

# ***Utilización de ventosas como elemento de protección en transitorios hidráulicos***

*Ignacio Gandarillas Prieto*

*Product Manager ARI Flow Control Accesories Ltd.*

*Departamento Técnico Regaber – Hidroglobal.*

[igandarillas@hidroglobal.com](mailto:igandarillas@hidroglobal.com)

## **Introducción.**

Las ventosas o válvulas de aire son una de las diversas herramientas disponibles para el control de transitorios hidráulicos. Una correcta especificación de la válvula, su ubicación dentro de la instalación y un dimensionamiento de la misma realizado mediante un modelo computacional adecuado, son de vital importancia para la eficacia de la protección.

Si bien, las ventosas son un tipo de válvula ampliamente utilizada para la gestión del aire en el interior de las conducciones de agua a presión, no lo son tanto a la hora de protagonizar un papel supresor de las presiones negativas en los puntos altos de las tuberías.

En el presente trabajo, se describen las diferentes válvulas de aire que se desarrollaron para la utilización de forma segura en episodios de transitoriedad hidráulica, sin que ello suponga la aparición de sobrepresiones.

En la actualidad existen poderosas herramientas informáticas capaces de modelar con alto grado de exactitud el comportamiento de las ventosas en estas situaciones. Esto nos permite combinarlas con otras tecnologías para poder realizar recomendaciones técnicas 100% fiables y con costes de implantación menores.

Se prestará especial atención a la ventosa de efecto dinámico desarrollada por ARI Flow Control Accesories Ltd y se comparará su rendimiento con ventosas antiarriete convencionales.

## **El fenómeno del Golpe de Ariete.**

Los transitorios hidráulicos, que normalmente afectan a las conducciones de agua a presión, se producen como consecuencia directa de variaciones bruscas en el caudal, la presión o la velocidad del fluido.

Se trata de un movimiento oscilatorio de las ondas de presión, que se propaga a lo largo de toda la conducción, generando ondas de presiones negativas y picos de presión que se suceden en periodos de tiempo muy cortos.

Por lo general están producidos por paradas bruscas de los equipos de bombeo o cierres súbitos de válvulas de corte, que, en definitiva, producen un cambio brusco en la velocidad del agua, transformando la energía cinética (energía de movimiento), en energía potencial (energía de presión).

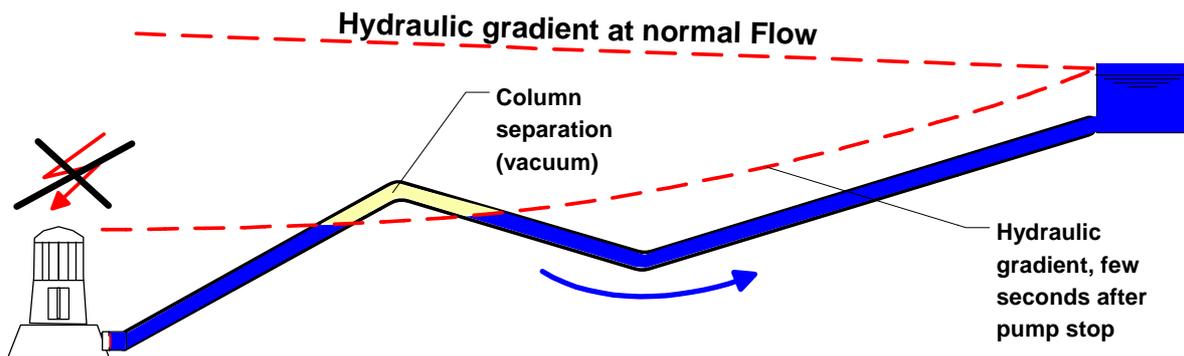
Una manera muy simple de cuantificar la máxima sobrepresión generada durante un transitorio hidráulico es mediante la “Ecuación de Joukovsky” (o del “Pulso de Allievi”), basada en el principio del diferencial de velocidad.

$$\Delta H = (c/g) \Delta V$$

El factor  $\Delta H$  es el valor de la sobrepresión máxima (mca),  $c$  la celeridad de la onda (m/s) (que es la velocidad de propagación de la onda a lo largo de la conducción y que depende de varios factores, tales como el material de la misma, la relación entre el diámetro y el espesor...entre otros),  $\Delta v$  es el diferencial de velocidad (m/s) y  $g$  la aceleración gravitacional ( $m/s^2$ ). De esta forma, una variación en la velocidad del fluido de 1 m/s, en una tubería de acero (con valores típicos de la celeridad próximos a 1000 m/s) originaría una sobrepresión de 10 atm.

La sobrepresión generada, llamada “onda de alta presión”, viaja por la conducción. Seguida de esta, se produce una segunda fase de depresión, llamada “onda de baja presión”. El ciclo de onda de alta presión seguido de una de baja presión se repite una y otra vez, viajando las ondas dentro de la conducción y en ambos sentidos, pudiendo ocasionar graves daños a la tubería.

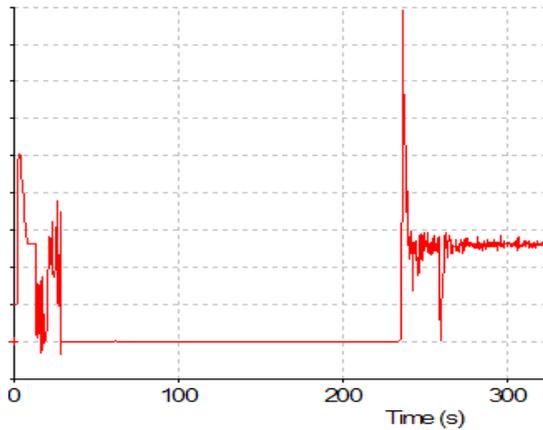
Cuando esto sucede, un fenómeno denominado “separación de columna de agua” aparece en el punto de descarga de la bomba, o aguas debajo de la válvula. Se produce entonces una zona donde la presión cae por debajo de la presión de vapor de agua (en algunos casos inferiores a la presión atmosférica). Se dice que se ha desarrollado una zona de “cavitación”, donde el agua en estado líquido se vuelve gas a temperatura ambiente, consumiendo energía del sistema y la cual se expande detrás de la columna de agua que avanza debido a su inercia.



Es justo en este momento, cuando se produce un fenómeno por el cual, la zona de “cavitación” (zona de presión subatmosférica) succiona, por decirlo de alguna manera, la zona de presión positiva, aumentando la velocidad de retorno de esta hasta la zona de vacío.

Cuando la columna de agua regresa al punto donde se ha producido la separación de columna de agua, aumenta la presión a niveles positivos, colapsando la cavitación y produciendo una enorme desaceleración del flujo. La columna de agua impacta literalmente contra la válvula de retención de la bomba (que está cerrada) o contra el obturador de la válvula. En este momento una considerable cantidad de energía es liberada como consecuencia de la vuelta al estado líquido del vapor de agua generado durante la fase de presión negativa. Las implosiones producidas en este instante, junto con el golpe de ariete en el choque de la columna de agua genera un pico de presión positivo, que es el causante de reventones en las tuberías.

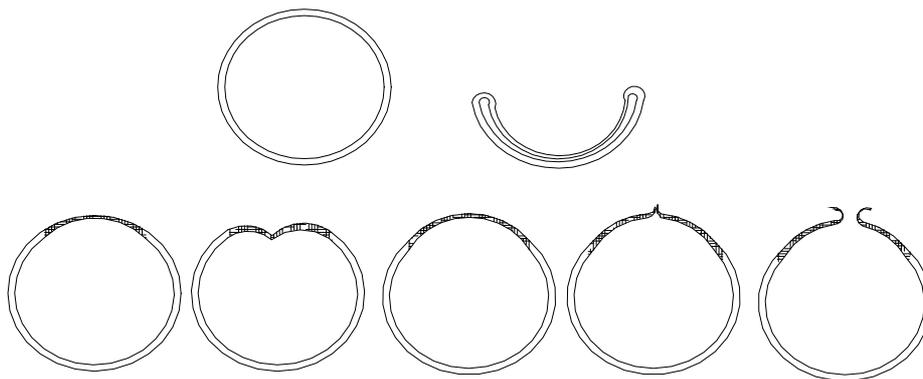
Por lo general, cuanto mayor es el volumen de las cavidades de vapor, mayor es la desaceleración que se produce, y por tanto mayor es la magnitud del golpe de ariete.



*A la izquierda se muestra un gráfico de la evolución de las presiones tras un paro repentino de los equipos de bombeo. Se puede observar que la cavidad de vapor persiste durante un largo periodo de tiempo antes de aparecer una fuerte sobrepresión. A la derecha una fotografía con los daños provocados en un evento de tales características.*

A medida que la columna de agua rebota contra la clapeta de la válvula de retención de la bomba o contra el obturador de la válvula de corte, el fenómeno descrito anteriormente se repite una y otra vez, produciendo el mismo patrón de fase de presión negativa seguida de fase de sobrepresión. Este fenómeno se repetirá hasta que la fricción disipe la energía.

Las oscilaciones de presión que se producen en un transitorio hidráulico, como ya se ha comentado, se propagan a lo largo de toda la conducción. Los efectos negativos de estas oscilaciones son bien conocidos y las experiencias de roturas en conducciones debidas a los efectos del golpe de ariete son numerosas.



*Evolución de una rotura que sufre oscilaciones de presión debidas a transitorios.*

En este sentido, existirán zonas de la instalación más vulnerables a la cavitación, como por ejemplo los puntos altos de la conducción que estén próximos al gradiente hidráulico. Estos puntos son susceptibles de sufrir un aplastamiento por colapso debido a que el fenómeno de separación de columna de agua que se origina es muy severo.



*Tubería de acero aplastada por colapso debido a presiones negativas en su interior.*

## **Dispositivos disponibles de protección del Golpe de Ariete.**

Para evitar las situaciones anteriormente descritas existen diferentes alternativas.

La primera opción podría ser el dimensionar las conducciones de tal manera que resistan mecánicamente las presiones negativas y los picos de presión del transitorio sin que sufran ningún daño. Desde luego que esta opción no sería viable desde el punto de vista económico.

Otra opción sería centrarse en mitigar la causa de este fenómeno, a través de dispositivos de acción directa, como pueden ser los volantes de inercia que se instalan en algunos equipos de bombeo o las válvulas de retención de cierre lento y programado. En este caso nos encontramos con un mismo problema de alto coste económico, sobretodo en grandes impulsiones. Este tipo de sistemas los podemos calificar como dispositivos de “acción directa”.



*Válvulas de retención controladas hidráulicamente. El motor hidráulico controla el tiempo de cierre de la clapeta.*

Por último quedaría intentar eliminar los efectos que produce el transitorio. En este caso, los dispositivos empleados se denominan de “acción indirecta”, entre los que se encuentran los calderines antiarriete, las válvulas de alivio de presión, las chimeneas de equilibrio, los tanques unidireccionales o las ventosas, por citar algunos de ellos.

En instalaciones de pequeño y mediano tamaño, las tecnologías más comúnmente aplicadas son las referentes al uso de tanques antiarriete (calderines) y en menor medida las válvulas de alivio de presión y/o válvulas anticipadoras de onda.

Los calderines antiarriete son dispositivos basados en la ley de Boyle-Mariotte, y utilizan las propiedades de los gases a presión para almacenar el agua a una presión igual a la de servicio de una conducción, de manera que si se produce una cavidad por presiones negativas, el calderín restituirá dicho volumen de agua, y al revés, almacenará agua en su interior, cuando suceda la onda de presión positiva, intentando el Antiarriete mantener la presión gracias a la compresión o expansión del gas de su interior. Es decir, que protegen la instalación de las altas presiones y de las bajas presiones.

Existen varios tipos de antiarriete, los llamados calderines de compresor, los de vejiga y los híbridos. Los calderines de compresor utilizan un compresor de aire, conectado al recipiente, que mantiene la presión de gas en su interior de manera constante. Al no disponer de una separación física entre el gas y el fluido, parte de este gas se escapa por disolución al interior de la conducción, por lo que se hace necesario inyectar aire de manera casi constante. Los calderines de vejiga en cambio, separan el gas del agua mediante una membrana de caucho. El interior del depósito queda presurizado con aire o nitrógeno y no tiene posibilidad de que se escape a la tubería. La presión de tarado se realiza inyectando aire a través de una válvula instalada a tal efecto.



