

Planteamiento de una Ecuación Diferencial para la Determinación del Diámetro de la Válvula de Ventosa en un Sistema de Abastecimiento de Agua

Juan Pablo Rodríguez Miranda* Jorge Iván Barrera Torres**

Fecha de recepción: Noviembre 1 de 2006 - Fecha de aceptación: Junio 29 de 2007

*Ingeniero Sanitario, Msc Ingeniería Ambiental. Docente Investigador. Ingeniería Ambiental. Universidad Manuela Beltrán. Bogotá D.C., Colombia.
** Físico. Docente. Universidad Javeriana. Bogotá D.C., Colombia.

RESUMEN

El diámetro de la válvula de ventosa, tradicionalmente se ha estimado mediante relaciones hidráulicas en función del diámetro del conducto, pero el análisis del fenómeno integral del aire - agua en la tubería, es un aspecto que se considera en este artículo mediante el planteamiento de una ecuación diferencial, la cual considera variables significativas propias de este sistema.

Palabras Claves: Válvulas, ventosa, aire, caudal, velocidad, diámetro, orificio.

ABSTRACT

The diameter of the air valve, traditionally has been considered by means of hydraulic relations based on the diameter of the conduit, but the analysis of the integral phenomenon of the air - water in the pipe, is an aspect that considers in this article by means of the exposition of an equation differential, which considers significant variables own of this system.

Keywords: Valves, Sucker, Air, Volume of Flow, Velocity, Diameter, Hole.

Introducción

Generalmente la operación de un sistema de abastecimiento de agua en sus componentes de conducción y/o aducción, presenta un perfil irregular según la topografía propia del lugar, estableciendo una serie de singularidades que no se pueden soslayar dentro del conjunto de accesorios y tuberías al momento de transportar el agua a presión.

Dentro de las características, al momento de la operación del llenado o vaciado, el aire acumulado en los puntos altos (Ver figura No 1) de los sistemas de conducción es un problema serio al transporte del flujo dentro de la conceptualización del diseño y la operación del agregado del sistema (conducción y/o aducción), para lo cual se emplea una remoción mecánica del aire mediante las válvulas de ventosas (aire) que sirven tanto

para la expulsión como para admisión del aire (aunque también puede tener la relación de aire - vacío, acción combinada), sobretodo en los puntos de elevada cabeza hidráulica, disminuyendo inconvenientes en el sistema, tales como: cavitación, reducción de la sección transversal útil de la tubería, golpe de ariete, bajo del caudal de agua, incremento en la corrosión, aumento de pérdidas y posible ruptura de las tuberías. (HEILER, 1999)

De acuerdo con lo anterior, el aire acumulado en los puntos altos de la conducción del sistema de abastecimiento de agua, presenta contenidos volumétricos de aire cerca del 2% al 4% (equivalentes a 20 m de longitud de aire por cada 1000 m de longitud de tubería) y del 96% al 98% de agua en condición de operación continua, mientras que en situación del llenado los contenidos volumétricos de aire son del 96% al 98% y del agua del 2% al 4%. (RODRIGUEZ, 2006)

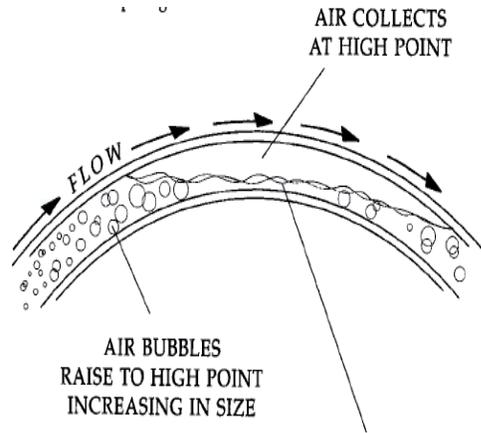


Figura No. 1. Volumen de aire y agua en un sistema de tubería.

Fuente: Val Matic. 1999.

