,5
20 % ≤	1

Fuente: Diseño, instalación y puesta en marcha de los equipos golpe de ariete con almenaras, viscosidad y línea de energía para el laboratorio de ensayos hidráulicos. Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, sede Carlos Eduardo Acosta. Bogotá, Colombia. Valores de “C” según la pendiente de la tubería.

A continuación se presenta una tabla con diferentes valores de “K” según la longitud de la conducción:

Tabla 4. Valores de K según la longitud de la conducción.

LONGITUD DE LA CONDUCCIÓN	VALOR K
500 m ≤	1,75
Entre 500 m y 1500 m	1,50
≥ 1500 m	1,25
2000 m	1,0

Fuente: Diseño, instalación y puesta en marcha de los equipos golpe de ariete con almenaras, viscosidad y línea de energía para el laboratorio de ensayos hidráulicos. Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, sede Carlos Eduardo Acosta, Bogotá, Colombia (2008)

6.2 Cálculo de la celeridad de propagación de la onda:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + G \frac{D}{e}}}$$

Donde:

- ✓ a: celeridad (m/s)
- ✓ G: coeficiente que depende del material de la tubería
- ✓ D: diámetro interior de la tubería (mm)
- ✓ e: espesor de la tubería (mm)

Siendo E el coeficiente de elasticidad del material en kg/cm², a continuación se presentan los valores más usuales para diferentes materiales:

<i>Tabla 5. Valores de G según el material de la conducción</i>	
MATERIAL DE LA CONDUCCIÓN	VALOR G
Acero	0,5
Fundición	1,0
Hormigón armado	5,0
Fibrocemento	5,5
PVC	33,33
PE (baja densidad)	500
PE (alta densidad)	111,11

Fuente: Diseño, instalación y puesta en marcha de los equipos golpe de ariete con almenaras, viscosidad y línea de energía para el laboratorio de ensayos hidráulicos. Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, sede Carlos Eduardo Acosta, Bogotá, Colombia (2008)

6.3 Cálculo de la longitud crítica:

$$Lc = \frac{aT}{2}$$

Donde:

- ✓ Lc: longitud crítica (m)
- ✓ a: celeridad (m/s)
- ✓ T: tiempo de parada (s)

Si la longitud real de la conducción $L < Lc$ se tratará de una impulsión corta que corresponderá con un cierre lento, calculándose el golpe de ariete mediante la fórmula de Michaud.

Si la longitud real de la conducción $L > Lc$ se tratará de una impulsión larga que corresponderá a un cierre rápido, calculándose el golpe de ariete mediante la fórmula de Allievi.

Si la longitud real $L = L_c$ el golpe de ariete se podrá calcular por la ecuación de Michaud o Allievi.

6.4 Cálculo de la sobrepresión del golpe de ariete mediante la fórmula de Michaud:

$$\Delta H = \frac{2LV}{gT}$$

Donde:

- ✓ ΔH : sobrepresión causada por el golpe de ariete (mca)
- ✓ L : longitud real de la conducción (m)
- ✓ T : tiempo de parada (s)
- ✓ V : velocidad del agua en la conducción (m/s)
- ✓ g : gravedad (m/s^2)

6.5 Cálculo de la sobrepresión del golpe de ariete mediante la fórmula de Allievi:

$$\Delta H = \frac{aV}{g}$$

Donde:

- ✓ ΔH : sobrepresión causada por el golpe de ariete (mca)
- ✓ a : celeridad (m/s)
- ✓ V : velocidad del agua en la conducción en (m/s)
- ✓ g : gravedad (m/s^2)

6.6 **Periodo de la tubería:** es el tiempo que la onda de sobrepresión tarda en ir y volver de una extremidad a otra de la tubería, generalmente entre la válvula de cierre y el tanque de carga. El periodo se determina mediante la siguiente expresión:

$$T = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{L A_{ch}}{g A_c}}$$

Donde:

- ✓ T : periodo de la tubería, tiempo máximo de reflexión de la onda de sobrepresión

- ✓ Ac: área transversal de la conducción (m²)
- ✓ A ch: área transversal de la chimenea (m²)
- ✓ L: longitud de la tubería (m)
- ✓ g: aceleración de la gravedad (m/s²)

El objetivo de la chimenea de equilibrio o almenara es recibir la sobrepresión causada por el cierre o apertura de válvulas o compuertas instaladas en una conducción. La onda de sobrepresión penetra en ella elevando el nivel del agua hasta una sobre elevación por encima del nivel estático.

6.7 Sobrepresión máxima: la sobrepresión ocurre cuando la maniobra de la válvula es rápida, es decir, cuando no se da tiempo a que la onda de sobrepresión se desplace desde la válvula hasta el depósito y regrese.

Cuando existe chimenea (almenara) de equilibrio en la conducción, la sobrepresión máxima se determina por medio de la siguiente expresión:

$$h_{max} = \frac{Q}{A_{Ch}} \sqrt{\frac{L A_{Ch}}{g A_c}} = V_{Ch} \sqrt{\frac{Vol_{Ch}}{g A_c}}$$

Donde:

- ✓ V: velocidad del agua en la chimenea (m/s)
- ✓ Vol ch: volumen del agua en la chimenea (m³)
- ✓ A ch: área transversal de la chimenea (m²)
- ✓ Ac: área transversal de la conducción (m²)
- ✓ Q: caudal de agua que fluye por la conducción (m³/s)
- ✓ L: longitud de la tubería (m)
- ✓ g: aceleración de la gravedad (m/s²)

 UNIMINUTO Corporación Universitaria Minuto de Dios Educación de calidad al alcance de todos	CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS-FACULTAD DE INGENIERÍA-PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL-LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE TUBERÍAS-ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE EN ALMENARAS	UMD-IF-HT05-V1 FEBRERO DE 2014 Hoja 1 de 1


CARGA HIDRÁULICA DE 30 cm TUBERÍA 1/2"										ALMENARA 1		ALMENARA 2		ALMENARA 3	
Aberturas de la Válvula	Vol 1 (m ³)	Vol 2 (m ³)	Vol 3 (m ³)	T 1 (s)	T 2 (s)	T 3 (s)	Vol P (m ³)	T P (s)	Q (m ³ /s)	Altura del Agua V.B. Cerrada (m)	Altura del Agua Después G.A (m)	Altura del Agua V.B. Cerrada (m)	Altura del Agua Después G.A (m)	Altura del Agua V.B. Cerrada (m)	Altura del Agua Después G.A (m)
ALTA															
MEDIA															
BAJA															

CARGA HIDRÁULICA DE 40 cm TUBERÍA 1/2"										ALMENARA 1		ALMENARA 2		ALMENARA 3	
Aberturas de la Válvula	Vol 1 (m ³)	Vol 2 (m ³)	Vol 3 (m ³)	T 1 (s)	T 2 (s)	T 3 (s)	Vol P (m ³)	T P (s)	Q (m ³ /s)	Altura del Agua V.B. Cerrada (m)	Altura del Agua Después G.A (m)	Altura del Agua V.B. Cerrada (m)	Altura del Agua Después G.A (m)	Altura del Agua V.B. Cerrada (m)	Altura del Agua Después G.A (m)
ALTA															
MEDIA															
BAJA															

CARGA HIDRÁULICA DE 30 cm TUBERÍA 3/4"										ALMENARA 1		ALMENARA 2		ALMENARA 3	
Aberturas de la Válvula	Vol 1 (m ³)	Vol 2 (m ³)	Vol 3 (m ³)	T 1 (s)	T 2 (s)	T 3 (s)	Vol P (m ³)	T P (s)	Q (m ³ /s)	Altura del Agua V.B. Cerrada (m)	Altura del Agua Después G.A (m)	Altura del Agua V.B. Cerrada (m)	Altura del Agua Después G.A (m)	Altura del Agua V.B. Cerrada (m)	Altura del Agua Después G.A (m)
ALTA															
MEDIA															
BAJA															

CARGA HIDRÁULICA DE 40 cm TUBERÍA 3/4"										ALMENARA 1		ALMENARA 2		ALMENARA 3	
Aberturas de la Válvula	Vol 1 (m ³)	Vol 2 (m ³)	Vol 3 (m ³)	T 1 (s)	T 2 (s)	T 3 (s)	Vol P (m ³)	T P (s)	Q (m ³ /s)	Altura del Agua V.B. Cerrada (m)	Altura del Agua Después G.A (m)	Altura del Agua V.B. Cerrada (m)	Altura del Agua Después G.A (m)	Altura del Agua V.B. Cerrada (m)	Altura del Agua Después G.A (m)
ALTA															
MEDIA															
BAJA															

Formato 6. Toma de datos en laboratorio para el ensayo de golpe de ariete en almenaras.
 Fuente: elaboración propia. Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, Bogotá, Colombia (2014)

 UNIMINUTO Corporación Universitaria Minuto de Dios Educación de calidad al alcance de todos	CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS-FACULTAD DE INGENIERÍA-PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL-LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE TUBERÍAS-ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE EN LA VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN	UMD-IC-HT-V1 FEBRERO DE 2014 Hoja 1 de 1

Diametro de la tubería: _____							Golpe de Ariete		
Abertura de la Válvula	Vol (m ³)	T 1 (s)	T 2 (s)	T P (s)	Q (m ³ /s)	Presión Inicial (p.s.i)	Presión Final (p.s.i)	Observaciones	
Pequeña									
Completa									
Diametro de la tubería: _____							Golpe de Ariete		
Abertura de la Válvula	Vol (m ³)	T 1 (s)	T 2 (s)	T P (s)	Q (m ³ /s)	Presión Inicial (p.s.i)	Presión Final (p.s.i)	Observaciones	
Pequeña									
Completa									
Diametro de la tubería: _____							Golpe de Ariete		
Abertura de la Válvula	Vol (m ³)	T 1 (s)	T 2 (s)	T P (s)	Q (m ³ /s)	Presión Inicial (p.s.i)	Presión Final (p.s.i)	Observaciones	
Pequeña									
Completa									

Formato 7. Toma de datos en laboratorio para el ensayo de golpe de ariete en la válvula reductora de presión. Fuente: elaboración propia. Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, Bogotá, Colombia (2014)

PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LA OPERACIÓN DEL CANAL HIDRÁULICO

INTRODUCCIÓN

Debido a que todas las pruebas que se realizan en el laboratorio de hidráulica de canales se llevan a cabo en el canal hidráulico de pendiente variable y geometría rectangular ubicado en los laboratorios de Ingeniería Civil de UNIMINUTO, es necesario describir un procedimiento general que le permita al usuario entender que la operación del canal desde la graduación de la válvula hasta el cambio en la pendiente es el mismo en los seis ensayos que se realizan, de modo que no haya que repetirlo en cada prueba. A continuación se presenta un procedimiento general sencillo y fácil de entender:

1. PROCEDIMIENTO GENERAL

- 1.1 Gradúe la abertura de la válvula de 4 pulgadas a la cantidad de giros que el profesor designe para la práctica. Cada giro equivaldrá a un caudal cualquiera que alimentará el canal.



