

# AV Válvulas de aire y amortiguación

Naftali Zloczower, BSc CE LE

Las válvulas de aire o ventosas son un medio importante de atenuar o amortiguar las ondas de presión. La precisión en las especificaciones, tamaños y ubicación de las válvulas es esencial para que los líquidos fluyan de manera efectiva y eficiente, y amortiguar o suprimir las ondas de presión de manera suficiente.

## Separación de la columna de agua y el golpe de ariete

En su mayoría, los eventos de golpe de ariete vienen acompañados por la separación total o parcial de la columna de agua. A veces, ésta se produce al comienzo del evento, antes del primer golpe de ariete positivo, y otras veces a continuación de ese golpe inicial. Cuando la separación se produce en una tubería, se forma una especie de vacío o cavidad, y por ello ese fenómeno recibe el nombre de “cavitación”. El grado de la separación (*total o parcial*) de la columna se expresa por la fracción de vacío, donde 1 (*la unidad*) expresa la separación total y cualquier valor inferior a 1 expresa una separación parcial. La separación total de la columna suele presentarse en estaciones de bombeo, en los puntos de instalación de válvulas en línea, y en los puntos altos (*picos*) de la tubería cercanos a la pendiente hidráulica. La separación total puede provocar serias caídas de presión, en función del cambio de velocidad en el momento en que se produce. La separación parcial puede ocurrir en casi cualquier punto a lo largo del tubo, si se dan ciertas condiciones. Por ejemplo, cuando dos ondas de presión negativa se cruzan y la carga negativa combinada es mayor que la carga de operación del sistema antes del evento,

pueden formarse cavidades intermedias.

Por lo general, cuando se habla de ondas de presión, la gente suele asociar el término con un aumento repentino y muy significativo de la presión. Por otra parte, si las definimos como un cambio súbito y muy significativo, la caída de la presión en la separación de la columna también puede considerarse como una onda de presión, en este caso negativa. Si esa onda es extrema, y la presión cae por debajo de la presión del vapor, la parte posterior (*la “cola”*) de la columna cambia de fase y pasa a ser vapor. El vacío, o cavidad, se llena de vapor y entonces se denomina “cavidad de vapor”.

Algunos distinguen entre “vacío” y “cavidad” atribuyendo este último término sólo a las cavidades de vapor, y definiendo la “cavitación” como el evento de formación de una cavidad de vapor. Los flujos transitorios suelen clasificarse en dos tipos de regímenes: el régimen de golpe de ariete, en que la presión no desciende al nivel de la presión de vapor del líquido y no hay “cavitación” (*es decir que no se forma una cavidad de vapor*), y el régimen de cavitación, en que la presión es igual o menor que la presión del vapor (Anton Bergant et al. 2006).

Cuando se inicia un evento a raíz de una onda ascendente causada por una columna de agua que golpea contra un extremo sin salida o una válvula cerrada (*por ejemplo, mientras se llena la línea*), la columna de agua “rebota” en el punto de impacto, dejando un vacío tras de sí. Este efecto de “rebote” puede considerarse como un evento de separación de la columna, que induce una onda negativa, la cual a su vez, produce una deceleración en el movimiento de la columna alejándose del punto de impacto, causa una inversión en la dirección del flujo y la consiguiente aceleración del mismo en dirección al punto de impacto. A raíz del aumento de velocidad causado por las fuerzas de atracción (*succión*) de la onda negativa, la segunda onda positiva

en el punto de impacto suele ser mayor que la onda inicial.

A fines del siglo XIX, Joukowsky, uno de los precursores del estudio de las ondas de presión que tuvo lugar en el siglo XX, y autor de la ecuación que lleva su nombre: observó y comprendió el fenómeno de la separación 
$$\Delta H = \frac{aV_0}{g}$$
 de la columna de agua, reconociendo que el segundo impacto (*la onda*) es más fuerte que el primero (Anton Bergant et al. 2006).

Si la onda de retorno llega al punto de impacto en el momento del impacto de la columna de agua que retorna, la onda positiva que se produce puede ser mucho mayor. Si la onda negativa en la separación de la columna llega a la presión del vapor y se forma una cavidad de vapor, el colapso de dicha cavidad incrementa notablemente la onda positiva. El tamaño de la cavidad de vapor depende tanto de la intensidad como de la duración de la onda negativa, así como la intensidad de la onda positiva subsiguiente se ve significativamente influida por el tamaño de la cavidad de vapor. A la segunda onda positiva seguirá una onda negativa, seguida por una serie de ondas positivas y negativas alternadas hasta agotar el exceso de energía del evento.

Muchos de estos eventos se inician a raíz de una separación de la columna de agua provocada por una onda negativa. El factor desencadenante puede ser el cierre repentino de una bomba (*un corte de corriente*



\* Este artículo fue publicado en el *magazín internacional en Español*, la “*Revista Internacional de Riego y Agua*”, Vol. 27; Núm. 3;2007

# de ondas de presión\*

*eléctrica, por ejemplo*), el cierre rápido y súbito de una válvula (*aguas abajo de la válvula*), reventones de tubería, vaciado de un tubo, aumentos repentinos de la demanda en períodos de bajo suministro, etc. Si no se produce el retorno de la columna de agua, como en el caso del vaciado de la tubería, es poco probable que haya una onda positiva subsiguiente, pero aun así el daño puede ser de gran envergadura.