La localización de las válvulas de ventosas en proyectos de abastecimiento de aguas (ver figura No 2), según la literatura especializada plantea lo siguiente: según el espaciamiento, se pueden utilizar válvulas de ventosas en tramos largos (al final de este) en donde no cambie de signo la pendiente (horizontales) cada 500 a 1000 m, y en pendientes ascendentes o descendentes cada 500 m, en donde ocurra un equilibrio entre la fuerza de empuje que actúa sobre la burbuja de aire y la fuerza que imprime la acción de circulación del flujo en dicha burbuja cada 600 m o 1000 m según la posición; según la ubicación, a la salida de la bocatoma (captación), del desarenador, planta potabilizadora, tanque de almacenamiento, estación de bombeo y en puntos notablemente altos en donde las cotas topográficas superen el gradiente hidráulico; según el accesorio que lo acompañe, antes o después de una válvula de aislamiento en función de la pendiente, también cerca de una i.e. para el vaciado de la tubería en fuertes desniveles, antes de la válvula de retención (cheque) en un sistema de impulsión, en la carcasa de la bomba, antes de los macro medidores para evitar errores de medición; según la ubicación, antes y después de un viaducto, canal, carretera que el sistema de conducción tenga que atravesarlo, y de manera general en las redes de distribución domiciliarias no se utilizan ventosas, debido a que el aire es expulsado por las conexiones domiciliarias. (RODRIGUEZ, 2005)

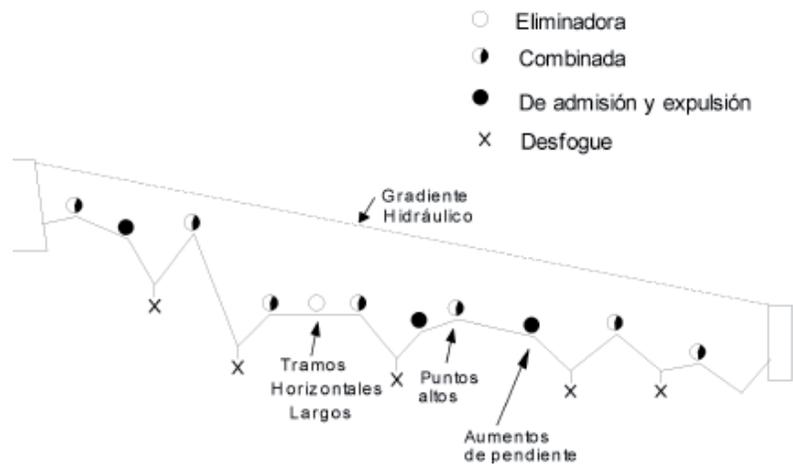


Figura No. 2. Localización de Válvulas de Ventosas Fuente: Cla Val. 2004.

Estas válvulas, a través del recorrido en los procesos de diseño y operación en el área de ingeniería sanitaria y civil, se han subestimado como fenómeno físico, desconociendo en algunos momentos el esquema, dimensionamiento y ubicación, no obstante existe literatura extensa y normatividades acerca del tema en términos del diámetro de la válvula de ventosa (aire), pero no del diámetro del orificio de salida del aire, excluyendo de esta forma variables que gobiernan el fenómeno tales como el caudal y velocidad del aire a evacuar, presión en el orificio entre otros, siendo estos influyentes en el sistema, debido a que el aire es un fluido compresible y como tal debe analizarse este gas dentro del conjunto y desde luego la evacuación del aire en consideración de las variables hidráulicas significativas del sistema agua, aire y tubería.

Expresiones para el dimensionamiento de Ventosas

Existen algunas ecuaciones que describen el dimensionamiento de las válvulas de ventosas; según la literatura, se señalan las siguientes (RODRIGUEZ, 2005):

a. Según Parmakian (1963):

Para $P_2 > 0.53 P_1$

$$D_{VENTOSA} = \frac{D_{TUBERIA} \times 0.036 \times \Delta V}{C} \times \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0.288} \right]^{-1/4} \quad (1)$$

El valor de 0.036 es constante y adimensional.

Para $P_2 < P_1$

$$D_{VENTOSA} = D_{TUBERIA} \times 0.071 \times \frac{\Delta V}{C} \times \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0.356} \quad (2)$$

El valor de 0.071 es constante y adimensional.

Donde, $D_{VENTOSA}$ es el diámetro de la ventosa (mm), $D_{TUBERIA}$ es el diámetro de la tubería (mm),

C es el coeficiente de descarga de la válvula (adimensional), ΔV es la diferencia de velocidades de llegada y salida (m/s), P_1 es la presión atmosférica (atm) y P_2 es la presión mínima admisible de la tubería (atm).

b. Según Lauro Arturo (1977):

$$D_{VENTOSA} = \frac{D_{TUBERIA}^2 \times S^{0.3}}{210.5 \times T^{0.3}} \quad (3)$$

El valor 210.5 es adimensional.