- 1.2 Gradúe una pendiente alta y otra baja manipulando la palanca metálica instalada en el gato hidráulico, ubicado en el apoyo cerca del tanque de aforos. Este punto permitirá cambiar de altura el canal. El apoyo ubicado cerca del tanque de aquietamiento estará siempre fijo y la pendiente se podrá determinar midiendo la altura desde el piso como nivel de referencia hasta la base metálica que sostiene al canal de acrílico. Luego mida la distancia entre los dos apoyos y determine el valor con la siguiente expresión:

$$\% S = \frac{H_1 - H_2}{x} 100$$

Donde:

- ✓ % S: pendiente del canal
- ✓ H_1 : altura en el apoyo 1 (m)
- ✓ H_2 : altura en el apoyo 2 (m)
- ✓ X: distancia entre los dos apoyos (m)



Figura 68. Graduación de la pendiente en el canal.

- 1.3 Determine el caudal que fluye por el canal aforando dos volúmenes y tiempos en el tanque de concreto de color azul, cerrando la válvula de palanca de 4 pulgadas usada para el desagüe del tanque solamente cuando se efectúe la medición del volumen. Después de este paso abra nuevamente la válvula para evitar que el agua se desborde.

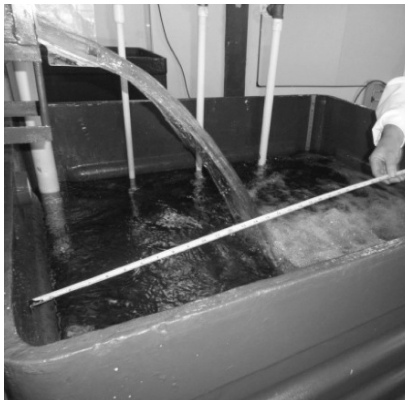


Figura 69. Medición del área interna del tanque para calcular el volumen de aforo.



Figura 70. Aforo de volumen en piezómetro de agua.

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE CURVA DE ENERGÍA ESPECÍFICA EN CANALES RECTANGULARES

INTRODUCCIÓN

La energía por unidad de peso (E) tomada en relación con el fondo del canal se conoce como energía específica. Esta es una cantidad útil para el estudio del flujo en canales abiertos, (Streeter, Wylie y Bedford, 2000).

La energía total del flujo en la sección con referencia a una línea base es la suma de la elevación z del fondo del canal, la altura piezométrica ($y=P/\gamma$) más la carga de velocidad (ver figura 6)

En la siguiente figura se muestra un tramo típico de flujo en canales abiertos. Las líneas de corriente individuales del flujo son convergentes en grado muy pequeño, pero se puede suponer con seguridad que son paralelas, y la línea de gradiente hidráulico coincide con la superficie del líquido (Vennard y Street, 1976). La línea de energía hidráulica está localizada a una carga de velocidad ($V^2/2g$) por arriba de la línea del gradiente hidráulico, y la pérdida de carga se define, como de costumbre, por la caída de la línea de energía (h_f).

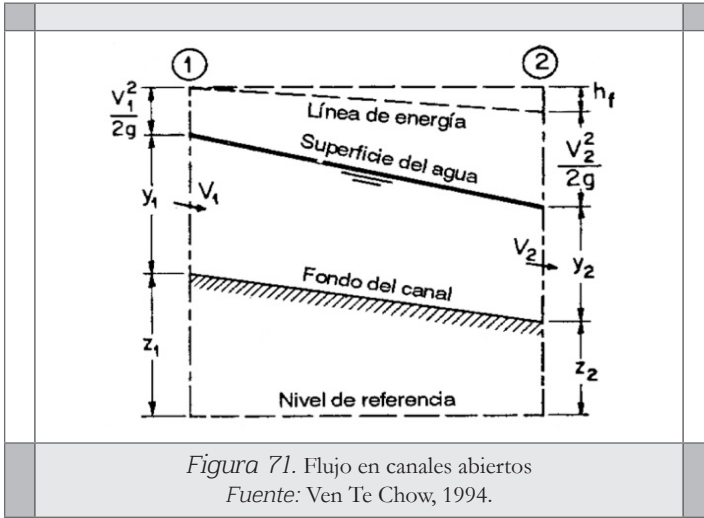


Figura 71. Flujo en canales abiertos
Fuente: Ven Te Chow, 1994.

Por cuestiones de simplificación se asume el flujo uniforme en canales abiertos; sin embargo, se resalta que en la práctica el flujo es turbulento no permanente. Este tipo de flujo no se considera en la presente guía.

A continuación se presenta una ecuación de energía específica para secciones rectangulares en canales abiertos, donde $q = Q/b$ se conoce como el gasto o caudal unitario.

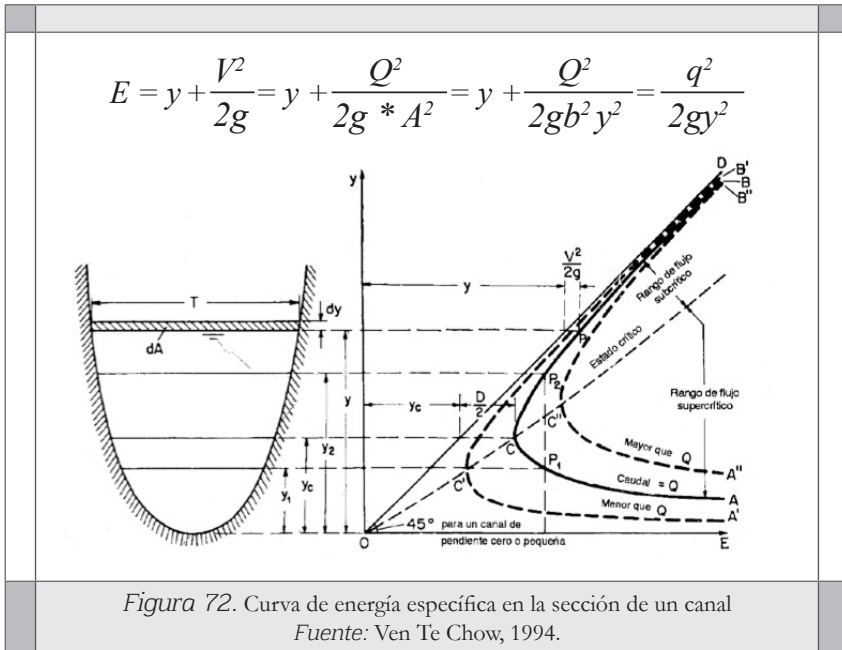


Figura 72. Curva de energía específica en la sección de un canal
Fuente: Ven Te Chow, 1994.

Por medio de la primera ecuación (2.1) y dependiendo de la geometría de la sección del canal, se puede generar una curva de energía específica, como la que se observa en la figura 2.1 al costado derecho. Una curva de energía específica es generalmente una gráfica de energía versus profundidad, en condiciones de caudal constante, variando la profundidad del flujo.

La curva de energía específica para caudal constante con distintas profundidades produce lo siguiente:

Para valores de profundidades bajas, la cabeza de velocidad es mayor y genera un flujo supercrítico ($N.º$ de Froude > 1). (Brazo de la curva $A'-C'$, $A-C$ ó $A''-C''$).

Para valores de profundidades importantes, la cabeza de velocidad es menor y produce flujos subcríticos ($N.º$ Froude < 1). (Brazo de la curva $B'-C'$, $B-C$ ó $B''-C''$).

La energía específica tiene un valor mínimo que se conoce también como energía crítica. En esa condición de energía el flujo debe estar en condiciones de flujo crítico ($N.º$ de Froude $=1.0$). En estas condiciones la profundidad se denomina profundidad crítica. Se puede ubicar un punto de inflexión del cambio de régimen de subcrítico a supercrítico o viceversa, separando estos dos tipos de regímenes.

Se recuerda: “los flujos a profundidades mayores a la profundidad crítica, se conocen como flujos subcríticos, como los flujos a profundidades menores que la profundidad crítica, se conocen como flujos supercríticos” (Vennard y Street, 1976).

Para caudales cada vez mayores en la curva de energía específica de la figura 7, los ramales o brazos en el régimen subcrítico se aproximarían a la recta OD extendiéndose hacia arriba y hacia la derecha (Ven Te Chow, 1994).

1. OBJETIVO GENERAL

1.1 Generar la curva de energía específica, mínimo para dos pendientes del fondo del canal diferentes, con caudales constantes, haciendo que el flujo en el canal supere un obstáculo.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

2.1 Interpretar los componentes de las curvas de energía específica, para los diferentes tipos de regímenes de flujo basados en el concepto del número de Froude y de la profundidad crítica.

- 2.2 Proyectar el uso de la curva de energía para el diseño de transiciones en canales sin considerar las pérdidas de energía en la transición.
- 2.3 Relacionar el concepto de energía específica con el principio de *momentum* para calcular la fuerza específica.

3. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

- 3.1 Canal hidráulico de pendiente variable y geometría rectangular
- 3.2 Obstáculo de acrílico de forma triangular
- 3.3 Cronómetro
- 3.4 Flexómetro de 5 m
- 3.5 Marcadores borrables
- 3.6 Tiempo requerido para la práctica: 2 horas

4. PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE DATOS EN EL CANAL

- 4.1 Encienda la bomba sumergible y espere a que el flujo de agua llene totalmente el canal de acrílico (este proceso estará acompañado por el auxiliar del laboratorio).
- 4.2 Mida 12 profundidades desde el fondo del canal hasta la lámina de agua, comenzando con Y_1 a 10 cm antes del inicio del vertedero, Y_2 justo donde el fondo del canal cambia y el agua transita hacia el vertedero, Y_6 en la cresta del vertedero, Y_{11} justo cuando el agua transita del vertedero al canal y Y_{12} 10 cm después del vertedero. Las demás profundidades se deben distribuir uniformemente sobre la superficie del vertedero triangular.

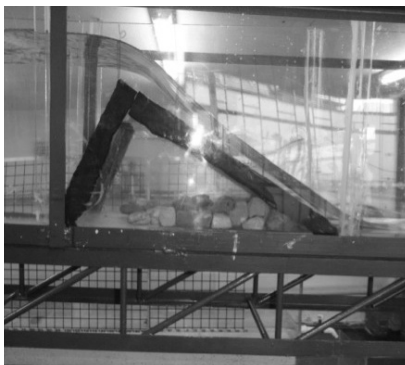


Figura 73. Vertedero triangular.

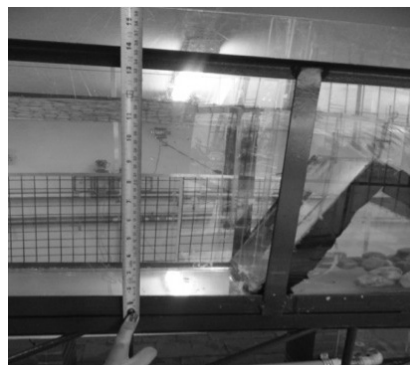


Figura 74. Profundidad 1 antes del vertedero.

5. ECUACIONES POR UTILIZAR

5.1 Cálculo de la energía específica $E_{\text{específica}}$

$$E_{\text{específica}} = Y + \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Donde:

- ✓ E: energía específica (m)
- ✓ V: velocidad media del flujo (m/s)
- ✓ Y: profundidad del agua (m)
- ✓ g: gravedad (m/s²)

5.2 Cálculo de la energía específica $E_{\text{específica}}$ en función del caudal unitario q

$$E_{\text{específica}} = y + \frac{\alpha q^2}{2gy^2}$$

Donde:

- ✓ E: energía específica (m)
- ✓ q: caudal unitario (m³/s)
- ✓ α : coeficiente de Coriolis para la corrección de la velocidad
- ✓ Y: profundidad del agua (m)
- ✓ g: gravedad (m/s²)

5.3 Cálculo de la energía específica $E_{\text{específica}}$ en función del caudal Q

$$E_{\text{específica}} = Y + \left(\frac{Q^2}{2gA^2} \right)$$

Donde:

- ✓ E: energía específica (m)
- ✓ Q: caudal del flujo (m³/s)
- ✓ Y: profundidad del agua (m)
- ✓ A: área mojada (m)
- ✓ g: gravedad (m/s²)

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE RESALTO HIDRÁULICO EN CANALES RECTANGULARES

INTRODUCCIÓN

El análisis del resalto hidráulico experimental en el laboratorio permite establecer visualmente, con facilidad, los tres tipos de flujo con el concepto del número de Froude, como son los flujos supercrítico, crítico y subcrítico.

Por medio de la curva de energía específica se puede analizar gráficamente la disipación de energía del resalto. Esta característica de pérdida de energía en el resalto hidráulico se conoce también como disipador de energía. Otra característica del resalto hidráulico es un fenómeno local, es decir, se produce en una posición y longitud relativamente constante para condiciones similares, por ejemplo después de una compuerta, en cambios de pendiente suave a pendiente empinada o viceversa.

El resalto hidráulico, en términos prácticos, se utiliza para disipar la energía sobre presas, vertederos, diques, cuenca de disipación o de quietamiento para presas; previene problemas de socavación aguas abajo de las estructuras hidráulicas. También se usa para incrementar el nivel del agua del canal aguas abajo para irrigación o distribución de agua. Adicionalmente, se aprovecha para mezclas de químicos en la zona de flujo crítico en las plantas de tratamiento de agua, entre otros múltiples usos (Ven Te Chow, 1994).

CLASIFICACIÓN DEL RESALTO HIDRÁULICO SEGÚN EL NÚMERO DE FROUDE NF

El resalto se clasifica según el número de Froude de la siguiente manera:

- a) $NF \leq 1$ Se presenta flujo crítico, por esta razón no existe resalto
- b) $1.0 \geq NF \leq 1.7$ Se presenta resalto ondular
- c) $1.7 \geq NF \leq 2.5$ Se presenta resalto débil
- d) $2.5 \geq NF \leq 4.5$ Se presenta resalto oscilante
- e) $4.5 \geq NF \leq 9.0$ Se presenta resalto estable
- f) $NF > 9.0$ Se presenta resalto fuerte

1. OBJETIVO GENERAL

- 1.1 Estudiar el comportamiento del resalto hidráulico en un canal abierto como disipador de energía en el laboratorio de ensayos hidráulicos.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1 Determinar el tipo o los tipos de resalto que se puedan formar en cada práctica de laboratorio.
- 2.2 Hallar en el resalto: eficiencia, pérdida de energía, longitud teórica, energía mínima, energía específica, profundidad crítica.
- 2.3 Interpretar la relación que tiene la energía con el *momentum* o fuerza específica.

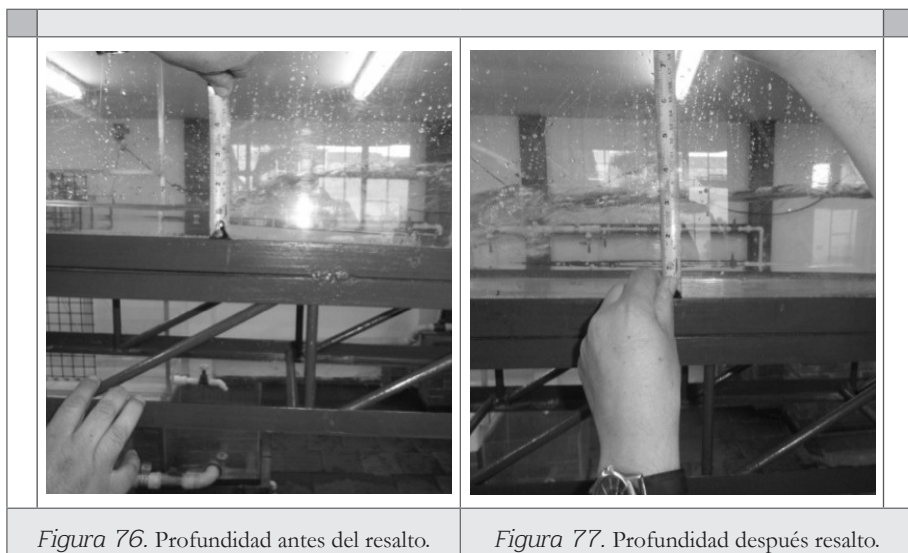
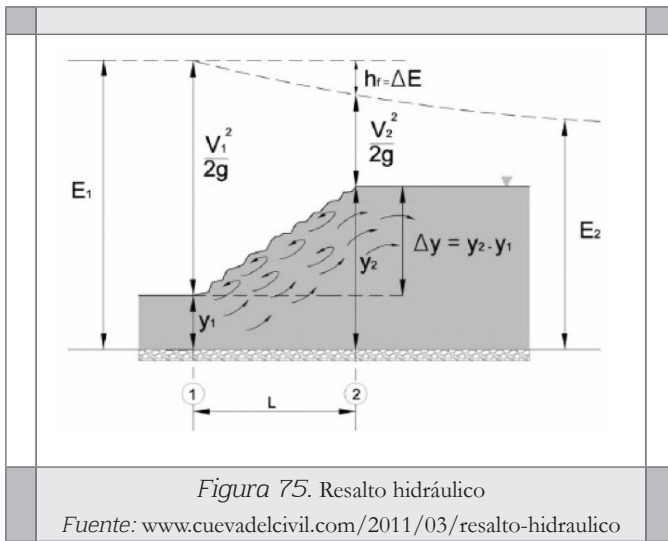
3. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

- 3.1 Canal hidráulico de pendiente variable y geometría rectangular
- 3.2 Láminas de acrílico de 5 y 10 cm de altura
- 3.3 Cronómetro
- 3.4 Flexómetro de 5 m
- 3.5 Marcadores borrables
- 3.6 Tiempo requerido para la práctica: 2 horas

4. PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE DATOS EN EL CANAL

- 4.1 Encienda la bomba sumergible y espere a que el flujo de agua proporcionado por ella llene totalmente el canal hidráulico (este proceso estará acompañado por el auxiliar del laboratorio).

- 4.2 Instale la compuerta de acrílico de 5 o 10 centímetros en la guía ubicada en la salida del canal; de esta manera se generarán varios tipos de resalto. Para la compuerta de 10 centímetros solo se puede hacer con pendiente máxima, si se hace con una pendiente baja no se producirá resalto.
- 4.3 Mida la profundidad Y_1 de la lámina de agua en el punto en el que comienza a producirse el resalto y la profundidad Y_2 en el punto donde termina. A continuación mida la longitud entre las dos profundidades, la cual representa la longitud experimental del resalto hidráulico.



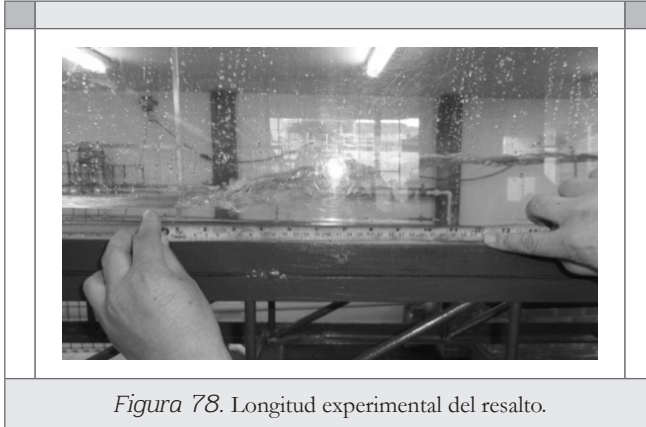


Figura 78. Longitud experimental del resalto.