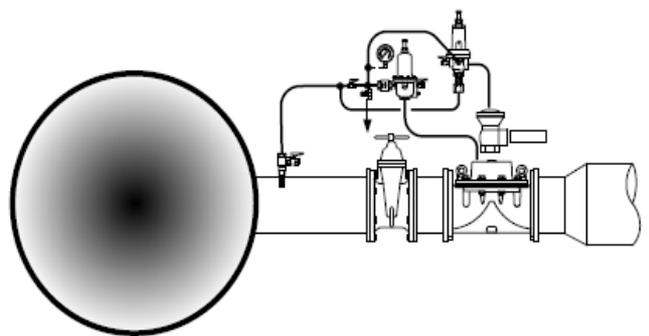
*Tres tipos de calderines antiarriete: A la derecha uno de tipo “con compresor”, en el centro uno de tipo “vejiga” y a la derecha un calderín “híbrido”, menos utilizado.*

En los últimos tiempos, parece que el mercado español se decanta por la versión “de vejiga”, en detrimento de los de tipo “con compresor”, sobre todo por los inconvenientes técnicos que estos tienen. Por citar alguno, decir, que se necesita disponer de un equipo compresor de aire de manera permanente, requiriendo disponibilidad eléctrica en la zona y un grupo electrógeno de emergencia. Además, los complicados sistemas de control (instrumentación, panel de control, sistema de alarma, etc...) hacen que su mantenimiento sea más costoso, y exista riesgo de robo y vandalismo. Por otro lado, y no menos importante hay que citar que el hecho de que exista una fuga permanente de aire hacia el interior de la

conducción, produce por un lado un mayor riesgo de corrosión de los materiales, y por otro que se modifiquen las condiciones del sistema, dado que al existir aire dentro de la tubería, aumenta la rugosidad y por tanto las pérdidas de carga por fricción, además de la creación de bolsas de aire que disminuyan el rendimiento general de la instalación.

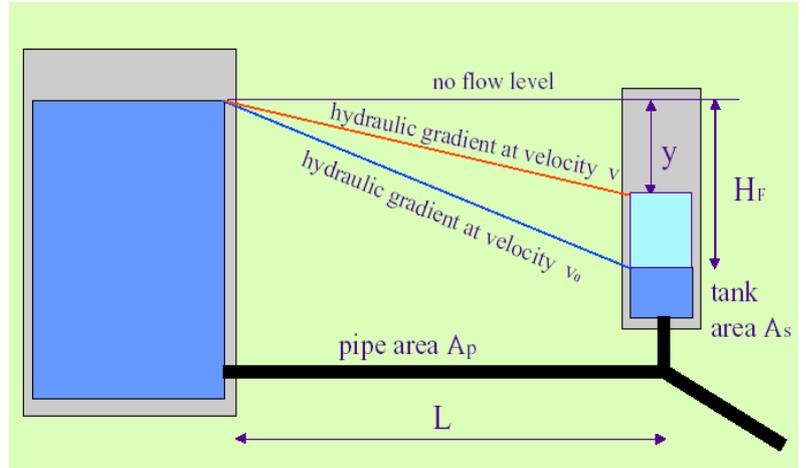
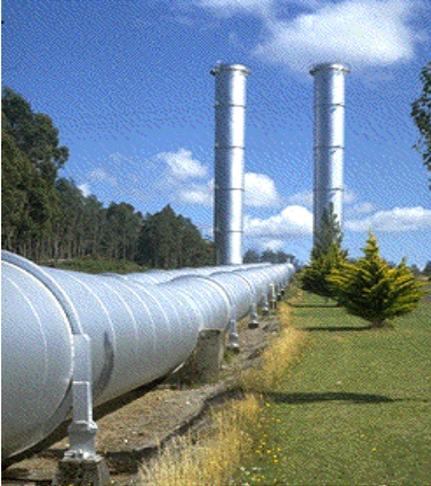
Las válvulas de alivio de presión son otro de los dispositivos ampliamente utilizados en instalaciones de pequeño y mediano tamaño. Se trata de válvulas activadas por la propia presión de la red, que controladas por un piloto hidromecánico regulable, es capaz de abrirse instantáneamente cada vez que la presión de la tubería alcanza un valor prefijado. La válvula, instalada en derivación, alivia el exceso de presión (evacuando caudal de agua a la atmósfera), protegiendo la instalación de la onda positiva (alta presión). Cuando el valor de la presión disminuye por debajo del valor de calibración, el piloto posibilita que la válvula se cierre lentamente, como para que no produzca otro golpe de ariete secundario.

A partir de aquí, existen en el mercado diferentes tipologías de válvulas de alivio. Quizá la más importante sea la denominada “Válvula Anticipadora de Onda”. Como su propio nombre indica, se anticipa a la onda positiva, y no se hace necesario alcanzar valores de presión elevados para que abra.. Se trata simplemente de una válvula comandada por dos pilotos hidromecánicos. Uno de ellos detecta la caída de presión justo en el momento de parada de los equipos de bombeo, lo que produce la apertura de la válvula, de manera que en el momento en que regresa la onda positiva, ya está abierta y alivia la presión. El segundo piloto cierra la válvula de manera lenta y controlada cuando los valores de presión alcanzan los normales de la instalación.

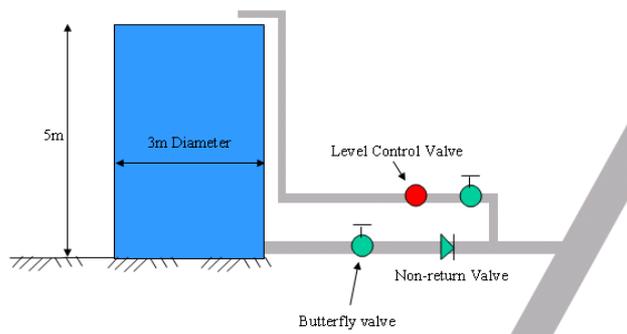


*Válvula anticipadora de onda instalada en derivación sobre la tubería principal.*

En instalaciones de mayor entidad, se hace necesario mover enormes masas de agua, por lo que se opta por la instalación de dispositivos tales como las chimeneas de equilibrio y/o tanques unidireccionales o bidireccionales.



*Chimeneas de equilibrio.*



*Tanques unidireccionales*

## Las válvulas de aire o “ventosas”

Los dispositivos utilizados generalmente en las conducciones de agua a presión para gestionar el aire del interior de la tubería son las válvulas de aire o ventosas.

Las ventosas son dispositivos mecánicos muy simples, cuya finalidad es la de permitir la descarga de aire de la tubería, durante la operación de llenado de la misma; la de permitir la entrada de aire, durante las operaciones de vaciado intencionado y durante los vaciados no intencionados ocasionados por roturas; y la de purgar las bolsas de aire que se acumulan en los puntos altos de las tuberías, durante el funcionamiento normal de estas.

Las ventosas bifuncionales o de “gran orificio”, funcionan únicamente cuando no existe presión dentro de la tubería. Se caracterizan por tener un orificio de paso de aire grande. El diámetro del orificio es fundamental para determinar la capacidad de evacuación y admisión de aire. Este orificio, en la mayoría de los casos, dispone de un asiento engomado que asegura la estanqueidad mientras el flotador está obturándolo.

Son útiles para sacar grandes cantidades de aire de la tubería, generadas principalmente por causas propias del sistema (puesta en marcha de bomba, llenado de tuberías, etc.) y para introducir aire de la atmósfera a la tubería (vaciado de tubería o aparición de presiones subatmosféricas).

Las ventosas de gran orificio clásicas se fundamentan en una boya o flotador que es empujado por el agua de la tubería. Cuando no llega agua a la válvula, el flotador descende y abre el orificio permitiendo la entrada o salida de aire. Cuando llega el agua a la válvula, ésta hace ascender el flotador cerrando el orificio de salida de aire e impidiendo la salida de agua. Esto sucede así únicamente si no existe presión dentro de la tubería. También son numerosos los diseños diferentes para este tipo de ventosas, si bien existen ventosas con la boya esférica, cilíndrica, en forma de campana, guiada, con levas y palancas, etc...

Durante el funcionamiento normal del sistema, estando éste presurizado y la ventosa cerrada, pequeñas cantidades de aire que circulan por la tubería pueden entrar y quedar acumuladas en la válvula. Estas acumulaciones de aire no serán evacuadas al exterior debido a que la presión del sistema mantendrá el flotador elevado, cerrando el orificio de salida de la válvula. Esto sucede así debido a que la fuerza resultante de la presión ejercida sobre el orificio es superior al propio peso del flotador, y por lo tanto, aunque el agua descienda el flotador no caerá.

Debido a esto, se suelen incorporar purgadores de aire a las ventosas de gran orificio, de manera que descarguen el aire que se encuentra a presión.



*Ventosas trifuncionales.*

Teóricamente, se pueden utilizar como mecanismo de control indirecto de un transitorio hidráulico, actuando siempre en la fase depresiva del mismo (onda de presión negativa), permitiendo un ingreso masivo de aire al sistema, que impida la formación de cavidades de vapor y por tanto separación de columna de agua, actuando como amortiguador de la onda positiva, atenuando las sobrepresiones que se pueden producir.

En la práctica, cuando esto ocurre, en la mayoría de los casos se producen problemas asociados al “mal” funcionamiento de las ventosas, por lo que en ocasiones, se prefiere desinstalarlas. Algunos de estos problemas se describen a continuación.

## **El golpe de ariete mecánico producido por el cierre dinámico de una ventosa de gran orificio – “Air Slam”.**

Las ventosas son un elemento de protección barato y relativamente fiable, si bien es cierto, es necesario realizar algunas aclaraciones y consideraciones, ya que si no se emplean de manera correcta, estas podrían dar lugar a problemas adicionales.

Primero, hay que saber que las ventosas de gran orificio permiten la expulsión del aire, a través de su orificio, a velocidades relativamente altas, lo que puede ocasionar ciertos problemas a tener en cuenta durante las operaciones de llenado de la instalación o si esta sufre episodios de transitoriedad hidráulica..

Uno de estos problemas es el golpe de ariete mecánico inducido en el cierre dinámico de la ventosa, lo que en Estados Unidos se denomina “Air Slam”.

Se puede asimilar el cierre de una ventosa con el cierre brusco y repentino de una válvula de corte. En este sentido, en ambos casos se producirá una desaceleración de la velocidad de paso, por lo que se generará un transitorio hidráulico.