Donde $D_{TUBERIA}$ es el diámetro de la tubería (mm), S es la pendiente (declive) aguas abajo (%), T es el espesor de la tubería (mm) y el $D_{VENTOSA}$ es el diámetro de la ventosa en (mm).

- Según Aurelio Hernández Muñoz (1993):
(4)

$$D_{VENTOSA} = \left[\frac{6758.8 \times Q}{C \times \left(\frac{P}{n}\right)^{0.5}} \right]^{0.5}$$

Donde Q es el caudal de aire (m³/min.); C es un coeficiente que tiene un rango 74 - 113, P es la presión del sistema (Kg./cm²), n es un coeficiente de seguridad y D_{VENTOSA} es el diámetro de la ventosa en (mm).

- c. Según Cla Val (2004):
(5)

$$Q_{AIRE} = \mu \times D_{VENTOSA}^{\epsilon}$$

Donde, D_{VENTOSA} es el diámetro de la ventosa en (mm), Q_{AIRE} es el caudal de aire (m³/min.); μ, ε son constantes que pueden ser obtenidas mediante regresión de potencia, de datos generados por curvas de catálogos.

- d. Según Rodríguez (2005):
(6)

$$D_{ORIFICIO} = \frac{k \times V_{AIRE}^{\frac{1-3C}{3}} \times Q_{AIRE}^{\frac{6C-1}{7}} \times G_{AIRE}^C}{\Delta P^C}$$

D_{ORIFICIO} es el diámetro del orificio en la válvula de ventosa en (mm), Q_{AIRE} es el caudal de aire (m³/min.), G_{AIRE} es la velocidad másica del aire (Kg./cm² min.), V_{AIRE} es la velocidad del aire (m/s), ΔP es el diferencial de presión (Kg./cm²); Además, "k" es la constante de proporcionalidad y la constante "C" se pueden buscar mediante experimentación a escala piloto real.

En relación con lo anterior, se plantea una ecuación diferencial que integre las variables que rigen el sistema (tubería/agua/aire), en condición de operación continua del agua dentro de la frontera de la conducción del agua, desde el ámbito de la mezcla de aire (flujo compresible) con el agua (flujo incompresible) al momento del desplazamiento en un análisis físico integrado, de la siguiente forma:

Justificación Teórica Ecuación de Bernoulli:

En la naturaleza existe una gran variedad de cantidades físicas que se conservan bajo unas determinadas condiciones, tal es el caso de la energía (en todas las circunstancias), el momentum, la masa etc; tomando la conservación de energía, como cantidad física que se ha definido para poder dar justificación teórica y practica a muchos problemas en la

naturaleza, esta se determina indirectamente mediante la medición de parámetros; esta consideración es descrita por la ecuación de Bernoulli, que suministra información referente a la velocidad, la posición del sistema y agentes externos, pero como estas últimas tienen magnitudes pequeñas en comparación con las contribuciones externas, por consiguiente se desprecian.

De acuerdo con lo anterior, al suponer un tubo de corriente con dos puntos de observación completamente generales ver figura 3, podemos escribir la ecuación de Bernoulli (7) como (STREETER, 2000):

$$\frac{P_1}{\rho} + g \cdot h_1 + \frac{v_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + g \cdot h_2 + \frac{v_2^2}{2} \quad (7)$$

Donde P_1 y P_2 son las presiones, v_1 y v_2 las velocidades, h_1 y h_2 las alturas respectivamente, ρ la densidad del fluido que permanece constante, fluido incompresible y "g" la aceleración de la gravedad también constante.