5. ECUACIONES POR UTILIZAR

5.1 Cálculo del área mojada en el canal de sección rectangular:

$$Am = by$$

Donde:

- ✓ A: área (m²)
- ✓ b: ancho de la sección transversal del canal, también conocido como ancho superficial (m)
- ✓ Y: profundidad del agua medida desde la lámina hasta la superficie del fondo rugoso

5.2 Cálculo del radio hidráulico “RH”:

El radio hidráulico se debe determinar mediante la siguiente fórmula:

$$RH = \frac{Am}{Pm}$$

Donde:

- ✓ RH: radio hidráulico (m)
- ✓ Am: área mojada (m²)
- ✓ Pm: perímetro mojado (m)

5.3 Cálculo de la pérdida de energía específica:

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

$$\Delta E = \left[\frac{(Y_2 - Y_1)^3}{4Y_1 Y_2} \right]$$

Donde:

- ✓ ΔE : pérdida de energía (m)
- ✓ Y_1 : profundidad antes del resalto (m)
- ✓ Y_2 : profundidad después del resalto (m)

5.4 Cálculo de la eficiencia del resalto hidráulico:

La relación entre la energía específica antes y después del resalto se define como eficiencia y puede demostrarse mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{(8F_1^2 + 1)^{\frac{3}{2}} - 4F_1^2 + 1}{8F_1^2 (2 + F_1^2)}$$

Esta ecuación indica que la eficiencia depende únicamente del número de Froude NF.

5.5 Cálculo del número de Froude:

$$F_1 = \left[\frac{V_1}{\sqrt{gY_1}} \right]$$

Donde:

- ✓ NF: número de Froude antes del resalto
- ✓ V_1 : velocidad antes del resalto (m/s)
- ✓ Y_1 : profundidad antes del resalto (m)
- ✓ g : gravedad en (m/s²)

5.6 Longitud teórica del resalto hidráulico:

Puede definirse como la distancia medida desde la cara frontal del resalto hasta un punto en la superficie inmediatamente aguas abajo del remolino. En teoría, esta longitud no puede determinarse correctamente pero ha sido investigada científicamente por muchos ingenieros hidráulicos.

$$LT = 5(Y_2 - Y_1)$$

Donde:

- ✓ LT: longitud teórica del resalto hidráulico (m)
- ✓ Y_1 : profundidad antes del resalto (m)
- ✓ Y_2 : profundidad después del resalto (m)

 UNIMINUTO Corporación Universitaria Minuto de Dios Educación de calidad al alcance de todos	CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS - FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL - LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE CANALES - ENSAYO DE RESALTO HIDRÁULICO	UMD-IF-HC02-V1 FEBRERO DE 2014 Hoja 1 de 1
--	--	--

FECHA DE REALIZACIÓN: _____

ABERTURA DE LA VÁLVULA	VOLUMEN AFORADO (m ³)	TIEMPOS DE AFORO			CAUDAL PROMEDIO Q (m ³ /s)	PROFUNDIDAD		LONGITUD DEL RESALTO HIDRÁULICO
		TIEMPO A (s)	TIEMPO B (s)	TIEMPO PROM (s)		H1 (m)	H2 (m)	

RESALTO PRODUCIDO POR EL OBSTACULO DE: _____ CON PENDIENTE %: _____

RESALTO PRODUCIDO POR EL OBSTACULO DE: _____ CON PENDIENTE %: _____

RESALTO PRODUCIDO POR EL OBSTACULO DE: _____ CON PENDIENTE %: _____

INTEGRANTES DEL GRUPO	OBSERVACIONES

Formato 9. Toma de datos en laboratorio para el ensayo de resalto hidráulico.
 Fuente: elaboración propia. Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, Bogotá, Colombia (2014)

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE COEFICIENTES EXPERIMENTALES “N” DE MANNING Y “C” DE CHEZY PARA FLUJOS UNIFORMES

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales conceptos para el cálculo hidráulico en condiciones de flujo uniforme es el coeficiente de Manning y de Chezy para el cálculo específico de velocidades.

Debido a la importancia del cálculo de la velocidad según Manning y Chezy, se plantea este laboratorio para determinar experimentalmente los valores de los coeficientes mencionados. Como el canal a lo largo del laboratorio es en acrílico (superficie lisa), se deben cotejar estos resultados experimentales con los valores de referencia que se encuentran en la gran mayoría de textos de hidráulica de canales abiertos.

Adicionalmente, se puede colocar un falso fondo, como una superficie en piedra pegada con rugosidad media, para hallar coeficientes experimentales compuestos de Manning y de Chezy. Con el propósito de comparar estos resultados experimentales, se puede calcular la rugosidad compuesta según metodologías como la de Horton y Einstein, entre otras, para canales con rugosidad compuesta.

1. OBJETIVO GENERAL

- 1.1 Comparar los resultados experimentales del coeficiente de Manning con los valores típicos, según la rugosidad del material del canal.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1 Hallar el coeficiente experimental de fricción “N” de Manning.
- 2.2 Hallar el coeficiente experimental “C” de Chezy.
- 2.3 Determinar el porcentaje de error de los coeficientes experimentales versus coeficientes teóricos de Manning y de Chezy.

3. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

- 3.1 Canal hidráulico de pendiente variable y geometría rectangular
- 3.2 Falsos fondos en piedra
- 3.3 Cronómetro
- 3.4 Flexómetro de 5 m
- 3.5 Tiempo requerido para la práctica: 2 horas

4. PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE DATOS EN EL CANAL

- 4.1 Encienda la bomba sumergible y espere a que el flujo de agua proporcionado llene totalmente el canal de acrílico (este proceso estará acompañado por el laboratorista).
- 4.2 Mida dos profundidades de la lámina de agua en las posiciones aguas arriba y aguas abajo de la longitud total del canal. Si se encuentran instalados los fondos en piedra, la medición debe hacerse desde la superficie del falso fondo hasta la lámina de agua.



Figura 79. Profundidad aguas arriba del canal.

5. ECUACIONES POR UTILIZAR

5.1 Cálculo del área mojada en el canal de sección rectangular:

$$Am = by$$

Donde:

- ✓ A: área (m²)
- ✓ b: ancho de la sección transversal del canal, también conocido como ancho superficial (m)
- ✓ Y: profundidad del agua medida desde la lámina hasta la superficie del fondo rugoso

5.2 Cálculo del radio hidráulico “RH”.

El radio hidráulico se debe determinar mediante la siguiente fórmula:

$$RH = \frac{Am}{Pm}$$

Donde:

- ✓ RH: radio hidráulico (m)
- ✓ Am: área mojada (m²)
- ✓ Pm: perímetro mojado (m)

5.3 Cálculo de la velocidad media del flujo mediante la ecuación de Chezy.

La velocidad media del flujo se determina mediante la siguiente expresión:

$$VCh = C_{CH} (R_H S)^{\frac{1}{2}}$$

Donde

- ✓ V: velocidad media del flujo (m/s)
- ✓ CCH: coeficiente de Chezy
- ✓ RH: radio hidráulico (m)
- ✓ S%: pendiente o inclinación del canal

5.4 Cálculo del coeficiente de Chezy mediante la ecuación de velocidad:

$$C_{CH} = \frac{V}{\sqrt{(R_H S)}}$$

Donde

- ✓ CCH: coeficiente de Chezy

- ✓ V: velocidad media del flujo (m/s)
- ✓ RH: radio hidráulico (m)
- ✓ S%: pendiente o inclinación del canal

5.5 Cálculo del coeficiente “Cch” mediante la fórmula de Ganguillet y Kutter en unidades del sistema inglés:

$$C_{ch} = \frac{41.65 + \frac{0.00281}{S} + \frac{1.811}{n}}{1 + \left(41.65 + \frac{0.00281}{S}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

Donde

- ✓ CCH: coeficiente de Chezy
- ✓ n: coeficiente adimensional de Kutter
- ✓ R: radio hidráulico (m)
- ✓ S%: pendiente o inclinación del canal

5.6 Cálculo del coeficiente “Cch” mediante la fórmula de Ganguillet y Kutter en unidades del sistema internacional:

$$C_{ch} = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{S}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{S}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

Donde

- ✓ CCH: coeficiente de Chezy
- ✓ n: coeficiente de Kutter
- ✓ R: radio hidráulico (m)
- ✓ S%: pendiente o inclinación del canal

5.7 Cálculo de la velocidad media del flujo mediante la ecuación de Maning.

El cálculo del coeficiente de Maning se realiza en el laboratorio mediante el despeje de la ecuación para determinar la velocidad del flujo que lleva este mismo nombre. Esta expresión es:

$$V = \frac{1}{n} R_H^{2/3} S^{1/2}$$

Donde

- ✓ V: velocidad media del flujo (m/s)
- ✓ RH: radio hidráulico (m)
- ✓ S%: pendiente o inclinación del canal
- ✓ n: coeficiente de Manning

El coeficiente “N” de Manning se determina mediante el despeje de la ecuación anterior.

Para más precisión de los valores del coeficiente de Manning y Chezy, revisar el capítulo 5, página 87 de Hidráulica de canales, de Ven Te Chow.

 UNIMINUTO Corporación Universitaria Minuto de Dios Educación de calidad al alcance de todos	CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS - FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL - LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE CANALES - ENSAYO DE COEFICIENTES EXPERIMENTALES DE MANINNG Y CHEZY	UMD-IF-HC01-VI FEBRERO DE 2014 Hoja 1 de 1
--	--	--

FECHA DE REALIZACIÓN: _____

ABERTURA DE LA VÁLVULA	VOLUMEN AFORADO (m ³)	TIEMPOS DE AFORO			CAUDAL PROMEDIO Q (m ³ /s)	Ha (m)	Hb (m)	H promedio (m)
		TIEMPO A (s)	TIEMPO B (s)	TIEMPO PROM (s)				

PENDIENTE _____								

PENDIENTE _____								

INTEGRANTES DEL GRUPO	OBSERVACIONES

Formato 10. Toma de datos en laboratorio para el ensayo de coeficientes de experimentales “N” de Manning y “C” de Chezy para flujos uniformes. *Fuente:* elaboración propia. Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, Bogotá, Colombia (2014)

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE VERTEDEROS DE PARED DELGADA SIN CONTRACCIONES

INTRODUCCIÓN

Una de las más usadas y sencillas estructuras para el aforo de caudales en canales abiertos son los vertederos.