*Flotador cinético de acero inoxidable totalmente deformado por un cierre brusco.*

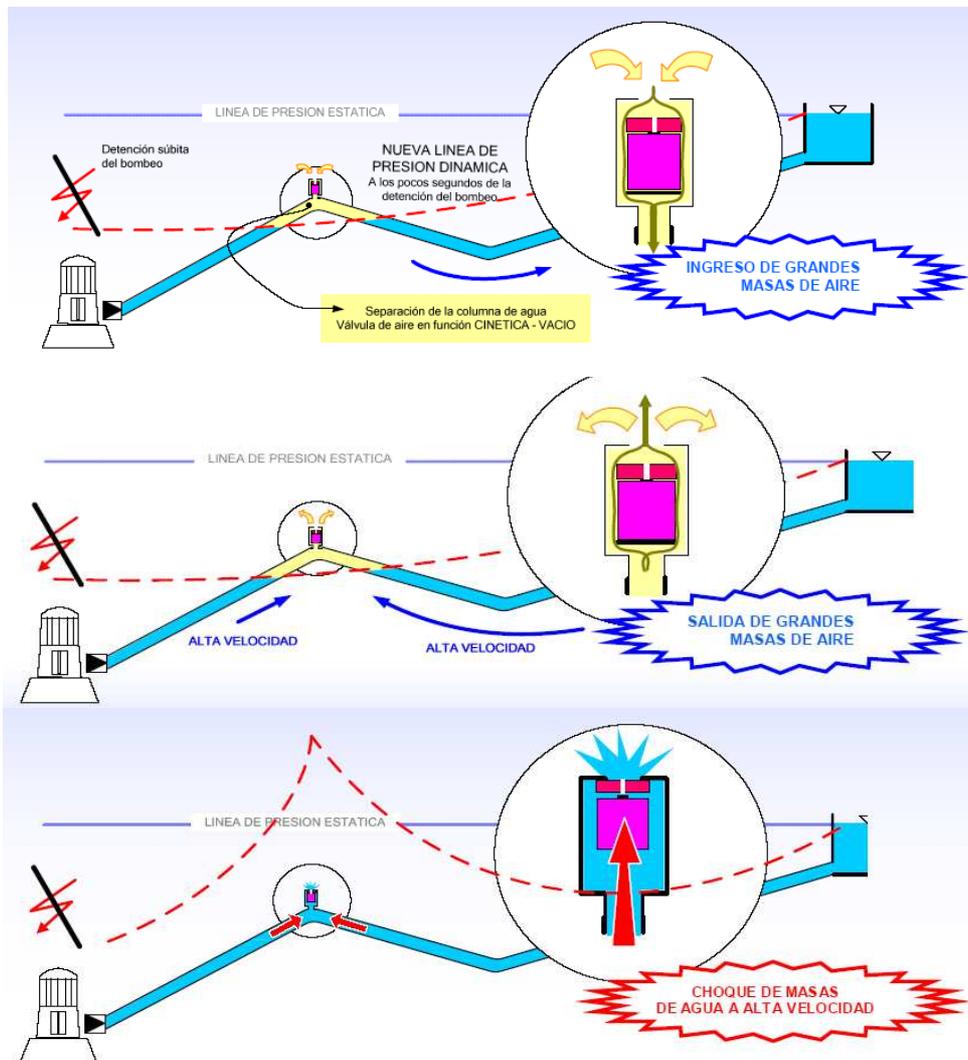
También es posible calcular la sobrepresión máxima que se produce en el cierre del flotador de una ventosa de diámetro determinado cuya curva característica es conocida y real, así como la presión en la que se produce el cierre del flotador.

$$\Delta H = \frac{C}{gA} \frac{Q_A}{2}$$

En este caso  $Q_A$  es el caudal de expulsión de aire real de la ventosa en el momento del cierre del flotador ( $m^3/s$ ) y  $A$  la superficie transversal de la conducción. Por ejemplo, una ventosa de 200 mm de diámetro nominal, capaz de evacuar un caudal de aire de  $3,6 m^3/s$  en el momento del cierre dinámico que se produce a 3 mca de diferencial de presión, y que está instalada en una tubería de 1.600 mm de diámetro, producirá un golpe de ariete en el cierre dinámico de 92 atm. Si la ventosa cerrara a un diferencial de presión mayor, al aumentar el valor de caudal de evacuación de aire, la sobrepresión generada en el cierre sería aún más importante.

Segúidamente hay aclarar que las ventosas solamente actúan durante la fase de onda de presión negativa o depresiones que puedan producirse durante un transitorio. En este caso, la ventosa permitiría la admisión de aire atmosférico al interior de la conducción, a través del punto alto donde está instalada, cuando la presión en ese punto cae por debajo de la atmosférica y se produce la separación de la columna de agua, actuando como elemento rompedor del vacío y evitando así, que se produzca una cavidad de vapor de agua.

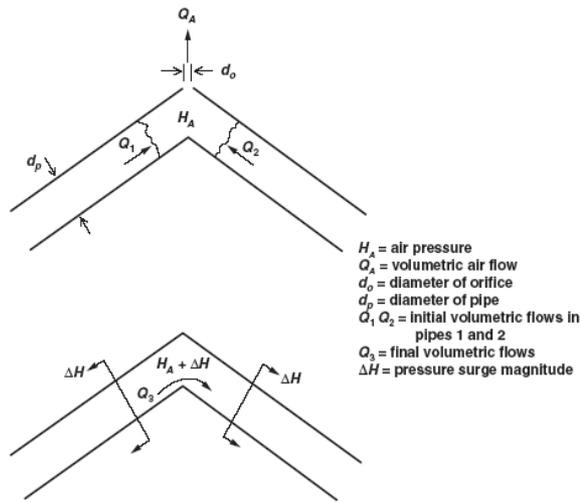
Al instante de haberse producido la fase de presión negativa, se produce un aumento súbito de la presión (onda positiva) que produce que las dos columnas de agua que se habían separado vuelvan a juntarse. En este supuesto, el volumen de aire, que se había introducido a través de las ventosas, debería ser expulsado de la conducción, en condiciones de seguridad para que no se produzcan golpes de ariete inducidos en el cierre dinámico de la ventosa.



*Separación de columna en un punto alto y cierre brusco de la ventosa.*

Es esta situación la que plantea la mayoría de los problemas que acontecen en la línea cuando existen ventosas convencionales instaladas en los puntos altos.

De esta forma, si la ventosa instalada es una ventosa de efecto cinético (que implica una gran capacidad de aireación unida a un diferencial de presión de diseño alto que evita el cierre prematuro) y con un único orificio para la admisión y expulsión de aire, nos encontraremos con que el gran volumen de aire introducido se descargará de la tubería con excesiva velocidad, permitiendo que las dos columnas de agua separadas choquen, la una contra la otra, a la misma velocidad, produciendo un violento choque que generaría un pico de presión extremadamente alto, que sumado a la sobrepresión generada en el cierre de la ventosa, pueden provocar violentas roturas en la conducción.



Salida del aire a través del orificio de una ventosa por un punto alto. A la derecha, imagen de una rotura..

Si la ventosa instalada no está diseñada según criterios de “efecto cinético”, el flotador de la ventosa cerrará prematuramente al llegar la onda de presión positiva, y dejará una bolsa de aire atrapado entre dos columnas que chocan violentamente, lo que provocaría que la bolsa de aire se comprima demasiado como para producir una implosión.

Con el afán de ofrecer una solución a este problema, algunos fabricantes de ventosas desarrollaron modelos “No Slam”, “Surge Arrestor”, “Antiarriete” o “De Cierre Lento”, según cada uno.

La experiencia ganada en los últimos años en este tipo de situaciones recomienda seriamente la simulación del transitorio y la selección de las ventosas utilizando los modelos computacionales, desarrollados para tal efecto, y que obtienen resultados muy satisfactorios, en aquellos casos donde se ha modelizado el sistema correctamente. Algunos de estos programas permiten fijar que tipo de ventosa vamos a utilizar, así como los diámetros de orificios necesarios para los supuestos de introducción de aire en la fase de presiones negativa y la de expulsión de aire en la fase de presiones positivas.

## Ventosas “antiarriete” o “de cierre lento”

En la actualidad, existen diferentes soluciones mediante ventosas de dos y tres etapas, capaces de expulsar el aire de forma lenta y controlada, pero que no siempre solucionan el problema en la línea.

El principio de funcionamiento de las mismas se basa en la dualidad de orificios, de manera que uno de ellos se utiliza para la admisión de grandes volúmenes de aire, y el otro, de un diámetro menor, es el utilizado para la expulsión del aire, restringiéndoles la salida, y por tanto disminuyendo su velocidad. Además produce un efecto “amortiguador” de la columna de agua hasta que esta llega al cuerpo de la ventosa y cierra la boya. Al ser menor la desaceleración, la sobrepresión generada es también menor.

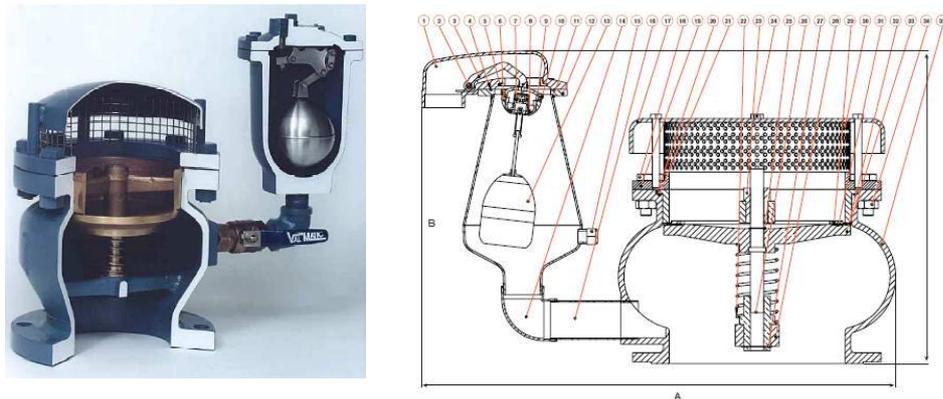
Este tipo de ventosas suelen adquirir diferentes nomenclaturas, dependiendo del fabricante. En este sentido, nos encontramos ventosas antiarriete, NS (No Slam), SA (Surge Arrestor), Anti-Shock, de cierre lento, de cierre progresivo, etc. Para no caer en errores, las denominaremos ventosas amortiguadoras del golpe de ariete o ventosas antiarriete. Algunas de estas soluciones se describen a continuación.

## Ventosas amortiguadoras del golpe de ariete de 2 Etapas

Las ventosas antiarriete de dos etapas son de hecho una válvula interruptora de vacío con un orificio de salida pequeño (automático) y un orificio más grande para la entrada de aire.

Se trata simplemente de una válvula aductora de aire (vacuum breaker) convencional (caracterizadas por permitir únicamente la entrada masiva de aire en la tubería), a la que se le ha añadido un purgador o ventosa trifuncional más pequeña a un costado, por donde expulsa el aire lentamente.

El orificio de salida se mantiene en su sitio gracias a la acción de un resorte, de modo que la descarga de aire se produce únicamente a través del orificio pequeño. En condiciones de vacío dentro de la tubería el disco de la válvula de retención se abre para permitir el ingreso de aire a través del orificio grande.



*Diseños de ventosas antiarriete de diferentes fabricantes. El modelo de la izquierda incorpora un purgador, mientras que el de la derecha incorpora una ventosa trifuncional.*

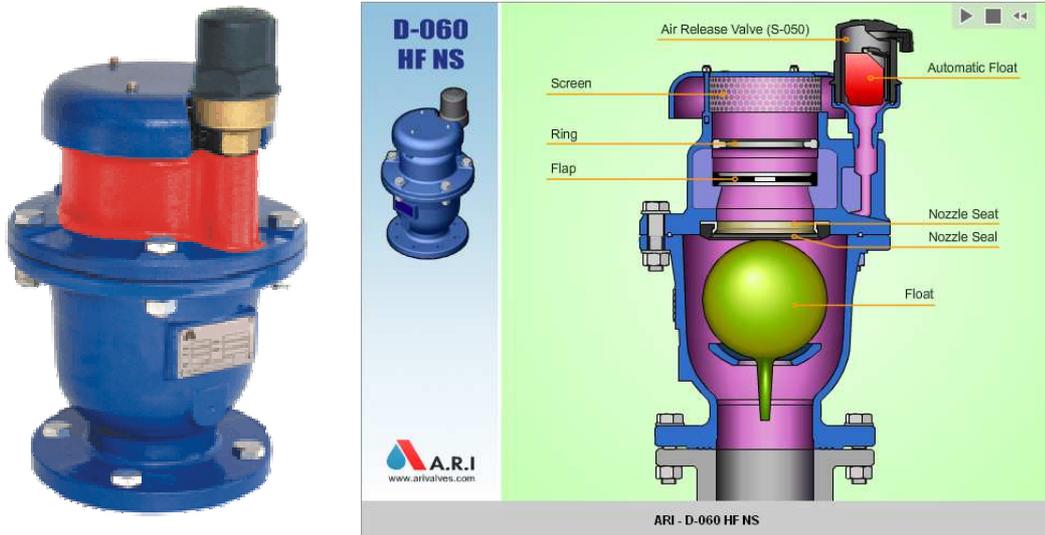
Estas ventosas podrían definirse como válvulas de retención accionadas por resorte con purga de aire automática. Requieren un complejo mecanismo para controlar el flujo a través de dos zonas diferentes, y para que el orificio grande sea exclusivamente de entrada y el pequeño únicamente de salida. Con la limitación del flujo de descarga, se restringe la velocidad de la columna de agua que llena la tubería de modo que el avance de la columna hacia el orificio se hace más lento.

La desventaja de la válvula de dos etapas es que el aire permanece durante mucho tiempo dentro de la tubería.