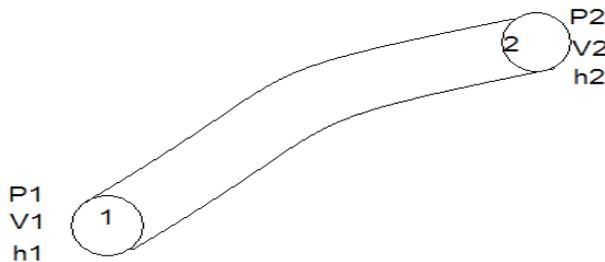


Figura No. 3. Tubo de Corriente
Fuente: Autores, 2006

nos relaciona el flujo que pasa a través de una determinada sección, se establece (STREETER, 2000):

$$\rho \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho \cdot A_2 \cdot v_2 \quad (8)$$

Por tanto, alcanzamos a concluir que la velocidad de desplazamiento del fluido a lo largo de toda la longitud del tubo permanece constante, lo que permite reducir la ecuación de Bernoulli a la expresión (STREETER, 2000):

(9)

$$\frac{P_1}{\rho} + g \cdot h_1 = \frac{P_2}{\rho} + g \cdot h_2$$

De tal manera que la diferencia de presiones la podemos escribir en términos de la altura (topográfica) a la que asentemos cada una de las secciones del tubo a estudiar, de la siguiente forma (STREETER, 2000):

(10)

$$P_2 - P_1 = \rho \cdot g \cdot (h_1 - h_2)$$

Este término nos suministra información de la conservación de la energía a lo largo del tubo, y además se observa que es independiente de la rapidez del fluido, esta solo depende de las condiciones de presión y posición que tengamos en todo momento.

Proceso adiabático:

Un proceso adiabático se define físicamente como aquel en el cual no se presenta flujo de calor durante el proceso, sin tener en cuenta lo que pueda

sucedan con la temperatura ni con las demás variables involucradas.

No se puede olvidar que el calor no es una forma de energía, sino que es el nombre a que se le da a una transferencia de energía que se suscita por una diferencia de temperatura, y por tanto debe su origen a principios microscópicos, aunque su manifestación es macroscópica.

La ecuación de estado para un gas adiabático en función de la presión y el volumen se expresa de la siguiente forma (GARCIA, 2004):

(11)

$$P \cdot V^k = cte$$

Donde P es la presión, V el volumen, k la constante de expansión adiabática, para el caso del aire tiene un valor de 1.4, esta constante es adimensional y se define como la razón entre las capacidades caloríficas a presión y a volumen constantes $k=c_p/c_v$; y es de recordar que la capacidad calorífica es la cantidad de calor que hay que suministrarle a una determinada sustancia (a presión o a volumen constante) para elevar su temperatura en un grado (Celsius o kelvin).

Además, como el calor permanece constante, la presión para todo momento como se representa (GARCIA, 2004):

(12)

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{\left(1 + \frac{k-1}{k} \cdot M^2\right)^{\frac{k}{k-1}}}$$

Donde P_0 y P son las presiones de entrada y salida respectivamente, M el número de Mach, que se define como el cociente entre la velocidad del fluido y la velocidad de sonido en el medio, y k el coeficiente de expansión adiabática.

Si se tiene un sistema que no presenta variaciones de temperatura con factores externos y los únicos cambios son debidos a agentes que fluyen por la tubería, se puede garantizar que la presión y también depende de la temperatura, velocidad del fluido, del número de Mach y factores propios del sistema. Por consiguiente, la relación que existe entre las temperaturas de entrada y salida del sistema es (GARCIA, 2004):

(13)

$$\frac{T_0}{T} = \frac{1}{\left(1 - \frac{k-1}{k} \cdot M^2\right)}$$

Donde T_0 es la temperatura del fluido en la entrada, y T es la temperatura en el punto de observación. De manera que la temperatura de salida la podemos escribir como (GARCIA, 2004):

(14)

$$T = \left(1 - \frac{k-1}{2} \cdot M^2\right) \cdot T_0$$

Como se presenta un equilibrio térmico entre todos los agentes involucrados durante el proceso debido a que están en contacto permanente, con la

ayuda de las ecuaciones de estado para un proceso adiabático en función de la temperatura definir como:

(15)

$$T \cdot V^{k-1} = cte$$

Luego, con la ecuación estado en función de la presión y el volumen, podemos escribir la presión en función de la temperatura como:

(16)

$$P = cte T^{k/k-1}$$

Reemplazando la temperatura en función del número de Mach y del coeficiente de expansión adiabático, obtenemos (GARCIA, 2004):

(17)

$$P = \left[1 - \frac{k-1}{2} \cdot M^2 \right]^{k/k-1} \cdot T_0^{k/k-1}$$

Flujo turbulento:

Cuando tenemos el desplazamiento de un fluido y durante el recorrido de este, se presenta de forma tal que su movimiento no es fácilmente descrito mediante un comportamiento regular, sino que por el contrario es de forma caótica presentando cambios en el valor de su magnitud y dirección de la velocidad decimos que se presenta un flujo turbulento, las partículas individuales están sujetas a velocidades transversales cambiantes permanentemente. Según, J. Boussinesq propuso una expresión matemática para determinar el esfuerzo de corte generado por las fluctuaciones de las velocidades en dichas situaciones de la forma (NIÑO, 2003):

(18)

$$P = \mu \cdot \frac{dv}{dy} + \xi \cdot \frac{dv}{dy}$$

Siendo dv/dy el gradiente de la velocidad, μ la viscosidad dinámica y ξ la viscosidad de remolino, la cual no es una constante y depende del grado de turbulencia del fluido, la cual esta definida como (NIÑO, 2003):

(19)

$$\xi = \rho \cdot L^2 \cdot \frac{d^2v}{dy^2}$$

Con L es la longitud de la tubería que varia dependiendo del sitio de ubicación y por tanto su grado de inclinación, ρ la densidad que permanece constante.

Planteamiento de la ecuación diferencial

Se realizarán consideraciones de las presiones sobre los agentes internos y externos de tal forma que podamos tener información del comportamiento real del sistema. Además, la presión la podemos escribir en función de cualquier cantidad física, por ejemplo la energía, la posición, temperatura, etc. Al estar realizando la descripción del comportamiento de un fluido tenemos como punto de partida la ecuación de conservación de energía, factor que siempre se conserva por principios de la naturaleza, es decir la ecuación de Bernoulli, que como se menciono anteriormente nos relaciona su comportamiento con los parámetros de velocidad, presión y

posición, se plantea en condiciones ideales y posteriormente se introducen las condiciones que describen el comportamiento de un fluido real de la siguiente forma:

$$P_1 - P_2 = \rho_w \cdot (H_{Ventosa} - H_{Datum}) \quad (20)$$

Donde: P_2 Presión de salida, P_1 Presión de entrada, $H_{Ventosa}$ altura en el punto ventosa, H_{Datum} altura de referencia, ρ_w la densidad del agua.

Como el fluido esta en permanente contacto térmico con el aire, el cual es un gas compresible y no se produce un flujo de calor con el exterior del sistema, tenemos el comportamiento de un proceso adiabático, y podemos escribir la presión como:

$$P_1 = \gamma \cdot \left[T_0^{k-1} \right] \cdot \left[1 - \frac{k-1}{2} \cdot M^2 \right]^{\frac{k}{k-2}} \quad (21)$$

Donde γ es una constante, T_0 la temperatura de entrada, k el coeficiente de expansión adiabático, M el número de Mach y P_2 la presión del aire en el punto ventosa. Al tener un fluido real, en el cual se presentan fuerzas de viscosidad, podemos escribir la presión en el fluido de la forma:

$$P_w = (\eta + \mu) \cdot \frac{d^l}{d^l} = \left(\rho_w \cdot L^2 \cdot \frac{d^l}{d^l} + \mu \right) \cdot \frac{d^l}{d^l} \quad (22)$$

De tal manera que al sumar todos los términos descritos anteriormente (21, 22), obtenemos la expresión general del comportamiento del sistema.

(23)

$$P_1 - \gamma \cdot \left[T_0^{k-1} \right] \cdot \left[1 - \frac{k-1}{2} \cdot M^2 \right]^{\frac{k}{k-2}} = \rho_w \cdot (H_{Ventosa} - H_{Datum}) + \left(\rho_w \cdot L^2 \cdot \frac{d^l}{d^l} + \mu \right) \cdot \frac{d^l}{d^l}$$

Como el término que esta escrito al lado izquierdo de la igualdad y el primer termino al lado derecho permanecen constantes, podemos ubicarlo en un solo factor que sigue permaneciendo constante (ϖ), esto con el propósito de escribir la expresión de una forma más asequible.

(24)

$$\varpi = \left(\rho_w \cdot L^2 \cdot \frac{d^l}{d^l} \right) \frac{d^l}{d^l} + \mu \cdot \frac{d^l}{d^l}$$

Expresión en la cual podemos escribir la longitud de la tubería en función del ángulo de inclinación con el cual se realice la instalación.