Hay diferentes tipos de vertederos porque están en función de su geometría, del espesor de la pared (vertedero de pared delgada o gruesa), y también si no tienen contracciones o son laterales.

Para cada tipo de vertedero, los investigadores han analizado empíricamente sobre todo las ecuaciones de calibración. En estas, por medio de la profundidad del flujo que se mide aguas arriba, se estima el caudal que indirectamente estaría circulando en teoría sobre el vertedero.

Los estudiantes del curso de hidráulica de canales deberán determinar el caudal que fluye por el canal usando los vertederos de pared delgada y comparar los valores obtenidos con los resultados hallados mediante el método volumétrico para establecer diferencias entre las dos formas.

1. OBJETIVO GENERAL

- 1.1 Familiarizarse con el uso de vertederos de pared delgada sin contracciones como dispositivos usados para la determinación del caudal que fluye por un canal abierto.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1 Determinar el caudal que fluye por un canal abierto mediante el uso de vertederos de pared delgada sin contracciones: rectangular, triangular, trapezoidal y circular.
- 2.2 Determinar el caudal que fluye por un canal abierto mediante el método volumétrico.
- 2.3 Comparar los resultados obtenidos mediante los dos métodos para establecer ventajas y desventajas en el uso de los mismos.

3. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

- 3.1 Canal hidráulico de pendiente variable y geometría rectangular
- 3.2 Vertederos de pared delgada da geometría rectangular, triangular, trapezoidal y circular
- 3.3 Cronometro
- 3.4 Flexómetro de 5 m
- 3.5 Tiempo requerido para la práctica: 2 horas

4. PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE DATOS EN EL CANAL

- 4.1 Mida la profundidad del agua sobre la cresta del vertedero hasta la superficie libre del agua. Esta profundidad se conoce como profundidad de la Napa. Después multiplique la profundidad por 4.0 y el resultado tómelo como medida aguas arriba del canal desde el vertedero. Marque un punto en el cual medirá la profundidad del agua desde el fondo hasta la superficie. A esta profundidad réstele la altura del vertedero. El resultado corresponderá a la carga hidráulica sobre el vertedero.

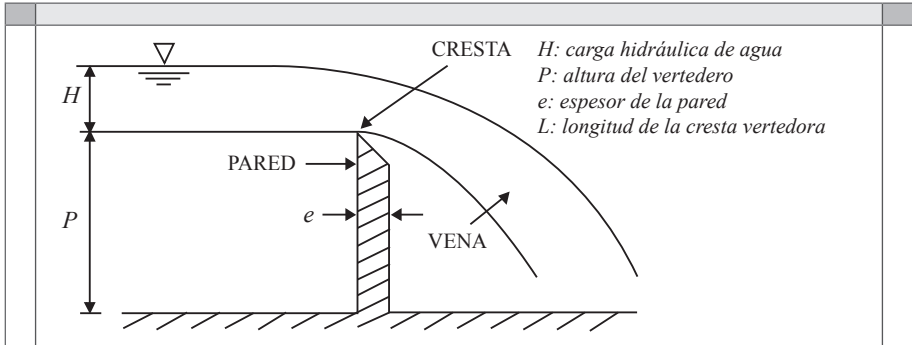


Figura 80. Perfil típico de vertedero de pared delgada sin contracciones. Fuente: http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/2_vertederos.pdf

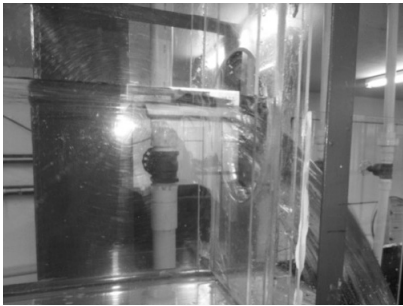


Figura 81. Profundidad de la Napa sobre la cresta del vertedero.

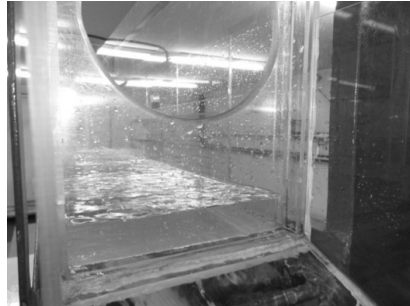


Figura 82. Vertedero circular instalado en el canal.

5. ECUACIONES POR UTILIZAR

5.1 Vertedero de pared delgada rectangular sin contracciones

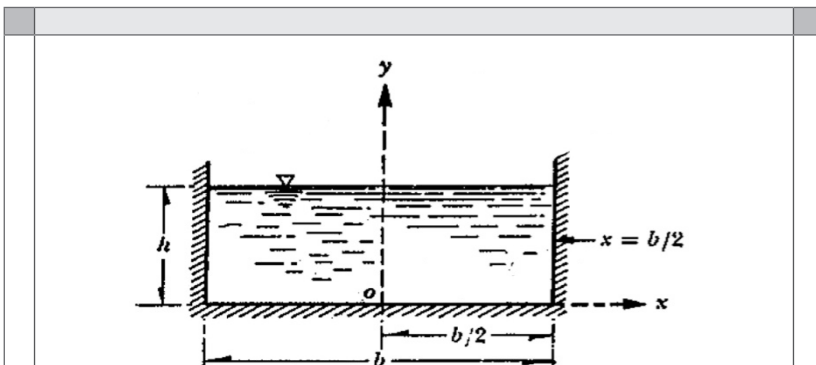


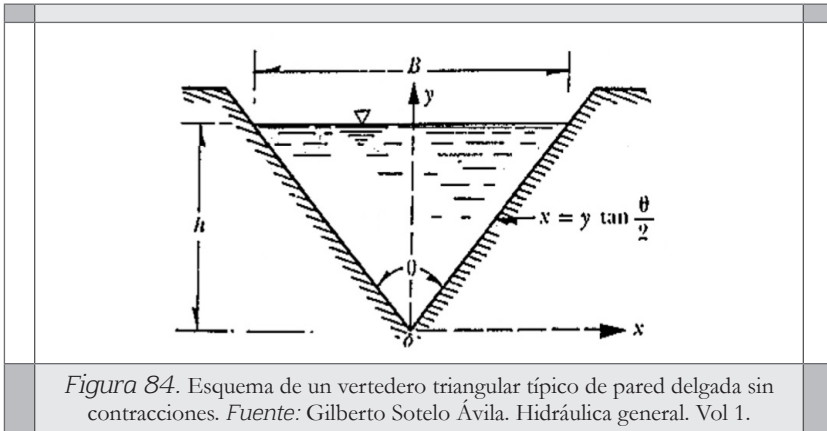
Figura 83. Esquema de un vertedero rectangular típico de pared delgada sin contracciones. Fuente: Gilberto Sotelo Ávila. Hidráulica general. Vol 1.

$$Q = 1,84LH^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

- ✓ Q: caudal que pasa por el vertedero (m³/s)
- ✓ L: longitud de la cresta del vertedero rectangular (m)
- ✓ H: carga sobre el vertedero (m)

5.2 Vertedero de pared delgada triangular sin contracciones

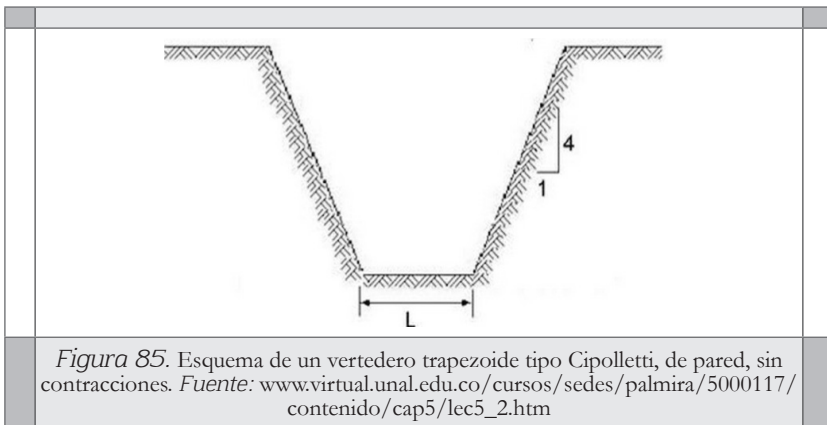


$$Q = 1,4H^{2,5}$$

Donde:

- ✓ Q. es el caudal que pasa por el vertedero (m³/s)
- ✓ H: carga sobre el vertedero (m)

5.3 Vertedero trapezoidal tipo Cipolletti

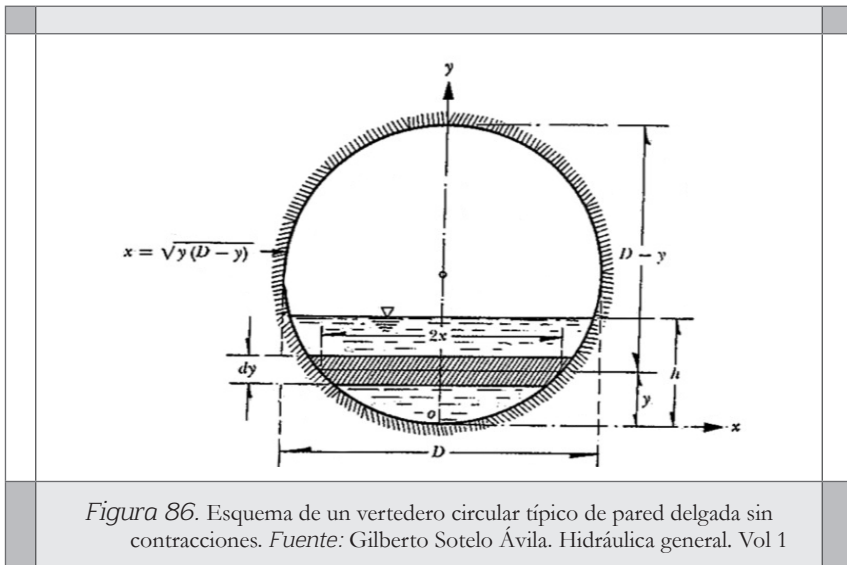


$$Q = 1,861LH^{1,5}$$

Donde:

- ✓ Q. es el caudal que pasa por el vertedero (m^3/s)
- ✓ L: longitud en la base del vertedero (m)
- ✓ H: carga sobre el vertedero (m)

5.4 Vertedero circular



$$Q = 1,518D^{0,693}H^{1,807}$$

Donde:

- ✓ Q. es el caudal que pasa por el vertedero (m^3/s)
- ✓ D: diámetro del vertedero (m)
- ✓ H: carga sobre el vertedero (m)

 UNIMINUTO Corporación Universitaria Minuto de Dios Educación de calidad al alcance de todos	CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS - FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL - LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE CANALES - ENSAYO DE VERTEDEROS DE PARED DELGADA SIN CONTRACCIONES	UMD-IF-HC04-V1
		FEBRERO DE 2014 Hoja 1 de 1

FECHA DE REALIZACIÓN: _____
 Pendiente % _____ Tipo de Vertedero: _____ Dimensiones del Vertedero: _____

Abertura de la Válvula	L. Inicial	L. Final	Volumen en (m ³)	TIEMPOS DE AFORO			Altura Base del Vertedero (m)	Altura de la Napa Sobre la Cresta del Vertedero (m)	Profundidad Lamina de Agua antes del Vertedero (m)	Criterio 5,5 Veces altura de la Napa		Caudal Promedio (m ³ /s)
				TIEMPO A (s)	TIEMPO B (s)	TIEMPO PROM (s)				Longitud Según Criterio 5,5V (m)	Profundidad Lamina de Agua antes del Vertedero (m)	

Pendiente % _____ Tipo de Vertedero: _____ Dimensiones del Vertedero: _____

Pendiente % _____ Tipo de Vertedero: _____ Dimensiones del Vertedero: _____

INTEGRANTES DEL GRUPO	OBSERVACIONES

Formato II. Toma de datos en laboratorio para el ensayo de vertederos de pared delgada sin contracciones. Fuente: elaboración propia. Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, Bogotá, Colombia (2014)

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE COMPUERTA VERTICAL PLANA DE FONDO

INTRODUCCIÓN

Las compuertas son estructuras de control cuyo propósito es regular el caudal que fluye por un sistema. Una compuerta es una placa móvil que permite aumentar o disminuir el caudal que pasa aguas abajo, y si se dispone de una buena calibración, se puede utilizar como medidor. Tal vez las compuertas de mayor uso en proyectos hidráulicos son las compuertas vertical plana, radial y tipo rodillo, entre otras.

Como sucede con una buena parte de las estructuras hidráulicas, las compuertas pueden operar con flujo libre o en condiciones de ahogamiento. Aquí solamente se analiza el caso de flujo libre.

El orificio o la abertura de la compuerta generalmente se hace entre el piso de un canal y el borde inferior de la compuerta, por lo que su ancho coincide con el canal; en estas condiciones el flujo puede considerarse bidimensional.

Los coeficientes de velocidad (C_v), contracción (C_c) y descarga o gasto (C_d) los han obtenido experimentalmente muchos investigadores; sin embargo, en ningún caso los resultados han coincidido. En general, su valor depende de la relación Y_1/a , es decir, la carga de velocidad ($V_1^2/2g$) con que llega el agua al canal, aguas arriba de la compuerta, tiene mayor importancia a medida que la relación Y_1/a disminuya. Otros factores importantes para estos coeficientes están relacionados con el ángulo de inclinación de la compuerta, forma de bisel del canto inferior de compuerta, forma de la compuerta y número de Reynolds.

1. OBJETIVO GENERAL

- 1.1 Estudiar el comportamiento de la salida de un fluido por la abertura de una compuerta.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1 Determinar el coeficiente de velocidad C_v , contracción C_c , descarga C_d .
- 2.2 Estudiar el comportamiento del flujo a través de una compuerta plana.
- 2.3 Conocer el funcionamiento o uso de la compuerta como un aforador de caudal en canales abiertos.

3. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

- 3.1 Canal hidráulico de pendiente variable y geometría rectangular
- 3.2 Compuerta vertical plana de fondo
- 3.3 Cronómetro
- 3.4 Flexómetro de 5 m
- 3.5 Tiempo requerido para la práctica: 2 horas

4. PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE DATOS EN EL CANAL

- 4.1 Mida la profundidad Y_1 de la lámina de agua antes de la compuerta y otra profundidad Y_2 después de ella. A continuación mida la longitud entre las dos profundidades, es decir entre Y_1 y Y_2 .

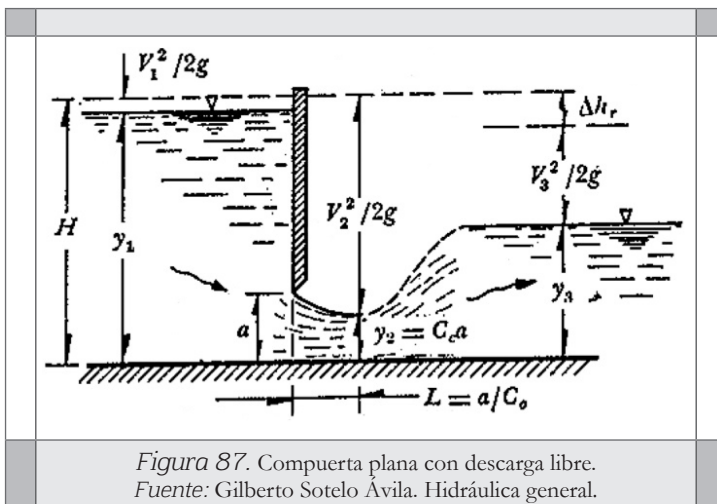


Figura 87. Compuerta plana con descarga libre.
Fuente: Gilberto Sotelo Ávila. Hidráulica general.

La abertura de la compuerta es la altura que existe entre el fondo del canal y el borde sumergido en el agua.

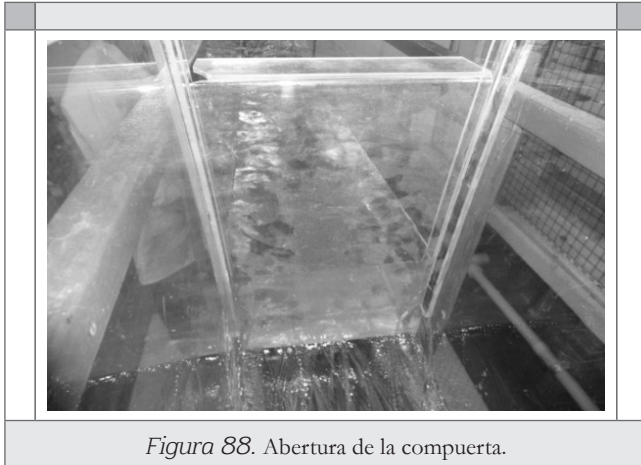


Figura 88. Abertura de la compuerta.

5. ECUACIONES POR UTILIZAR

5.1 Cálculo del área del orificio o abertura de la compuerta (A_0):

$$A_0 = (ab)$$

Donde:

- ✓ A_0 : área del orificio o abertura en el fondo de la compuerta (m^2)
- ✓ a : abertura de la compuerta. Se mide desde el fondo hasta el borde sumergido en el agua (m)
- ✓ b : ancho del canal (m)

5.2 Área del chorro contraído (A_{ch} chorro)

$$A_{ch} = (b Y_2)$$

Donde:

- ✓ A_{ch} : área de la sección contraída (m^2)
- ✓ b : ancho del canal (m)
- ✓ Y_2 : profundidad del agua después de la salida de la compuerta (m)

5.3 Cálculo del caudal real (QR)

El caudal real se determina en el laboratorio mediante el aforo de volúmenes y tiempos:

$$Q_R = \frac{V}{T}$$

Donde:

- ✓ Q R: caudal real (m³/s)
- ✓ V: volumen aforado (m³)
- ✓ T: tiempo (s)

5.4 Cálculo del caudal teórico (QT)

$$Q_T = A_0(2gY_1)^{1/2}$$

Donde:

- ✓ Q T: caudal teórico (m³/s)
- ✓ A₀: área del orificio o abertura en el fondo de la compuerta (m²)
- ✓ g: gravedad (m/s²)
- ✓ Y₁: profundidad de la lámina del agua antes de la compuerta en (m)

5.5 Cálculo de la velocidad real (VR)

$$V_R = \frac{Q_R}{A_0}$$

Donde:

- ✓ VR: velocidad real (m/s)
- ✓ A₀: área del orificio o abertura en el fondo de la compuerta (m²)
- ✓ Q R: caudal real (m³/s)

5.6 Cálculo de la velocidad teórica (VT)

$$V_T = (2gY_1)^{1/2}$$

Donde:

- ✓ VT: velocidad teórica (m/s)
- ✓ g: gravedad (m/s²)
- ✓ Y₀: profundidad de la lámina del agua antes de la compuerta (m)

5.7 Cálculo del coeficiente de velocidad (C_v)

$$C_v = \frac{V_R}{V_T}$$

Donde:

- ✓ C_v : coeficiente velocidad
- ✓ V_R : velocidad real (m/s)
- ✓ V_T : velocidad teórica (m/s)

5.8 Cálculo del coeficiente de descarga (C_d)

Método A

$$C_d = \frac{Q_R}{Q_T}$$

Donde:

- ✓ C_d : coeficiente de descarga
- ✓ Q_R : caudal real (m³/s)
- ✓ Q_T : caudal Teórico (m³/s)

Método B

$$C_d = \frac{C_c C_v}{\sqrt{1 + \frac{C_c a}{Y_1}}}$$

Donde:

- ✓ C_d : coeficiente de descarga
- ✓ C_c : coeficiente de contracción
- ✓ C_v : coeficiente de velocidad
- ✓ a : abertura de la compuerta (m)
- ✓ Y_1 : profundidad de la lámina de agua antes de la compuerta (m)

5.9 Cálculo del coeficiente de contracción (C_c)

$$C_c = \frac{A_{ch}}{A_0}$$

Donde:

- ✓ Cc: coeficiente de contracción
- ✓ A ch: área de la sección contraída (m²)
- ✓ Ao: área del orificio o abertura en el fondo de la compuerta (m²)

Otra forma de determinar el coeficiente de contracción Cc, comparándolo con el resultado de la ecuación anterior, es:

$$C_c = \frac{Y_2}{a}$$

Donde:

- ✓ Cc: coeficiente de contracción
- ✓ a: abertura de la compuerta (m)
- ✓ Y₁: profundidad del agua después de la salida de la compuerta (m)

5.10 Cálculo de la distancia horizontal desde el plano de la compuerta vertical hasta la sección contraída (L)

La distancia horizontal desde el plano de una compuerta vertical hasta la sección contraída alcanza el valor:

$$L = \frac{a}{C_c}$$

Donde:

- ✓ L: distancia horizontal (m)
- ✓ Cc: coeficiente a dimensional de contracción
- ✓ a: abertura de la compuerta (m)

 UNIMINUTO Corporación Universitaria Minuto de Dios Educación de calidad al alcance de todos	CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS - FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL - LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE CANALES - ENSAYO DE COMPUERTA VERTICAL PLANA DE FONDO	UMD-IF- FEBRERO DE 2014 Hoja 1 de 1
--	---	---

FECHA DE REALIZACIÓN: _____

ABERTURA DE LA VÁLVULA	VOLUMEN AFORADO (m ³)	TIEMPOS DE AFORO			CAUDAL PROMEDIO Q (m ³ /s)	PROFUNDIDAD		V (m/s)	A	Yo	Ys	Y1	Eo	E1	Emin	Yc	Cc	Cv	Cd	FH	Fg	Y/g/Yo
		TIEMPO A (s)	TIEMPO B (s)	TIEMPO PROM (s)		Yo (m)	Y1 (m)															

ABERTURA DE LA COMPUERTA: _____ PENDIENTE %: _____

ABERTURA DE LA COMPUERTA: _____ PENDIENTE %: _____

INTEGRANTES DEL GRUPO	OBSERVACIONES

Formato 12. Toma de datos en laboratorio para el ensayo de compuerta vertical plana de fondo. Fuente: elaboración propia. Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, Bogotá, Colombia (2014)

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE CANALETA PARSHALL

INTRODUCCIÓN

El medidor Parshall es una estructura hidráulica generalmente usada en sistemas de canales abiertos y sistemas hidráulicos. Su nombre se debe al ingeniero R.L. Parshall, quien la diseñó con el propósito de establecer de una manera sencilla y sin problemas el caudal que circula por un canal.

El canal Parshall es un medidor de régimen crítico, ya que se diseñó para que ocurriera en él la profundidad crítica, el medidor puede determinar el caudal, bien sea que la descarga esté libre o ahogada.

Este medidor, también conocido como canaleta Parshall, está compuesto por tres secciones importantes que se definen de la siguiente manera:

Sección convergente: se caracteriza por reducir el ancho de la sección gradualmente hasta la garganta, es decir la sección 2, y tener un fondo horizontal.

Sección de garganta o medidor: es la sección 2 y se caracteriza porque el ancho es más reducido en comparación con la 1, similar al venturímetro, y el fondo tiene una pendiente positiva.

Sección divergente: se caracteriza por ser más ancha en comparación con la garganta y se extiende hasta empalmar con la transición que une el canal con el medidor.

1. OBJETIVO GENERAL

- 1.1 Estudiar en el laboratorio la canaleta Parshall, usada como aforador del flujo de agua en un canal hidráulico de geometría rectangular y pendiente variable.

2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- 2.1 Determinar el caudal del flujo en un canal abierto rectangular.
- 2.2 Conocer otros usos de una canaleta Parshall como dispositivo usado para mezclar sustancias químicas en plantas de tratamiento de aguas residuales.

3. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

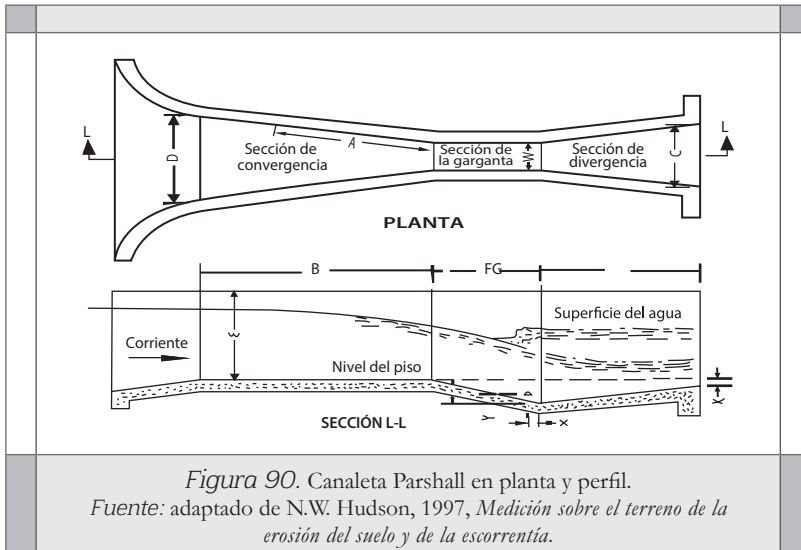
- 3.1 Canal hidráulico de pendiente variable y geometría rectangular
- 3.2 Canaleta Parshall
- 3.3 Cronómetro
- 3.4 Flexómetro de 5 m
- 3.5 Tiempo requerido la práctica: 2 horas

4. PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE DATOS EN EL CANAL

- 4.1 Mida la profundidad de la lámina de agua a una distancia medida desde la garganta de la canaleta aguas arriba en $2/3$ de longitud.



Figura 89. Profundidad a $2/3$ de la garganta de la canaleta Parshall.



5. ECUACIONES POR UTILIZAR

5.1 Cálculo del caudal Q:

$$Q = KH_a^n$$

Donde:

- ✓ Q: caudal (m³/s)
- ✓ K: valor que depende del ancho de la garganta de la canaleta
- ✓ H_a: profundidad del flujo medida en el punto 2/3 de la garganta (m)
- ✓ n: valor que depende del ancho de la garganta de la canaleta

Tabla 6. Valores de K y n según el ancho de la garganta en la Canaleta Parshall.

Valores de K y n en unidades del Sistema Internacional para el Ancho B de la Garganta			
Ancho de la Garganta B en	Ancho de la Garganta B	K	n
0.076	3	0.176	0.0992
0.305	1	0.69	4.00
0.610	2	1.426	8.00
1.525	5	3.728	20.00
2.440	8	6.101	32.00

Fuente: adaptado de Introducción a la hidráulica de canales, Duarte Agudelo, C.A. Tercera edición. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional (2011)

 UNIMINUTO Corporación Universitaria Minuto de Dios Educación de calidad al alcance de todos	CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS - FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL - LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE CANALES - ENSAYO DE CANALETA PARSHALL	UMD-IF-HC06-VI FEBRERO DE 2014 Hoja 1 de 1
--	---	--

FECHA DE REALIZACIÓN: _____

ABERTURA DE LA VÁLVULA	VOLUMEN AFORADO (m ³)	TIEMPOS DE AFORO			Profundidad 2/3 antes de la Garganta de la Canaleta (m)	Caudal Promedio (L/s)	Caudal Promedio (m ³ /s)
		T A (s)	T B (s)	T P (s)			

PENDIENTE % _____

PENDIENTE % _____

INTEGRANTES DEL GRUPO	OBSERVACIONES

Formato 13. Toma de datos en laboratorio para el ensayo de canaleta Parshall.
 Fuente: elaboración propia. Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, Bogotá, Colombia (2014)

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES DE LABORATORIO

Los informes de las prácticas de laboratorio de hidráulica deben contener los siguientes capítulos o partes:

1. Introducción

Debe contener el objetivo de la práctica y una definición clara de todas las variables que se utilizan en el informe.

Ejemplos:

Q: caudal (m^3/s)

b: ancho del canal en metros

E2: energía específica en el punto 2 (metros)

Omitir variables puede conducir al lector del informe a no entenderlo y rechazarlo

2. Capítulo 1

Resumen de la teoría: debe contener un resumen claro y completo de los fundamentos que se relacionan con la práctica. No incluir temas que no tengan relevancia. Con ello solo se desperdicia el tiempo del autor y el del lector.

3. Capítulo 2

Resumen de la práctica: se debe describir el procedimiento seguido en la práctica. Puede estar basado en la guía de laboratorio.

4. Capítulo 3

Análisis de resultados: es el capítulo más importante de la práctica. Más adelante se comenta en detalle lo que debe contener.

5. Capítulo 4

Conclusiones: generalmente las conclusiones se refieren a si se alcanzaron o no los objetivos de la práctica. Pueden presentarse otras adicionales.

Mientras en el capítulo anterior se analizan los casos particulares, en este se generalizan.

6. Bibliografía

Debe contener toda la que se utilizó para el capítulo de teoría y, si es el caso, para los cálculos, gráficas y calibraciones. Las referencias se deben expresar por completo.

7. Apéndice 1

Tablas de datos: los datos tomados en el laboratorio se deben presentar en forma de tablas, las cuales deben llevar su correspondiente título. Cada columna y fila deben estar correctamente identificadas. Las tablas deben ser comprensibles.

8. Apéndice 2

Tablas de resultados: los resultados de los cálculos hechos después de la práctica deben presentarse en tablas similares a las de los datos.