Además, el complejo mecanismo de válvula de retención utilizado, puede ser que no funcione después de mucho tiempo cerrada (durante la operación normal de la conducción), por acción de la presión interna de la tubería y altas temperaturas ambientales que pueden hacer pegar literalmente la clapeta de cierre a la goma de sellado. Al disponer de un muelle, siempre en contacto con el agua, este puede agarrarse y perder su poder, por lo que no se trata de un elemento que se caracterice por su fiabilidad.

## Ventosas amortiguadoras del golpe de ariete de 3 Etapas

Existen diversas tecnologías aplicadas a las ventosas amortiguadoras del golpe de ariete de tres etapas. Algún fabricante ha desarrollado un modelo que viene equipado con un disco adicional de acero inoxidable, provisto de un orificio pequeño (aunque mucho mayor que el orificio automático) y ubicado próximo al orificio de salida. La válvula está normalmente abierta con el orificio grande activo; el orificio más grande de salida transfiere la función al orificio más pequeño (disco) cuando la presión de la descarga de aire sobrepasa un valor predeterminado.



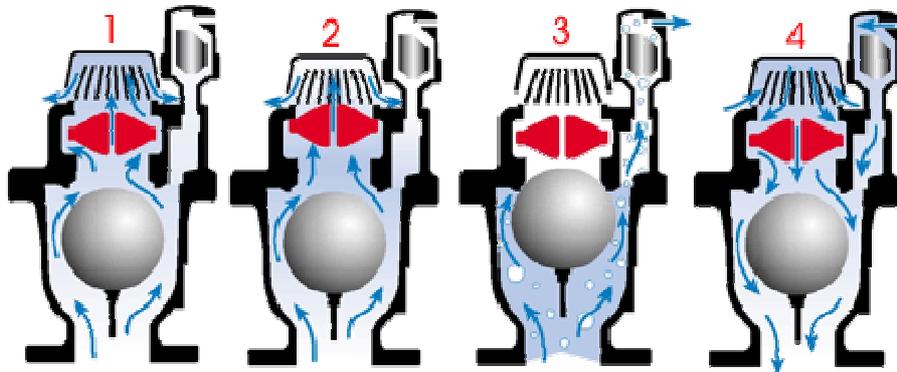
*Ventosa antiarriete de funcionamiento en 3 etapas de ARI Flow Control Accesories Ltd.*



*Ventosa de cierre en 3 etapas de ARI Flow Control Acc. Modelo D-060NS a la salida de una estación de bombeo.*

La supresión del golpe de ariete y del cierre prematuro se obtiene mediante la capacidad de aminorar la velocidad de la columna de aire antes de que todo el aire sea expulsado de la tubería.

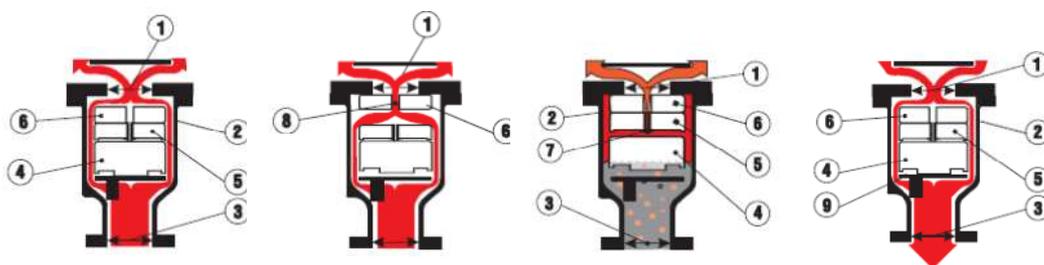
El funcionamiento de este modelo durante la operación de llenado de una tubería se resume en:



1. Cuando el sistema se llena a velocidades altas, el agua “empuja” el aire a través de la válvula hacia la atmósfera, lo cual genera una diferencia de presión entre el interior de la válvula y la presión atmosférica. Esta es la presión diferencial que influye en la velocidad de flujo del aire.
2. Cuando la presión diferencial alcanza el nivel predefinido (por lo general alrededor de 35 cm) se eleva el disco.
3. El aire que se encuentra dentro de la válvula sigue saliendo por el orificio pequeño del disco sin que ello suponga el arrastre del flotador y por tanto un cierre prematuro; el agua que penetra llega al flotador, que cierra lentamente el orificio de aire y vacio. Esta etapa doble de purga controlada de aire por el orificio pequeño reduce la velocidad de avance de la columna de agua, creando un cojín de aire transitorio en el entorno de la válvula. Estas operaciones evitan el cierre de golpe y atenúan el golpe de ariete.
4. Cuando baja el nivel del agua en el sistema (drenaje de la tubería), la subpresión que se genera en la válvula permite la bajada del flotador, lo cual abre el orificio de aire y vacio (el grande), reponiendo la válvula unidireccional en su posición de normalmente abierta, e introduce grandes volúmenes de aire en el sistema.

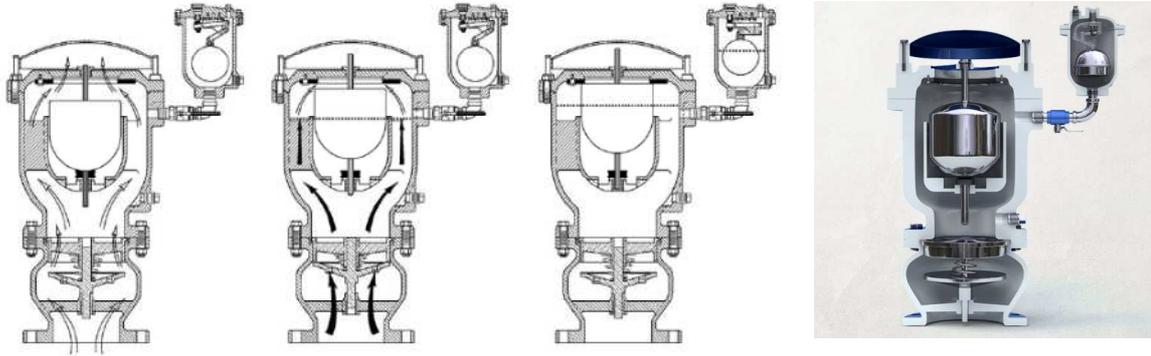
Este modelo tiene la disponibilidad de poderse modificar manualmente el orificio pequeño del disco, de forma que se puede ajustar su nivel de funcionamiento a los requerimientos de la conducción.

Existen otros modelos propuestos por otros fabricantes, que en lugar de incluir un disco de acero inoxidable perforado, proponen un diseño que integra tres flotadores cilíndricos. El principio de funcionamiento es el mismo que en el caso anterior. Únicamente varían los valores de presión para la transferencia del funcionamiento de unos flotadores a otros.



Otro diseño muy típico es el propuesto a continuación. Se trata de un modelo muy común entre las válvulas de patentes norteamericanas. El principio de funcionamiento es el mismo. La principal diferencia radica en que, en lugar de un disco de acero inoxidable con un orificio central pequeño, o tres flotadores, este modelo incorpora una válvula de retención aguas abajo del cuerpo de la ventosa. Esta válvula de retención presenta unas perforaciones en la clapeta que hacen que el aire no llegue al flotador a altas velocidades arrastrándolo y cerrando prematuramente. Una vez llega el agua, el flotador cierra el orificio de forma lenta y suavizada evitando el golpe de ariete que se produce en el cierre. Al igual que en los

casos anteriores, a bajas velocidades (bajas presiones), la clapeta permanece abierta hasta que se alcanza un valor de transferencia.



*Ventosa antiariete de funcionamiento en 3 etapas de Valmatic.*

#### **Ventajas en comparación con la ventosa de dos etapas:**

- La purga con baja presión de aire expulsa rápidamente grandes volúmenes de aire.
- La transferencia al orificio más pequeño (en el primer caso), al segundo flotador (en el segundo caso) o el cierre de la válvula de retención perforada (en el tercer caso), cuando la presión de la descarga de aire sobrepasa un valor predeterminado, se produce mientras todavía hay aire en la línea y con esto se reduce la presión del golpe de ariete inducido en el cierre del flotador cinético. El aire residual que permanece funciona como colchón amortiguador para el golpe inicial (generado durante la transferencia del orificio más grande al más pequeño).

#### **Desventajas de la ventosa de tres etapas:**

- Las presiones de descarga de aire son por lo general muy pequeñas durante la evacuación de grandes volúmenes de aire (10 a 50 cm). Cuando se descargan pequeñas cantidades (volumen total del aire), las presiones podrían no llegar al valor predeterminado de transferencia.
- Si la transferencia al orificio más pequeño NO tiene lugar, la válvula pierde su capacidad de supresión del golpe de ariete. Todo el aire pasaría entonces por el orificio grande, lo cual contribuye a crear condiciones propicias para generar un golpe de ariete inducido por cierre dinámico.
- Hay diferencias entre distintos fabricantes respecto del valor de la presión para la transferencia. Cuanto menor sea el punto de transferencia, mejor será la reacción de la válvula y también su capacidad de encerrar bastante aire dentro de la tubería. En unos fabricantes el valor de transferencia es 0.02 bar mientras que en otros este valor es de 0.07, incluso de 0,1 bar.
- En casos de separación de la columna de agua, es de primordial importancia disponer de una toma de aire lo bastante grande como para crear dentro de la tubería una bolsa de aire de tamaño suficiente para aminorar la velocidad de las columnas en vía de colisión. Si la duración de las condiciones de vacío es muy breve (menos de unos pocos segundos), la bolsa de aire será demasiado pequeña, no podrá aminorar la velocidad de las columnas y por ende será incapaz de prevenir el golpe.

## Ventosas de efecto dinámico.

La ventosa de efecto dinámico funciona de un modo totalmente diferente.

Esta válvula expelle todo el aire de la tubería a través del orificio grande a la llegada de la columna de agua, y se cierra con bastante lentitud como para evitar cualquier cambio brusco en la velocidad, sin necesidad de modificar el diámetro del orificio.

El exclusivo mecanismo de cierre accionado por diafragma reduce los cambios de velocidad (en la ecuación  $\Delta H = (c/g) \Delta V$ ), y por tanto el efecto del golpe de ariete.

### Ventajas

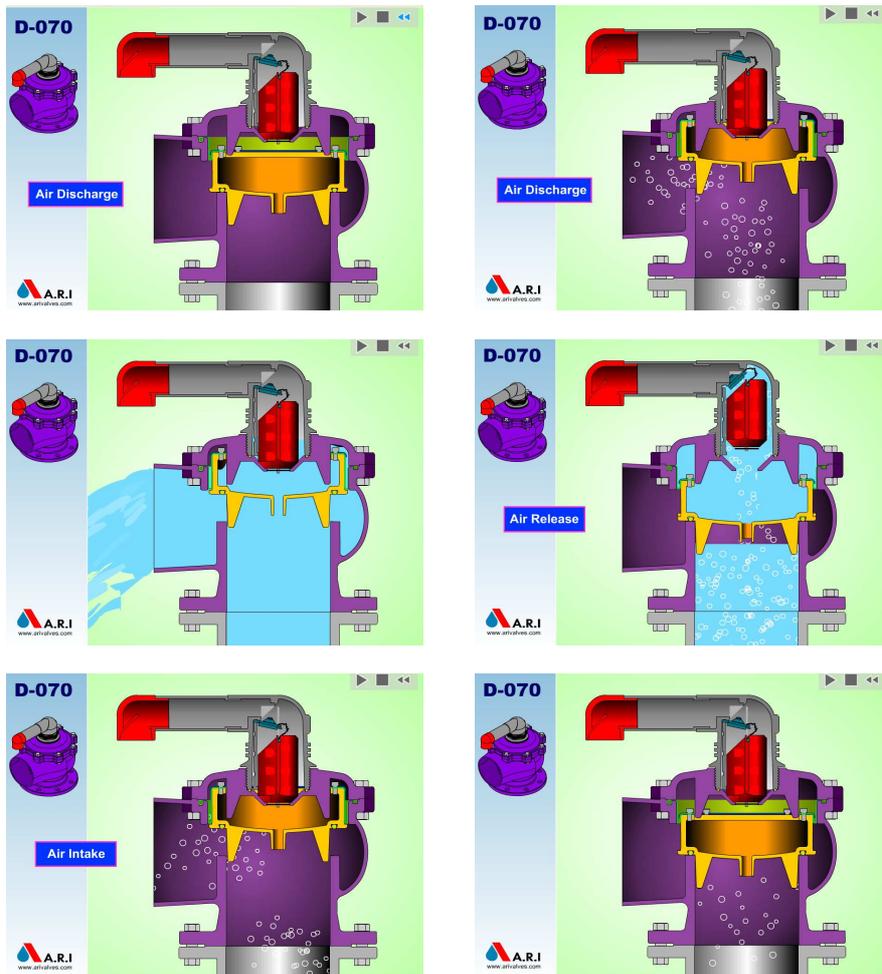
- La válvula de aire dinámica asegura siempre que el agua fluya después de que TODO el aire haya sido expulsado de la tubería, a diferencia de las ventosas antiarriete de tres etapas en las que el efecto de prevención se pierde en caso de NO producirse la transferencia del orificio grande al pequeño.
- El agua comienza a fluir inmediatamente después de la interrupción del flujo de aire; sigue manteniendo algo de la velocidad del flujo (se evita la desaceleración repentina).
- Cuando se interrumpe el flujo de agua se produce un cierre gradual (como en el cierre de una válvula de descarga). No se requiere la formación de una bolsa de aire dentro de la tubería