Si la columna de agua retorna, se producirá una onda positiva, seguida por una serie de ondas negativas y positivas alternadas, al igual que en los eventos desencadenados por una onda de presión positiva.

En resumen, lo que ocurre durante la separación de la columna de agua y/o formación de una cavidad de vapor afecta notablemente a la intensidad de ambas ondas de presión, la negativa y la positiva. Si pudiéramos controlar la formación de cavidades en eventos de separación de la columna de agua, podríamos también controlar las series de ondas positivas y negativas producidas como consecuencia de tal evento. Aquí es donde entran en juego las válvulas de aire.

## Válvulas de aire y ondas de presión

Cuando las válvulas de aire se instalan a lo largo de la tubería en que se produce la separación de la columna, ellas actúan de dos maneras principales para controlar la onda negativa prevista como consecuencia de esa separación. A medida que la presión descendente en el sitio de la separación se va acercando a la presión atmosférica, las válvulas de aire se abren para admitir aire en la tubería y exponer el sitio de la separación a la atmósfera. El aire que ingresa sustituye a la columna de agua que se retira y así previene o controla la formación de una cavidad de vacío. Al exponer el sitio de la separación de la columna a la atmósfera, la válvula de aire



Instalación de prueba de ondas de presión

expone el sitio a la presión atmosférica y así detiene la caída de presión, evitando que siga descendiendo hasta la presión de vapor y genere la formación de una destructiva cavidad de vapor. Esto limita significativamente la intensidad de la onda de presión inicial, frena la aceleración de la columna de agua de retorno, evita el colapso de la cavidad de vapor (*puesto que no hay una cavidad de vapor*) y por tanto atenúa, e incluso elimina, cualquier onda positiva subsiguiente.

En el pasado, algunos especialistas en la materia, como el Dr. Don J. Wood de la Universidad de Kentucky, miraban con escepticismo a las válvulas de aire como medios de amortiguación de las ondas de presión. Ellos estaban convencidos de que las ventosas provocaban ondas locales, las cuales a menudo aumentaban la intensidad de las ondas de presión en todo el sistema. Eso era cierto, particularmente con las válvulas de aire nominales, conformes a la norma C-512 de la AWWA (*American Water Works Association*) para válvulas de aire. Las válvulas de aire y vacío están diseñadas para

proteger contra el vacío y tienen orificios de gran tamaño que permiten la entrada de grandes caudales de aire como medida de control de las ondas negativas. Cuando el mismo orificio es el de descarga o purga, el caudal de la descarga es también muy alto. La velocidad de la columna de agua a continuación de la descarga de la bolsa de aire es muy alta, y cuando la válvula de aire se cierra de golpe, la columna de agua se detiene en forma abrupta, lo cual genera una gran onda de presión positiva.

## "Air Slam" y las válvulas "Non-Slam"

Los doctores Don J. Wood y Srinivasa Lingireddy, los famosos expertos que desarrollaron el software de análisis de las ondas de presión en la Universidad de Kentucky (*hoy, Surge 2008*), han investigado este fenómeno, al que denominaron "Air Slam". Ellos publicaron (*con la colaboración del autor de este artículo*) un trabajo muy amplio en el número de julio de 2004 del *American Water Works Association Journal* (*Srinivasa Lingireddy et al. 2004*). En ese

trabajo se demostró que cuanto más grande sea el orificio de descarga, tanto mayor será la onda de presión, y que regulando la descarga de aire mediante la obturación parcial del orificio se puede eliminar la onda al cierre de la válvula. Para el estudio se utilizó una válvula de aire combinada D-060 HF NS (con dispositivo de prevención del golpe de ariete o “non-slam”) de A.R.I., y se demostró la supresión de la onda de presión o “air slam” que sí se produjo con una válvula de aire sin mecanismo de prevención. Esta válvula permite la entrada de aire con caudales muy elevados a través de su orificio nominal (el orificio grande), pero cuando la columna de agua retorna, el aire que se descarga a través de la válvula hace que se eleve un disco con un orificio mucho más pequeño, el cual cubre el orificio grande para regular la salida del aire a través del orificio pequeño.