(25)

$$\varpi = \rho_w \cdot L^2 \cdot \left(\frac{d^l}{d^l} \right)^2 + \mu \cdot \frac{d^l}{d^l}$$

La anterior es una expresión diferencial ordinaria en términos del gradiente

de la velocidad del agua, la cual nos suministra el comportamiento de la misma. Luego, al momento de resolver la expresión anterior, se calcula el diámetro del orificio mediante la siguiente metodología:

- Asumiendo que la mezcla en el sistema es 95% de agua y 5% de aire, por consiguiente el caudal de agua es: (26)

$$Q_W = V_W \cdot A_{TUBO} = V_W \cdot \frac{\pi \cdot D_{TUBO}^2}{4}$$

- El caudal total en la mezcla corresponde a: $Q_{TOTAL} = Q_W + Q_{AIRE}$ (27), equivalentes a una relación de caudales de la siguiente forma: (28)

$$1.0 = Q_W \cdot 0.95 + Q_{AIRE} \cdot 0.05$$

- La velocidad del aire se determina así: $V_{AIRE} = M_1 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot R \cdot T_1}{W_{MOLECULAR}}}$

(29), donde k es el coeficiente de calor específico, R es la constante universal de gases, T_1 es la temperatura del aire en la salida y W es el peso molecular del gas.

- Por consiguiente, el diámetro del orificio de la válvula de ventosa se determina de la siguiente forma: (30),

$$D_O = \sqrt{\frac{Q_{AIRE} \cdot 4}{C \cdot Y \cdot \pi \cdot V_{AIRE}}}$$

aplicando la ecuación de continuidad, donde C es el coeficiente de descarga del orificio, Y es el factor de expansión adiabático.

Conclusiones

La determinación del diámetro del orificio en la válvula de ventosa para la expulsión de aire en un sistema de abastecimiento de agua en su componente de aducción y/o conducción, es importante realizarlo a través del planteamiento de una ecuación diferencial que exponga las variables involucradas en el fenómeno, dado que la aproximación en la resolución de dicha expresión tiene una utilidad significativa en el diseño de la línea de conducción sobre todo en punto altos topográficamente en donde la posibilidad de un arrastre de la burbuja de aire por el flujo de agua (remoción hidráulica) es baja dado las condiciones limitantes de factores tales como el diámetro de la tubería (100 mm a 200 mm), la pendiente del sistema (descendentes u horizontales) y la velocidad umbral (> 0.3 m/s); mientras que la remoción mecánica del aire es significativa cuando la remoción hidráulica no es posible, mediante la utilización de las válvulas de ventosas, por ello la importancia de la determinación del diámetro del orificio de esta válvula.

Además, se establece que el comportamiento del flujo de agua a través de una sección depende del gradiente de la velocidad mismo de este fluido, lo que suministra la información referente al dimensionamiento de las condiciones de instalación de las válvulas de ventosas, en términos

del diámetro del orificio. De otro lado, el hecho de utilizar materiales para tuberías tales como asbesto cemento, hierro dúctil y PVC entre otros, estos generan recintos adiabáticamente aislados en una primera aproximación para el diseño de válvulas de ventosas por las cuales circule el aire (compresible), garantizando de esta forma unas condiciones de estabilidad hidráulica.

BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Water quality in the distribution system. 2005.
- ANDERSON, Steven D. Getting control of contamination. Journal Hydrauliks & pneumatics. August 2005.
- ARI. Flow control accesories. Catálogo D 050 válvula ventosa combinada. 2002.
- BAINES, Douglas. Air cavities as gravity currentes on slope. Journal of hidraulic engineering. Volume 117. Number 12. December 1991.
- BAYARD. Ventouse automatique. Societe commerciale Bayard. Lyon. France. 1995.
- BOULOS, Paul. Hidraulic transient guidelines for protecting water distribution systems. Journal AWWA. May 2005.
- BOYD, Glen et al. Intrusion within a simulated water distribution system due to hidraulic transients. I: description of test rig and chemical tracer method. Journal of enviromental engineering. ASCE. July 2004.
- BOYD, Glen et al. Intrusion within a simulated water distribution system due to hidraulic transients. I: volumetric method and comparison of results. Journal of enviromental engineering. ASCE. July 2004.
- CLA VAL. Air valves, check valves and pinch valves for water and wastewater. 2004
- CMB INDUSTRIES. K flo. Butterfly valves. Product catalog.1998.
- GARBARINO John and RAJANI, Raj. Air valve take on a global identity. Journal Hydrauliks & pneumatics. January 2005.
- GARCIA, Eduard. Estudio teórico y experimental de modelos para cálculos y control de presiones subatmosféricas durante flujos transitorios. 2004.
- GRANT, Paul. Mixing valves deliver safe water temperatures proper equipment maintenance is the key to safeguarding against injuries. Journal Reeves. August 2005.
- GULLICK, Richard et al. Occurrence of transient low and negative pressure in distribution systems. . Journal AWWA. Numero 96. November 2004.
- HEILER, Robert. Valves for the water industry. 1999.
- HITE, John. Velocity or air core vortices at hydraulics intakes. Journal of hidraulic engineering. Volume 120. Numero 3. March 1994.
- KIRMEYER, Gregory et al. Practical guidelines for maintaining distribution system water quality. Journal AWWA. Number 93. July 2001.
- LEWIS, Andrew et al. Control valve induced pipeline virbrations in a paper pulp pumping systems. Proceedings of the 14 TH international pump users symposium. 2003.
- MOLLS, Thomas. Space time conservation method applied to saint venant equations. Journal of hidraulic engineering. Volume 124. Numéro 5. May, 1998.
- NIÑO V. José, DUARTE, A. C. Hidráulica de tuberías y maquinas hidráulicas, Segunda edición, departamento de ingeniería civil, Universidad Nacional de Colombia. Bogota D. C. Colombia, febrero de 2003.
- OKUN, Daniel. Distributing reclaimed water through dual systems. Journal AWWA. November 1997.
- PRESCOTT, Douglas. No air and no problems. Journal water environment & technology. August 1994.

- PURCELL, Patrick. Case study of check valve slam in rising main protected by air vessel. *Journal of hydraulic engineering*. December 1997.
- RAHMEYER, William. Dynamic flow testing of check valves. Nuclear industry check valve group. 1996.
- RODRIGUEZ MIRANDA, Juan pablo. Determinación de una expresión para el dimensionamiento de válvulas de ventosas de gran orificio. *Revista ACODAL*. Revista No. 211. Año 47. Octubre de 2005.
- RODRIGUEZ MIRANDA, Juan pablo. Influencia de la presencia del aire en el funcionamiento de conducciones a gravedad e impulsión para el transporte de agua. *Revista Sociedad de Ingenieros del Atlántico*. Revista Sociedad de Ingenieros del Atlántico. 2006.
- RODRIGUEZ MIRANDA, Juan pablo. Válvulas de ventosas: una aproximación a las ecuaciones de diseño. *Boletín científico universitario "Entérese"*. Universidad Manuela Beltrán. Año IX. No. 17. Diciembre de 2004.
- SCHNEIDER, Richard. A guide to air valve selection. *Journal Hydraulics & pneumatics*. February 2002.
- STEPHENSON, David et al. Effects of air valves and pipework on water hammer pressures. *Journal of transportation engineering*. March april 1997.
- STREETER V. L, WYLIE E B, BEDFORD K. W. *Mecánica de fluidos*, Novena edición, Mac Graw Hill, Novena edición, Santafé de Bogotá, Colombia. 2000.
- SUBHASH, Jain. Air transport in vortex flow drop shafts. *Journal hydraulic engineering*. Volume 114. Number 12. December 1988.
- TORINO. Válvulas de aire o ventosas. VHF 2. 1981.
- VAL MATIC. Why an air release valve opens during systems operation. Valve and manufacturing Corp.1998.
- VAL MATIC. Why an air release valve opens during systems operation. Valve and manufacturing Corp.1998.
- VAL MATIC. Air in pipelines. Sources, system impact and removal. 1999.
- VAL MATIC. Air release valve sizing. Valve and manufacturing Corp.1998.
- VAL MATIC. Air valves. Providing system efficiency and protection. Bulletin 1500. 1999.
- VAL MATIC. Catalogo. Application, function, purpose and release. 2005.
- VAL MATIC. Theory, application and sizing of air valves. 1997.
- WALKER, Roger. Water supply, treatment and distribution. Prentice Hall. 2000.
- WALKI, Thomas et al. Water distribution modelling. Haestad Press. 2001.
- WOOD, Don et al. Numerical methods for modeling transiente flow in distribution systems. *Journal AWWA*. Numero 97. July 2005.
- YANG, Kai lin. Practical method to prevent liquid column separation. *Journal of hydraulic engineering*. July 2001.