*Ventosa Dinámica D-070 de ARI Flow Control Accesorios Ltd.*

El principio de operación de la ventosa dinámica es el que se describe a continuación:

Cuando se comienza una operación de llenado, el aire de la línea se comprime y eleva el conjunto de sellado (cierre hermético) de la válvula abriendo un paso que comunica con la atmósfera. Esto permite la salida del aire a través del orificio grande de la ventosa. El agua que comienza a llegar a la ventosa, llena la cámara del interior del conjunto de cierre; parte de ella es expulsada a través del orificio grande y parte entra en la cámara para cerrarla. En la ventosa se genera una presión que hace bajar controladamente el conjunto de cierre hasta que el orificio se cierra por completo y queda absolutamente sellado. Esto ocurre debido a que la cámara interior del conjunto de cierre tiene una superficie mayor que la que hay en la parte inferior del pistón (conjunto de cierre). Al ser iguales las presiones del interior de la cámara y de la parte inferior del pistón, este conjunto desciende debido a que en la parte interna hay mayor superficie de apoyo. En esta etapa sigue funcionando el componente de purga (válvula automática), que descarga el aire a través de la tobera. Al disminuir la presión durante el vaciado de la tubería, disminuye también la presión del interior del conjunto de cierre. En el momento en que esta presión es inferior a la atmosférica, el pistón asciende (por el mismo principio físico que en el cierre) y abre el orificio grande para permitir la entrada masiva de aire de la atmósfera en el sistema, evitando así el colapso de la conducción.



*Secuencia explicativa del funcionamiento de la ventosa dinámica D-070 de ARI*

Como la válvula continúa descargando agua después de haber sacado todo el aire, se evita todo cambio de velocidad repentino y por tanto se atenúa el golpe de ariete.

Además, las ventosas dinámicas siempre aseguran el flujo de agua después de haberse purgado **TODO** el aire de la tubería, a diferencia de las ventosas antiarriete de 3 etapas, en las que el efecto amortiguador se pierde en caso de que **NO** se produzca el cambio.

Este efecto también asegura que **TODO** el aire ha sido expulsado de la línea, a diferencia de la mayoría de ventosas convencionales que cierran antes de tiempo, dejando aire atrapado dentro de la tubería (No presenta Cierre Prematuro).

Se puede observar que mientras algunos modelos de gran capacidad tienen un valor del diferencial de presión de cierre muy bajo, el modelo dinámico no cierra, puesto que es el aire quien abre el mecanismo de cierre y el agua quien lo cierra, por tanto estará expulsando aire mientras el agua no haya llegado a la cámara superior de la ventosa.

También podemos observar como otros modelos con el orificio de salida reducido, no cierran prematuramente, pero la capacidad de venteo es sensiblemente inferior que el modelo dinámico, que mantiene el paso total del orificio (paso nominal).

Como conclusión, podemos resumir las ventajas de la ventosa dinámica en estos cinco puntos:

- Se trata de una ventosa de paso nominal y de gran capacidad de aireación.
- Durante el llenado de una tubería, o tras la fase depresiva en un transitorio hidráulico, cuando regresa la onda de presión positiva, el modelo dinámico no va a cerrar antes de tiempo y va a expulsar todo el aire de la tubería.
- Al expulsar agua tras haber expulsado el aire, el cierre de la válvula se hace lento y gradual, de forma que no provocará un golpe de ariete inducido por cierre dinámico del flotador.
- No precisa de un colchón de aire en la tubería para amortiguar los golpes de ariete.
- Es una ventosa normalmente cerrada, cuando la tubería está vacía, lo que previene la contaminación del sistema con elementos externos, animales, insectos, etc...



*Ventosa Dinámica D-070 de ARI. A la izquierda instalada sobre candelabro. A la derecha el modelo DN300 con cuatro (4) purgadores en la parte superior.*

## **Evaluación del rendimiento de la válvula de aire de efecto dinámico D-070**

Ya se han expuesto las razones por las que una ventosa de efecto dinámico es siempre una mejor opción que una ventosa trifuncional convencional.

También sabemos que se trata de una opción más fiable que las ventosas antiarriete (No Slam o Cierre Lento de 3 etapas) convencionales, ya que en algunos casos puede darse que el cambio de orificio grande al pequeño no tenga lugar, o que este cambio, simplemente tenga lugar a una presión muy alta, lo que puede provocar que la mayor parte de la bolsa de aire esté fuera de la tubería y se pierda su capacidad amortiguadora, además de provocar una mayor desaceleración del flujo.



*Ventosa antiarriete de 3 etapas D-060NS a la izquierda. Ventosa de efecto dinámico D-070 a la derecha. Ambas instaladas en un final de línea.*

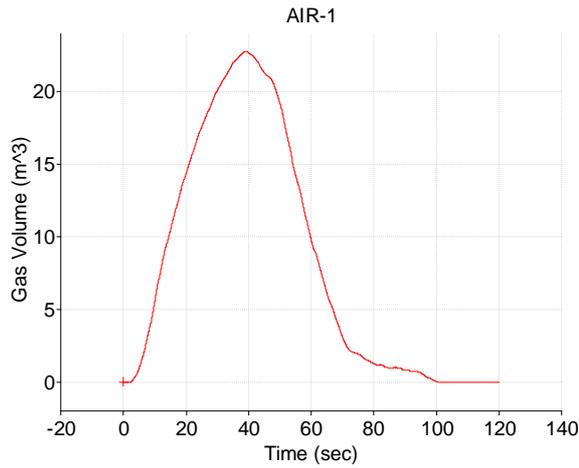
No obstante, según nuestra experiencia, el rendimiento de las ventosas de efecto dinámico es mejor que el de las ventosas NS de 3 etapas de ARI Flow Control Accesories, cuando el volumen de la bolsa de aire es relativamente pequeño (de hasta 2 m<sup>3</sup>). Sin embargo, estas últimas parecen que tienen un mejor funcionamiento cuando grandes cantidades de aire entran en la conducción.

He aquí un ejemplo que muestra este fenómeno. El esquema del modelo utilizado para este estudio se muestra en la siguiente figura. Se trata de una conducción de acero DN1200 de unos 9 Km aproximadamente. Este modelo utiliza ventosas dinámicas D070 junto con tres (3) ventosas de 3 etapas NS de ARI (hay una válvula anticipadora de onda que no afecta a los resultados obtenidos para cada una de las ventosas).



*Figura 1*

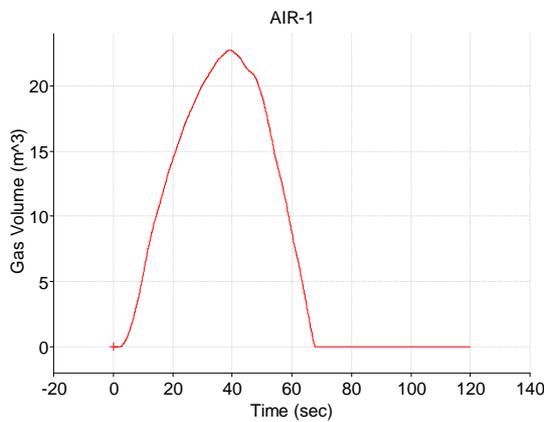
La figura 2 muestra la curva del volumen de aire de la ventosa modelo D-060NS DN150 en la posición AIR-1 (primera de las válvulas NS de 3 etapas). El orificio pequeño es de 30 mm de diámetro y el valor de transferencia es de 20 cm de columna de agua.



Name	AIR-1	<b>Device Data</b>	
3Stg Air Vcm		Inflow D	150
Elevation	59.52	Outflow D1	150
		Outflow D2	30
		Sw Value	2
		Init Vol	0
		Delay	0
		Disc Coeff	
		<input type="checkbox"/> Flow	
		<input checked="" type="checkbox"/> Pressure	
		<input type="checkbox"/> Volume	
Device Help			
SDO Help			

En la figura 3 muestra la curva de volumen de aire en AIR-1 utilizando una ventosa dinámica del mismo diámetro.

Figura 2



Name	AIR-1	<b>Device Data</b>	
Dyn Air Valve		Inflow D	150
Elevation	59.52	Outflow D	150
		Close Time	2
		Init Vol	0
		Open Time	1
		Disc Coeff	0

Figura 3

En la Figura 4 se comparan las curvas de volumen de aire del modelo D-060NS y la válvulas de aire dinámicas D-070 en AIR-1. Se aprecia que en ambos casos han ingresado a la tubería el mismo volumen de aire para prevenir presiones negativas. También se observa con claridad que la ventosa de efecto dinámico D-070 expulsa toda la bolsa de aire en un tiempo menor que la ventosa antiarriete de 3 etapas D-060NS.

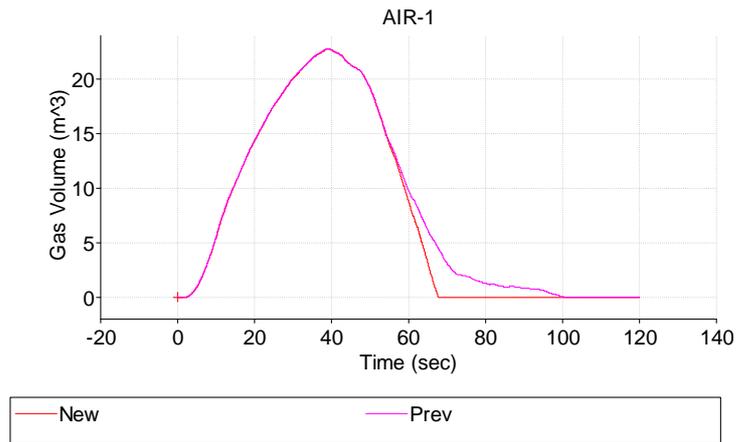


Figura 4

La Figura 5 muestra el gráfico de variación de la presión en AIR-1 con ventosas D-060NS (línea morada) y D-070 (línea roja). Se observa con claridad como la presión máxima que se alcanza en el cierre de la ventosa es mayor en la ventosa dinámica que en la antiarriete de 3 etapas. Estos resultados pueden resultar sorprendentes, pero se deben a que el valor de transferencia del orificio grande al pequeño de la ventosa D-060NS tiene lugar a un valor de presión significativamente bajo (20 cm de columna de agua), lo que provoca que una gran bolsa de aire actúe como amortiguador de la columna de agua. Sin embargo, la ventosa de efecto dinámico al no contar con dicha bolsa de aire, lo expulsa rápidamente fuera de la tubería (sin que ello produzca un cierre prematuro). El agua sigue fluyendo después de que todo el aire haya sido expulsado y cierra lentamente por lo que no habrá ninguna condición que genere un golpe de ariete mecánico. Sin embargo, el cierre de la válvula se realiza en aproximadamente 1 o 2 segundos lo que implica un cambio mucho más rápido a comparación de la desaceleración poco significativa de la columna de agua para el caso de la ventosa D-060NS.