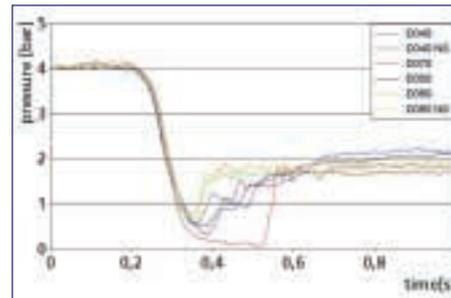
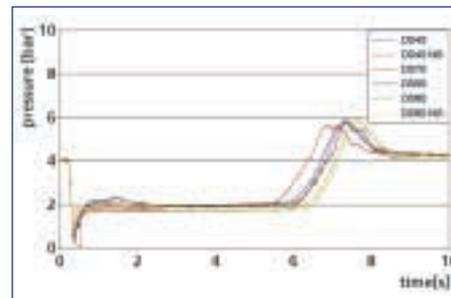
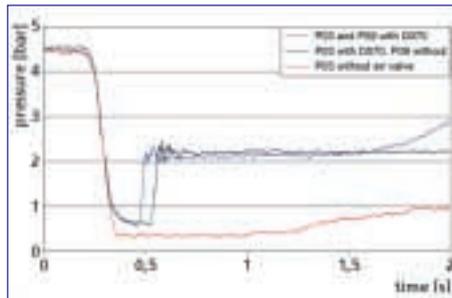
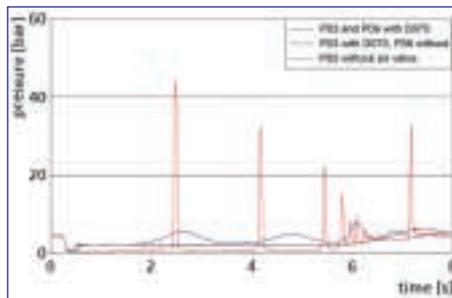
## Examen experimental de válvulas de aire en Fraunhofer UMSICHT

El Instituto de tecnologías medioambientales, de seguridad y energía de Fraunhofer (Fraunhofer UMSICHT) es un organismo tecnológico científico sin fines de lucro situado en la localidad de Oberhausen en Alemania. Fraunhofer UMSICHT goza de merecido renombre en toda Europa por sus contribuciones al estudio de las ondas de presión y por sus avanzadas instalaciones de investigación. El Dr. e Ing. Andreas Dudlik, Jefe de la División de tecnología de tuberías del Fraunhofer UMSICHT presentó en 1999 su tesis de doctorado sobre la investigación teórica y experimental del golpe de ariete y la cavitación en tuberías, y desde entonces ha llevado a cabo estudios y publicado varios artículos sobre el tema.

[in the figure] Válvula aislante

En noviembre de 2004, el Dr. Dudlik y sus colaboradores llevaron a cabo una serie de experimentos con válvulas de aire en las instalaciones especiales y avanzadas de prueba de ondas de presión del Fraunhofer UMSICHT en Oberhausen. Los experimentos tenían como finalidad investigar el comportamiento dinámico de seis modelos distintos de válvulas de aire fabricadas por A.R.I. Flow Control Accessories.

Mientras se bombeaba agua a través de una tubería de 100mm a una velocidad constante de 4 m/seg, se cerró muy rápidamente una



Presión a PO3 con y sin protección contra ondas de presión

llave de paso automática. Las pruebas se llevaron a cabo sin ningún dispositivo de protección y con la protección ofrecida por cada uno de los seis modelos de válvulas de aire de A.R.I. Tres de los modelos ensayados eran válvulas corrientes de aire combinadas: D-040, D-050, y D-060 HF. Dos eran del tipo combinada “non-slam” con flotador, una con descarga cinética en una sola etapa, modelo D-040 NS, y la otra con descarga cinética en dos etapas, modelo D-060 HF NS. La sexta válvula ensayada fue la novedosa y revolucionaria válvula de aire dinámica combinada, amortiguadora del golpe de ariete, sin flotador y accionada por diafragma, modelo D-070.

Algunos ingenieros especializados en la materia se muestran escépticos respecto de la utilidad de las ventosas en el control de ondas de presión, alegando que el tiempo de respuesta de las válvulas de aire es demasiado largo, lo cual permite la formación de graves golpes de ariete negativos antes de que las válvulas se abran. En los experimentos realizados en noviembre de 2004 por el equipo del Dr. Dudlik en Fraunhofer UMSICHT, se demostró que las válvulas de A.R.I. ensayadas reaccionaban con gran rapidez y que fueron extremadamente eficaces y eficientes en la protección de tuberías “contra el golpe de ariete cavitacional”. Más aún, el Dr. Dudlik expresa en sus conclusiones que “las válvulas de aire de A.R.I. son también capaces de reducir el golpe de ariete secundario si se

instalan aguas arriba de una válvula de cierre rápido” (Dr.-Ing. A. Dudlik et al. Septiembre de 2005).

## Conclusión

Las válvulas de aire de A.R.I., particularmente las de tipo “non-slam” y dinámicas, son herramientas sumamente eficaces y eficientes para suprimir las ondas de presión. En muchos casos se bastan solas, y en los sistemas con tubos de gran diámetro, si se instalan en combinación con otros dispositivos de amortiguación del golpe de ariete, tales como válvulas de retención (cheque) con control hidráulico, tanques de aire, depósitos de compensación, válvulas de control de contrapresión, etc., las válvulas de aire constituyen el medio de protección con la mejor relación coste-beneficio.

Para recibir referencias al artículo, se puede recurrir a A.R.I. e.mail: [zeev@ari.co.il](mailto:zeev@ari.co.il)



[www.arivalves.com](http://www.arivalves.com)

Marque 3 en la tarjeta