9. Apéndice 3

Figuras y gráficas: deben llevar los títulos y subtítulos necesarios para su correcta interpretación, así como información adicional que las haga comprensibles. Las gráficas deben construirse en papel milimetrado o generarse en computador con cuadrícula visible. Cada eje debe llevar su identificación y sus unidades. Las gráficas deben indicar claramente los puntos experimentales. Muchas veces la unión de los puntos no muestra en realidad lo que se quiere (p. e. los errores se pueden magnificar por la escala utilizada). En esos casos es conveniente usar una línea de tendencia manteniendo los puntos experimentales.

10. Apéndice 4

Cálculos típicos: este apéndice debe contener un ejemplo de los cálculos que se realizaron para obtener los resultados. Deben incluirse todos: cálculo de caudales, de velocidades, de pendiente, entre otros.

Todas las variables o constantes usadas en los apéndices deben estar definidas en la introducción.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este es el capítulo más importante del informe. En él deben anotarse todas las observaciones que se hicieron en la práctica. Un buen análisis debe incluir las relaciones encontradas, que no siempre son numéricas (p. e., “Se observó que y disminuía a medida que V aumentaba”). Se debe tratar de encontrar estas relaciones

observando con cuidado los datos de laboratorio y además intentar explicar los fenómenos (“esto puede suceder porque el flujo se vuelve supercrítico”).

Con respecto a regresiones necesarias, se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

1. No todas las regresiones son lineales; las hay logarítmicas, exponenciales y potenciales.
2. Las regresiones que generalmente se usan en hidráulica de canales son del tipo $Q=a \cdot H^b$, donde a y b son números reales que determinan la ecuación y son los que se deben hallar mediante el análisis de regresión.
3. Otro punto importante en las regresiones es el coeficiente de correlación. Este parámetro indica en qué proporción la relación entre ambas variables se explica por la regresión. Este se conoce como R^2 (r-squared). En algunos casos no es dado como resultado de la regresión; en su lugar aparece R (sin elevar al cuadrado). En ingeniería se considera que una ecuación que explica razonablemente la relación es superior a 0.80. Por debajo de este valor se duda de la ecuación, es decir, generalmente no se considera válida. Siempre dependerá de lo que se quiera explicar; en algunos casos se aceptan valores inferiores a 0.80 y se rechazan valores superiores. También es importante tener en cuenta que se pueden tomar valores entre 0 y 1, y expresarlos como porcentaje. Un $R^2=0$ significa que la ecuación no explica el fenómeno, mientras que $R^2=1$ indica que relaciona exactamente las variables.

Por lo expuesto anteriormente es importante que se incluyan los coeficientes de correlación de todas las ecuaciones encontradas, se analice si son válidas o no. Otra manera de evaluar la validez de una ecuación es comparar los coeficientes obtenidos con los coeficientes teóricos. En las prácticas de laboratorio de hidráulica es muy sencillo: todas las ecuaciones que se hallan en el transcurso de la práctica han sido determinadas anteriormente por investigadores e ingenieros, por lo tanto, en la literatura se encuentran los coeficientes y exponentes de las ecuaciones para cada caso (vertederos, canaletas, orificios, etc.).

Finalmente, se debe recordar que estas indicaciones para la elaboración de los informes son útiles no solo para el laboratorio de hidráulica sino para los de otros cursos y, probablemente, para informes de tipo técnico en la vida profesional.

ANEXOS

Tabla 7. PROPIEDADES DEL AGUA EN UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL				
Temperatura (°C)	Peso específico γ (KN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica μ (Pa s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75 x 10 ⁻³	1.75 x 10 ⁻⁶
5	9.81	1000	1.52 x 10 ⁻³	1.52 x 10 ⁻⁶
10	9.81	1000	1.30 x 10 ⁻³	1.30 x 10 ⁻⁶
15	9.81	1000	1.15 x 10 ⁻³	1.15 x 10 ⁻⁶
20	9.79	998	1.02 x 10 ⁻³	1.02 x 10 ⁻⁶
25	9.78	997	8.91 x 10 ⁻⁴	8.94 x 10 ⁻⁷
30	9.77	996	8.00 x 10 ⁻⁴	8.03 x 10 ⁻⁷
35	9.75	994	7.18 x 10 ⁻⁴	7.22 x 10 ⁻⁷
40	9.73	992	6.51 x 10 ⁻⁴	6.56 x 10 ⁻⁷
45	9.71	990	5.94 x 10 ⁻⁴	6.00 x 10 ⁻⁷
50	9.69	988	5.41 x 10 ⁻⁴	5.48 x 10 ⁻⁷
55	9.67	986	4.98 x 10 ⁻⁴	5.05 x 10 ⁻⁷
60	9.65	984	4.60 x 10 ⁻⁴	4.67 x 10 ⁻⁷
65	9.62	981	4.31 x 10 ⁻⁴	4.39 x 10 ⁻⁷
70	9.59	978	4.02 x 10 ⁻⁴	4.11 x 10 ⁻⁷
75	9.56	975	3.73 x 10 ⁻⁴	3.83 x 10 ⁻⁷
80	9.53	971	3.50 x 10 ⁻⁴	3.60 x 10 ⁻⁷
85	9.50	968	3.30 x 10 ⁻⁴	3.41 x 10 ⁻⁷
90	9.47	965	3.11 x 10 ⁻⁴	3.22 x 10 ⁻⁷
95	9.44	962	2.92 x 10 ⁻⁴	3.04 x 10 ⁻⁷
100	9.40	958	2.82 x 10 ⁻⁴	2.94 x 10 ⁻⁷

Fuente: Mott. R. L. Mecánica de fluidos. Sexta edición. México: Pearson Educación (2006)

Tabla 8. PROPIEDADES DEL AGUA EN UNIDADES DEL SISTEMA INGLÉS				
Temperatura (°F)	Peso específico γ (lb/pie ³)	Densidad ρ (slugs/pie ³)	Viscosidad dinámica μ (lb-s/pie ²)	Viscosidad cinemática ν (pie ² /s)
32	62.4	1.94	3.66×10^{-5}	1.89×10^{-5}
40	62.4	1.94	3.23×10^{-5}	1.67×10^{-5}
50	62.4	1.94	2.72×10^{-5}	1.40×10^{-5}
60	62.4	1.94	2.35×10^{-5}	1.21×10^{-5}
70	62.3	1.94	2.04×10^{-5}	1.05×10^{-5}
80	62.2	1.93	1.77×10^{-5}	9.15×10^{-6}
90	62.1	1.93	1.60×10^{-5}	8.29×10^{-6}
100	62.0	1.93	1.42×10^{-5}	7.37×10^{-6}
110	61.9	1.92	1.26×10^{-5}	6.55×10^{-6}
120	61.7	1.92	1.14×10^{-5}	5.94×10^{-6}
130	61.5	1.91	1.05×10^{-5}	5.49×10^{-6}
140	61.4	1.91	9.60×10^{-6}	5.03×10^{-6}
150	61.2	1.90	8.90×10^{-6}	4.68×10^{-6}
160	61.0	1.90	8.30×10^{-6}	4.38×10^{-6}
170	60.8	1.89	7.70×10^{-6}	4.07×10^{-6}
180	60.6	1.88	7.23×10^{-6}	3.84×10^{-6}
190	60.4	1.88	6.80×10^{-6}	3.62×10^{-6}
200	60.1	1.87	6.25×10^{-6}	3.35×10^{-6}
212	59.8	1.86	5.89×10^{-6}	3.17×10^{-6}

Fuente: Mott, R. L. Mecánica de fluidos. Sexta edición. México: Pearson Educación (2006)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Duarte, C. A. (1999). Hidráulica de flujo a presión. Bogotá: Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia.
- Giles V., R. (1993). Mecánica de fluidos e hidráulica (Segunda edición). México: McGraw Hill.
- Gutiérrez, N. & Arévalo, L. (2007). Diseño, instalación y puesta en marcha de los equipos golpe de ariete con almenaras, viscosidad y línea de energía para el laboratorio de ensayos hidráulicos. Bogotá: Corporación Universitaria Minuto de Dios, sede Carlos Eduardo Acosta.
- Laboratorios de hidráulica de la Universidad de los Andes en Bogotá.
- Laboratorio de instrumentación científica DAF-UNT. Rojas Alegría, G. R., Idrogo Córdova, J. C., Vásquez Díaz, J. N. Recuperado de: <file:///C:/Users/julian/Downloads/Descarga%20por%20orificios.pdf>
- Rocha Felices, A. (s.f.). Diseño de tuberías. En Autor, Hidráulica de tuberías y canales (pp. 134-186). Recuperado de <http://es.slideshare.net/VladimirLParedesL/hidraulica-detuberiasycanales>
- Rodríguez Díaz, H. A. (2011). Experimento de Reynolds. En Autor, Hidráulica experimental (Primera edición). Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Saldarriaga, J. (2007). Hidráulica de tuberías. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Sotelo Ávila, G. (1996). Empuje dinámico de un flujo sobre un cuerpo. En Autor, Hidráulica general (Vol. 1, pp. 527-544). México: Editorial Limusa.
- Streeter, V. (1985). Mecánica de los fluidos Octava edición. Capítulo 10, p. 477. Mc Graw Hill.
- Ven Te Chow. (1985). Hidráulica de los canales abiertos (Tercera edición). México: Editorial Diana.

El libro *Guías metodológicas para la realización de ensayos en los laboratorios de hidráulica de tuberías y canales* es un texto dedicado a orientar al usuario en la operación de los equipos, por otra parte guía al estudiante en el uso de formulas indispensables para realizar cálculos de variables que intervienen en el desarrollo de fenómenos propios de la hidráulica a presión y superficie libre, en el análisis de los resultados y cómo estos influyen en el objetivo de cada prueba conducentes a la comprensión y afianzamiento de conceptos teóricos. En su primera versión contiene 13 guías metodológicas correspondientes 7 de ellas al laboratorio de hidráulica de tuberías y 6 en hidráulica de canales y una guía para la presentación de informes. Se espera en un futuro entregar una segunda versión en la que se incluyan otros ensayos que no fueron tenidos en cuenta tales como *Banco de Pruebas de Cavitación Hidrodinámica*, *Red Cerrada de Tuberías*, *Bombas Centrífugas* y otros que se irán desarrollando mediante proyectos de grado.



UNIMINUTO
Corporación Universitaria Minuto de Dios
Sede Principal