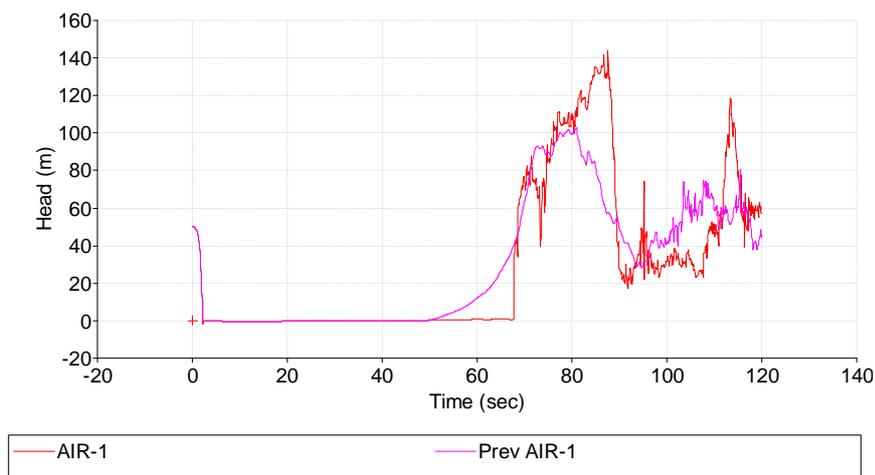


Figura 5

En la mayoría de las ventosas de cierre en 3 etapas existentes en el mercado, el valor de transferencia del orificio grande al pequeño es más próximo a 1 mca, por lo que el efecto amortiguador que se busca no tiene lugar de la misma manera que ocurre en las D-060NS de ARI, donde el dispositivo NS está diseñado para que se levante a 20 cm de columna de agua.

En la Figura 6, se muestra la evolución de las presiones en el punto AIR-1, habiendo modelado la ventosa de 3 etapas de manera que el valor de transferencia sea de 0,5 mca. En este caso, los valores son mucho más parecidos a los de la ventosa de efecto dinámico D-070. A esta presión, la ventosa de 3 etapas ha sacado mucho aire a través del orificio cinético grande y la capacidad amortiguadora del golpe de ariete se ve disminuida levemente..

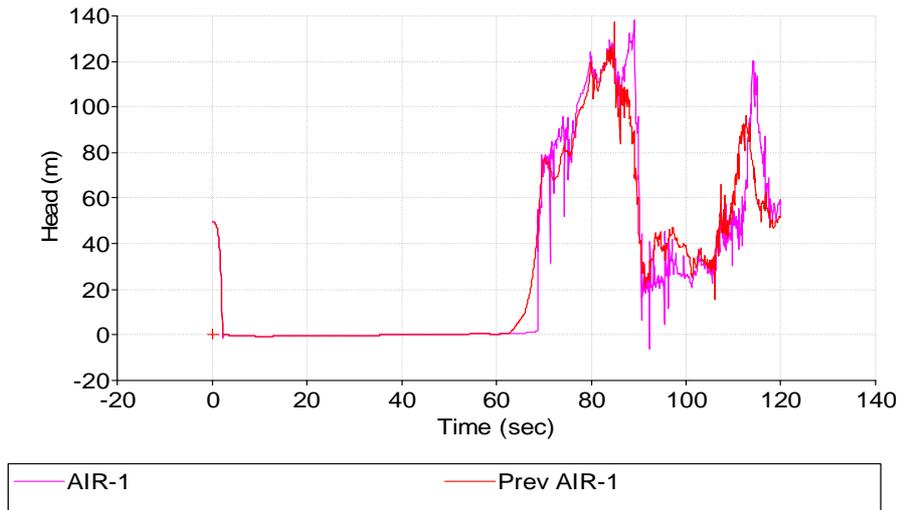


Figura 6

Como conclusión podemos asegurar que la ventosa dinámica D-070 tiene una capacidad supresora del golpe de ariete notable a comparación de otras válvulas antiarriete de 3 etapas, siempre y cuando las bolsas de aire no sean muy grandes.

En instalaciones de gran diámetro o donde la bolsa de aire sea muy importante, la capacidad antiarriete no es mejor que la de las ventosas de 3 etapas de ARI modelo D-060NS, pero su principio de funcionamiento asegura que el aire estará poco tiempo dentro de la tubería, y que la operación es mucho más fiable que las otras, en las que la transferencia al orificio pequeño no siempre es posible.

## **Caso de estudio. Solución combinada de ventosas y calderines antiarriete.**

Para proteger la instalación de manera integral, las ventosas deberán ir acompañadas de otros dispositivos que actúen sobre las sobrepresiones. Lo más habitual es su uso conjunto con calderines antiarriete y/o válvulas anticipadoras de onda.

Lo que si se ha detectado es la posibilidad de optimizar al máximo estos otros equipos que suponen un coste económico mucho más alto que el de las ventosas. De esta manera, el volumen de un calderín antiarriete se puede disminuir si en los puntos altos de la conducción se plantean ventosas especialmente diseñadas para actuar contra las presiones negativas.

Para poder explicar este caso mediante un ejemplo, se ha tomado prestado un proyecto real.

Se trata de una impulsión de 9 Km de longitud aproximadamente. Las bombas aspiran de una balsa situada a 2.700 metros.

Se procedió a estudiar el transitorio, tanto de la tuberías de aspiración como de la tubería de impulsión.

El estudio del golpe de ariete en ambos tramos, ha sido realizado mediante el software de modelización y análisis de transitorios hidráulicos Pipe 2010, también conocido como Surge, desarrollado por la Universidad de Kentucky, USA. y manejado en este caso por el departamento de Ingeniería Hidráulica Aplicada de la empresa ARI Flow Control Accesorios y por el Departamento Técnico de Regaber – Hidroglobal.

El programa resuelve las ecuaciones diferenciales fundamentales formuladas anteriormente utilizando una técnica muy flexible y, conceptualmente, muy simple, denominada “wave plan”, basada en el concepto de que el flujo transitorio en una conducción resulta de la generación y propagación de las ondas de presión producidas por una alteración de su régimen y que estas ondas de presión, que se desplazan a velocidad sónica por el medio agua-tubería, son parcialmente transmitidas y reflejadas por las discontinuidades de la conducción y por la resistencia que opone al flujo del agua las paredes de la tubería. El método utilizado por la Universidad de Kentucky proporciona resultados similares al del método de las características pero usando un modelo físico mucho más simple y, por tanto, más fácil de comprender por el usuario del programa. El programa permite la simulación del proceso transitorio incluso con la vena líquida rota por las cavidades de vapor originadas por las presiones negativas en el interior de la conducción.

Por otro lado, para dimensionar las válvulas de aireación que garanticen la seguridad de las operaciones de llenado y vaciado (mediante los desagües previstos a tal efecto y/o roturas que puedan producirse), se ha utilizado el software de localización y dimensionamiento de ventosas ARIavCAD, desarrollado por el Departamento de Ingeniería Aplicada de ARI Flow Control Accesorios.

En el presente documento presentamos los resultados de los análisis y la recomendación para proteger ambos tramos, mediante la utilización conjunta de calderines antiarriete y ventosas (de cierre lento o antiarriete y convencionales).

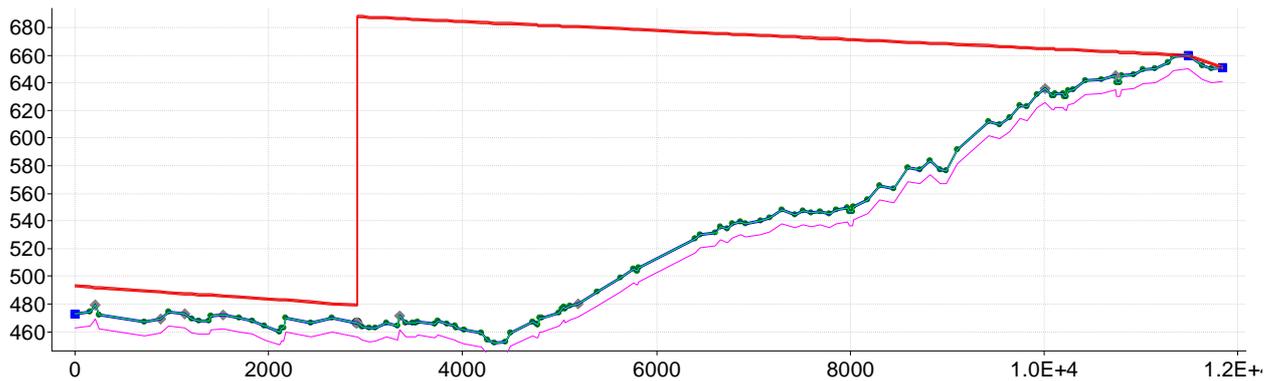
Datos de partida:

### Tubería de Aspiración

Longitud de la conducción	2.743	m
Diámetro Exterior	450	mm
Material	Fibrocemento	
PN	10	bar
Altura de lámina de agua en balsa de aspiración	20	m
Cota de solera de la balsa	473	msnm

### Tubería de Impulsión

Longitud de la conducción	8.818	m
Diámetro Exterior	508	mm
PN	50	atm
Espesor	7,1	mm
Caudal de Bombeo	960	m <sup>3</sup> /h
Nºde bombas en funcionamiento	3,00	uds
Caudal de Unitario de Bombeo	320,00	m <sup>3</sup> /h
Altura manométrica de bombeo	220	mca
Cota de máxima de agua en Balsa de aspiración.	20,00	m
Cota de Rotura de Carga	650	m

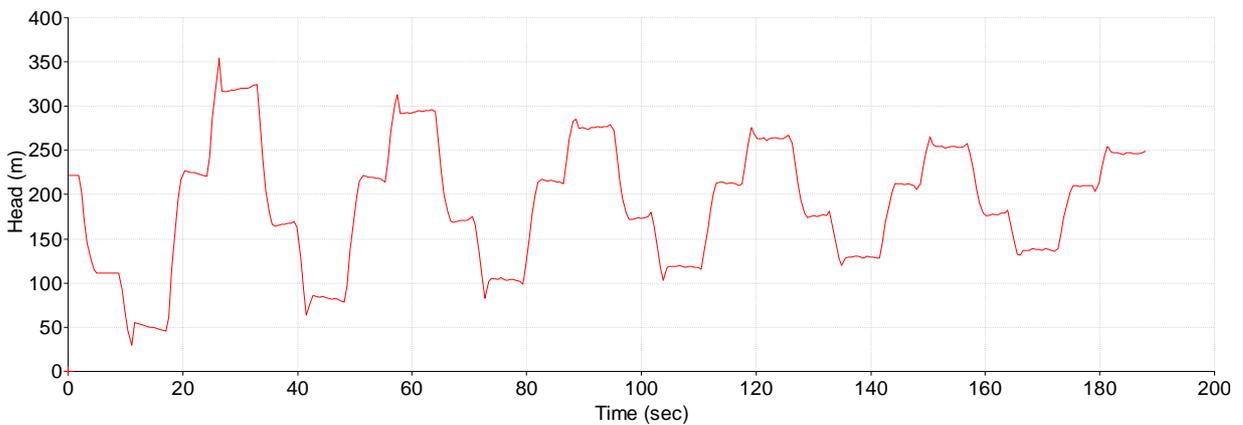


*Representación de la tuberías de aspiración de 450 mm e impulsión de 500 mm de impulsión de agua bruta. La línea roja refleja el gradiente hidráulico en régimen permanente.*

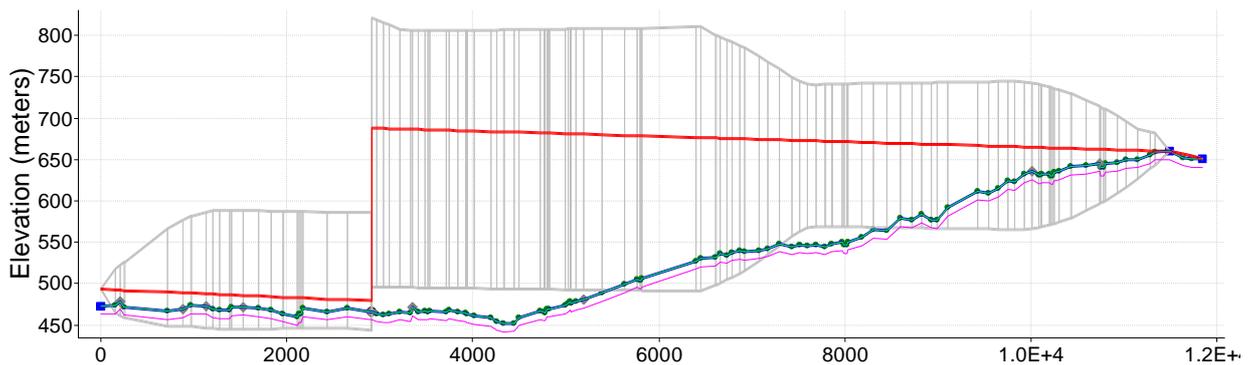
Las simulaciones del funcionamiento de la estación de bombeo, en régimen transitorio, tienen como objetivo diseñar los sistemas de protección necesarios para evitar el peligro de rotura causado por las oscilaciones de presión, tanto en la tubería de aspiración como en la de impulsión. En estos casos siempre se trabaja con la condición más desfavorable, siendo ésta la situación para la cual el sistema alcanza las condiciones extremas de funcionamiento. Si el sistema resiste estas condiciones extremas, también resistirá cualesquiera otras condiciones de funcionamiento, las cuales serán menos severas que las anteriores.

La parada simultánea de las bombas en marcha, produce cavitación en la mayor parte de la tubería si no se dispone en la misma de sistemas de protección. Por ello, los sistemas de protección son totalmente necesarios y su objetivo es evitar que, en el caso del transitorio más desfavorable, las presiones mínimas en la tubería alcancen valores por debajo de la presión atmosférica.

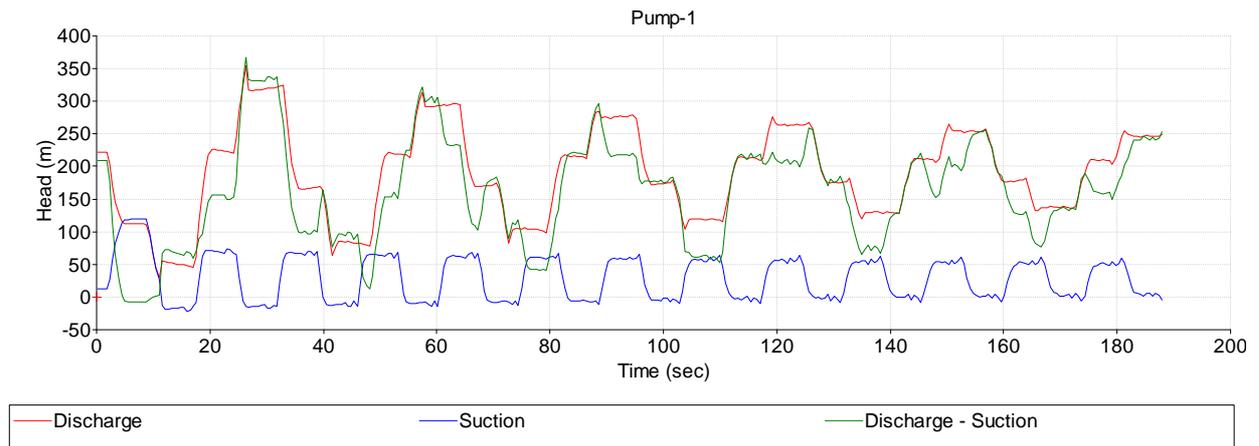
El presente análisis tiene como principal objetivo analizar las presiones máximas y mínimas que pueden acontecer tras el paro brusco de los equipos de bombeo. Una vez se conocen los efectos provocados por tal parada, se proponen los equipos de protección necesarios para controlar sus efectos.



*Paro incontrolado de las bombas. Evolución de la presión a la salida del bombeo. Sin protección.*



*Representación de las envolventes de presiones a lo largo de la impulsión de agua bruta. Sin ningún tipo de protección.*



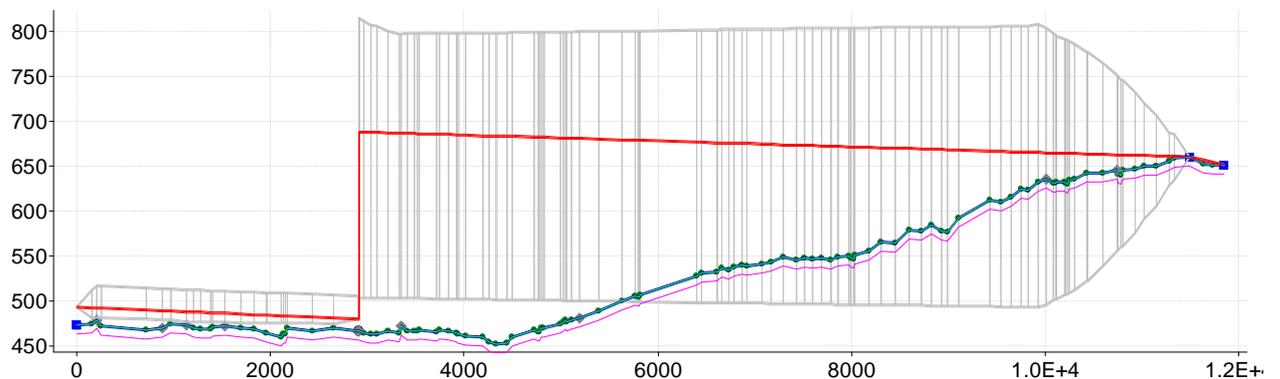
*Evolución de las presiones a la salida de la estación de bombeo (línea roja) y en la succión (línea azul). Sin protección. Se observa en la aspiración que se originan presiones subatmosféricas.*

Una vez realizado el análisis del transitorio hidráulico, se ha optado por una doble protección.

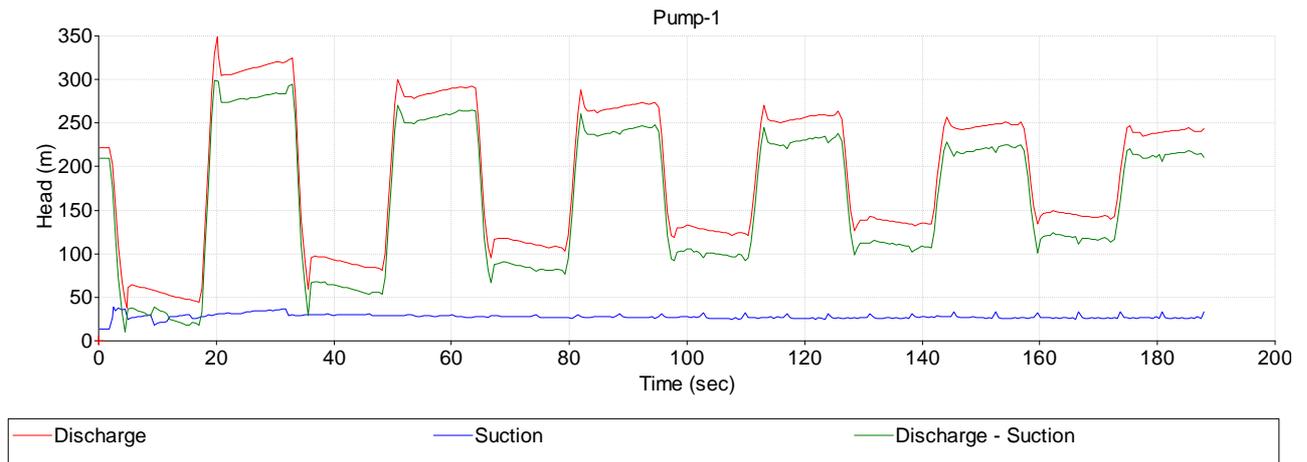
Primero de todo, para la tubería de aspiración se aconseja la instalación de una (1) válvula automática modelo Gal fundición dúctil 8" con función de alivio rápido. Esta válvula estará tarada a 37 mca y protegerá de las sobrepresiones que puedan acontecer durante el régimen transitorio. De la misma manera, y para proteger de las presiones subatmosféricas, se propone la instalación de una (1) ventosa de cierre lento (antiarriete), modelo D-070, instalada junto a la válvula de alivio.

Por otro lado, en la impulsión se aconseja la instalación de un (1) tanque hidroneumático antiarriete de 25 m<sup>3</sup>, de disposición horizontal y de tipo compresor. Este equipo proporcionará una protección integral frente a las sobrepresiones y subpresiones generadas tras el paro repentino de los equipos de bombeo. No será necesaria la instalación de ventosas especiales de cierre lento que impidan la separación de columna de agua en los puntos altos de los tramos finales.

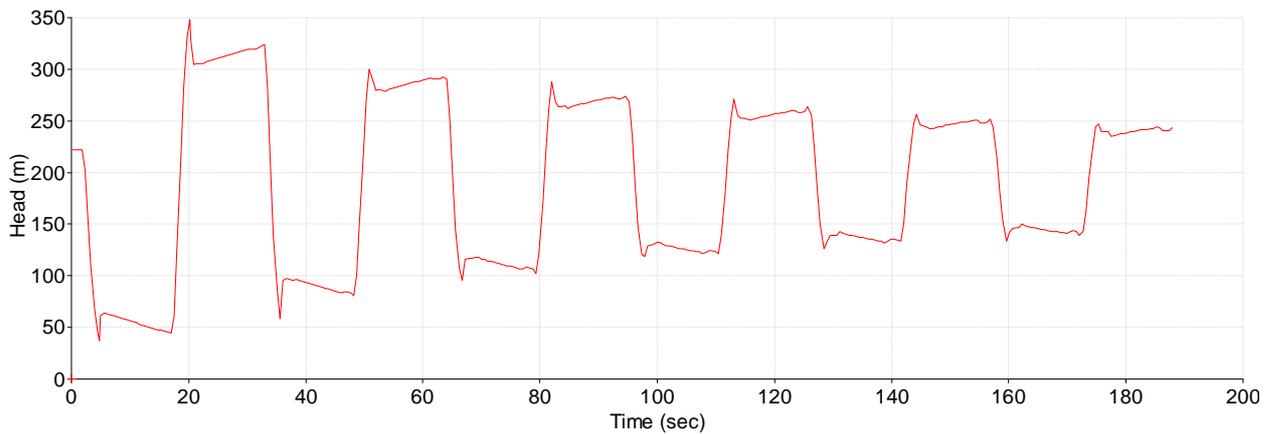
No obstante, recomendamos construir una arqueta de rotura de carga en el PK 8 + 462 dado el riesgo seguro de que se produzca una fuerte separación de columna en esa zona generada por la caída de presión tras el paro de las bombas. De esta manera, si la conducción presurizada termina en dicho punto, luego puede discurrir por gravedad hasta el depósito de llegada.



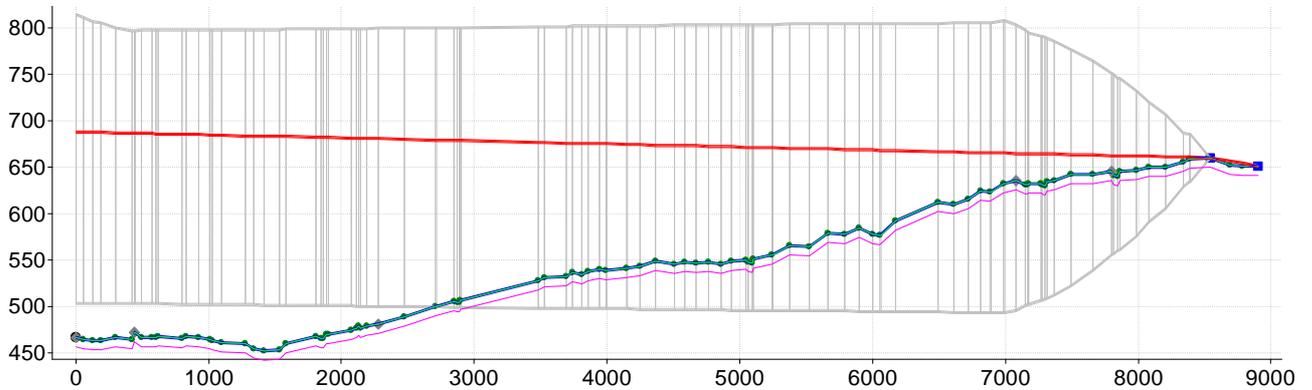
*Envoltura de presiones máximas y mínimas que se desarrollan a lo largo de la conducción tras un paro repentino de los equipos de bombeo. En este caso solo se ha protegido la aspiración. Se observa que ya no existe riesgo de cavitación a lo largo de toda la conducción.*



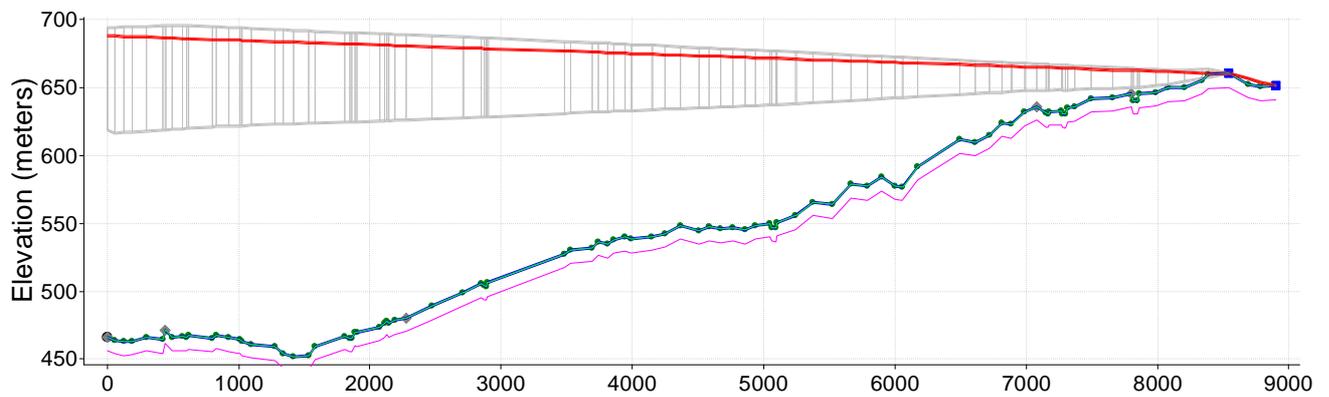
*Evolución de las presiones a la salida de la estación de bombeo (línea roja) y en la succión (línea azul). En este caso se ha incluido el equipamiento de protección necesario en la aspiración formado por una (1) válvula automática modelo Gal fundición dúctil 8" con función de alivio rápido y una (1) ventosa de cierre lento (antiariete), modelo D-070, instalada junto a la válvula de alivio. Se observan las presiones en la aspiración de las bombas sin riesgo de depresión.*



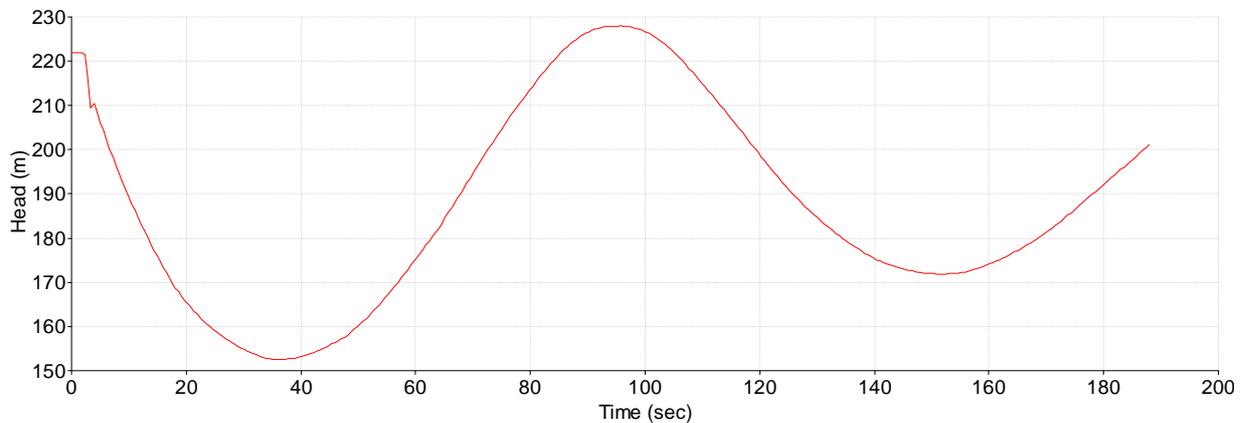
*Evolución de las presiones a la salida de la estación de bombeo. Sin protección en la impulsión.*



*Envoltura de presiones máximas y mínimas que se desarrollan a lo largo de la tubería de impulsión. Sin protección en la impulsión. Se observan fuertes sobrepresiones mayores de 20 bar y depresiones importantes en buena parte del trazado.*



*Envoltura de presiones máximas y mínimas que se desarrollan a lo largo de la tubería de impulsión. Con protección (calderín de 25 m<sup>3</sup> y ventosas de efecto dinámico D-070 DN100 en el último tramo). Se observa que la solución combinada propuesta protege a toda la conducción de las sobrepresiones y depresiones.*



*Evolución de las presiones a la salida de la estación de bombeo. Con los equipos de protección en la impulsión previstos.*

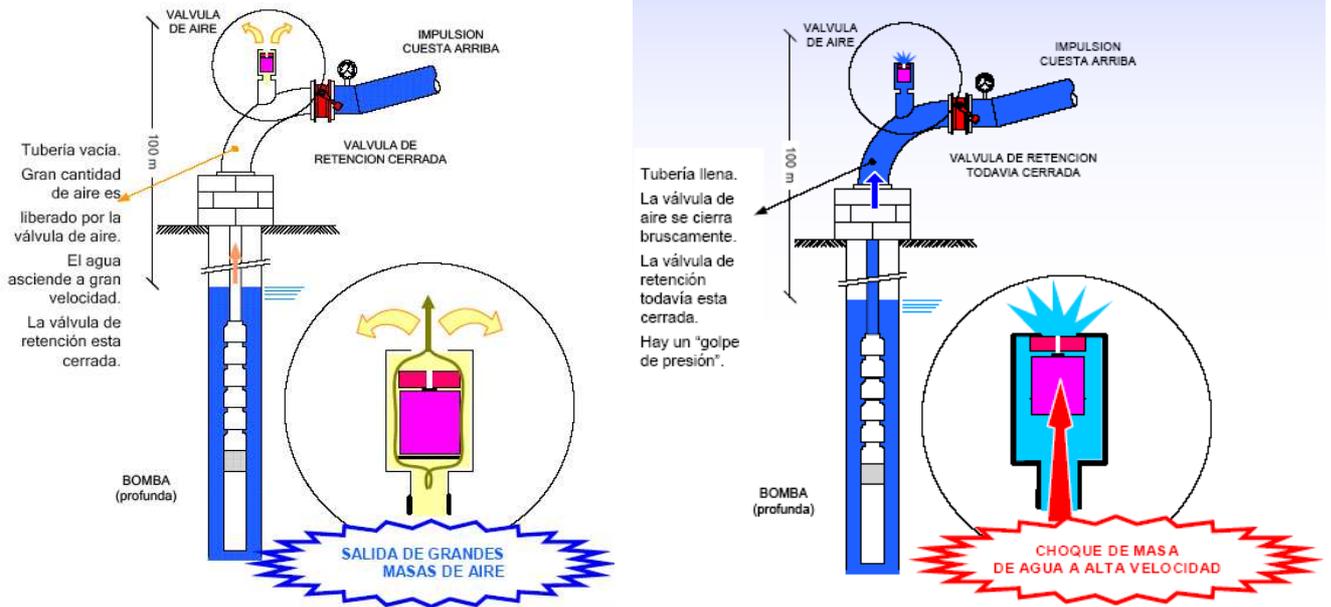
## **Aplicación de las ventosas de efecto dinámico en los bombeos de pozo profundo.**

Se sabe que una de las aplicaciones donde la instalación de ventosas ocasiona problemas asiduamente son los bombeos de pozo profundo. Este tipo de bombeos se caracteriza porque las bombas están situadas a una gran profundidad (a veces a cientos de metros) y la impulsión hasta la superficie es totalmente vertical.

Normalmente la instalación se encuentra con la tubería vacía de agua antes del arranque de las bombas. Al iniciar el bombeo, la bomba impulsa un alto caudal a una muy baja presión, por lo que se evacuará un gran caudal de aire a través de la ventosa.

Cuando el agua alcanza la cota del terreno, la salida de aire se produce a tal velocidad que la mayoría de las ventosas existentes en el mercado ya habrían cerrado el flotador, dejando aire atrapado en el interior. Como la válvula de retención se encuentra cerrada, esta bolsa de aire se va presurizando cada vez más y más, provocando un pico de presión en ese punto importante. En este momento la clapeta de la válvula de retención se abrirá de golpe liberando el aire a la conducción y volviendo a cerrarse bruscamente.

Si no es así, lo que se producirá es que el agua que ascendía a una gran velocidad, cerrará bruscamente la ventosa produciéndose una desaceleración muy brusca, y por tanto un golpe de ariete elevado.



Esquema de funcionamiento de una bomba de pozo profundo.

En estos casos está prescrito la instalación de ventosas de “pozo profundo” que disponen de un restrictor a la salida, de manera que el aire no puede salir libremente y origina un colchón amortiguador de aire que evita la rápida llegada del agua. Este tipo de ventosas ralentiza muy mucho la llegada del agua y modifica el régimen de funcionamiento de la bomba.

La utilización de la ventosa de efecto dinámico D-070 de ARI está especialmente indicada en estos casos, ya que no cerrará prematuramente y no originará golpe de ariete mecánico durante el cierre de la misma.



Bomba de pozo profundo con ventosa de efecto dinámico D-070 de ARI instalada.

## REFERENCIAS

Funk, J.E., Wood, D.J., Lingireddy, S. and D.C. Denger, Pressure Surges due to Rapid Expulsion of Air, International Conference on Unsteady Flow and Fluid Transients, Sept-Oct 1992, Durham, England.

Lingireddy, S., Wood, D.J., and Zloczower, N. (2004) Pressure Surges in Pipeline Systems Due to Air Release. *Jl. American Water Works Association*, 96 (7), 88-94

Wood, D.J., Lingireddy, S., and Boulos, P.F., Pressure Wave Analysis of Transient Flow in Pipe Networks by MWH Press, 2005 (this text book is used at many US Universities to teach transient modeling for post-graduate students)

Boulos, P.F., Karney, B.W., Wood, D.J., and Lingireddy, S. Hydraulic Transient Guidelines for Design, Operation and Protection of Water Distribution Systems, *Jl. American Water Works Association*. May 2005.

CAMPBELL, A. (1983), "The effect of air valves on surge in pipelines", Proceedings of the 4th International Conference on Pressure Surges, BHRA, Bath, Inglaterra, pág. 89-102.

Fuertes, V.S., Izquierdo, J., Iglesias, P.L., Cabrera, E., García-Serra, J. (1997). "Llenado de tuberías con aire atrapado". *Revista Ingeniería del Agua*. Vol.4. N° 3 pp. 57-67.

Pedro L. Iglesias Rey; Vicente S. Fuertes Miquel; Francisco J. García Mares. "Nuevas tendencias en el diseño y caracterización de ventosas de admisión y expulsión de aire".

Iglesias, P.L.; Fuertes, V.S.; Martínez, F.J.; García; F.J. (2008). "Utilización de técnicas CFD para caracterización de ventosas de admisión y expulsión de aire". VIII Seminario Iberoamericano sobre Planificación, proyecto y operación de redes de distribución de agua. Lisboa (Portugal), julio 2008.

AWWA, Manual of Water Supply Practices – M51, First Edition "Air- Release, Air Vacuum, and Combination Air Valves", (2001), ISBN 1-58321-152-7

Lingireddy, S., Wood, D.J., Zloczower, N., "Pressure Surges on Pipeline Systems Due to Air Release". *Journal of the American Water Works Association* (in review).

Dorot. Boletín Técnico nº8. Válvulas de aire.