

Problemas típicos de las ventosas, soluciones técnicas disponibles y criterios de selección de las válvulas de aire.

Ignacio Gandarillas Prieto

Product Manager ARI Flow Control Accesories Ltd.

Departamento Técnico Regaber – Hidroglobal.

igandarillas@hidroglobal.com

Introducción.

Cuando se realiza el diseño de una conducción destinada al transporte de agua a presión, se deben tener en cuenta los diferentes esfuerzos a los que las tuberías se van a ver sometidas. El estudio y determinación de los mismos son imprescindibles a la hora de elegir que tubo es el más idóneo para la instalación.

Primero de todo se determinan las presiones estática y dinámica del sistema. En segundo lugar se debe determinar el golpe de ariete, inherente a cualquier conducción, ya que se produce como consecuencia de un fenómeno transitorio causado por la apertura o cierre de válvulas y/o arranques o paradas de los equipos de bombeo. En este tipo de estudios, no solo se cuantifica el valor de las sobrepresiones máximas, sino también el de las subpresiones mínimas, con el fin de establecer el espesor mínimo del tubo. Actualmente es muy extraño encontrar proyectos donde no se evalúen ambos conceptos.

Además de estos dos tipos de esfuerzo mecánico, todas las conducciones se ven sometidas a otro, tan importante o más que los anteriores. Se trata de los efectos que producen las bolsas de aire atrapado en el interior de las mismas, sobre todo en las operaciones de puesta en servicio.

Los procesos de llenado y vaciado en las conducciones de agua implican el desplazamiento de grandes volúmenes tanto de agua como de aire. Un incorrecto manejo de los mismos provoca, en la mayoría de los casos, la aparición de bolsas de aire atrapado en las tuberías, las cuales son las causantes de numerosos problemas en la instalación.

Durante el funcionamiento normal de la instalación también pueden llegar a formarse ingentes volúmenes de aire atrapado. En estos casos, las alteraciones en la presión del fluido, causadas por diversos motivos, provocan que parte del aire disuelto en el seno del fluido se libere.

Si además se origina un episodio de transitoriedad hidráulica con aire atrapado, los problemas derivados se acrecientan en gran medida.

Estos efectos han sido siempre obviados o muy poco estudiados, principalmente debido a la dificultad que presenta su valoración (solamente mediante la utilización de modelos matemáticos computarizados muy complejos y costosos). Sin embargo, todos los agentes implicados tanto en la fabricación, como en el diseño y la instalación de tuberías lo tienen en mente y se conocen métodos muy sencillos para poder mitigar sus efectos.

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.

Bajo determinadas circunstancias y según con qué tipo de ventosa, se pueden utilizar como mecanismo de control indirecto de un transitorio hidráulico, actuando durante la fase depresiva del mismo, permitiendo un ingreso masivo de aire al sistema, que impida fenómenos tales como la cavitación (fenómeno que se produce siempre que la presión en algún punto de la instalación desciende por debajo

de la presión de vapor) en la separación de columna, y actúe como colchón amortiguador, atenuando la sobrepresión que se origina justo después de esta fase.

Existen numerosas compañías fabricantes o comercializadoras de válvulas de aire, así como diferentes tecnologías aplicadas al diseño de las mismas.

Sin embargo no abundan los manuales técnicos específicos. Algunos de los más reconocidos son los de la American Water Works Association (AWWA), pero sólo se puede tener en cuenta ante determinadas tecnologías de ventosas presentes en el mercado. La normativa AWWA sólo trata aspectos relacionados con la fabricación y los ensayos de verificación que es necesario realizar con las ventosas, así como los diferentes tipos de ventosas, en base a su funcionalidad, los criterios de localización a lo largo de las conducciones, el diseño del tamaño de orificio necesario en la ventosa, los efectos de golpe de ariete ocasionados por la presencia de las ventosas y criterios sobre instalación, operación, mantenimiento y seguridad de las ventosas.

Tampoco existe una normativa firme al respecto que ayude a los ingenieros a tomar decisiones a la hora de seleccionar la ventosa más adecuada para el propósito que necesita, y es este último, basándose en su experiencia y en catálogos comerciales, el responsable único de hacerlo. La norma Europea desarrollada por AENOR, UNE-EN 1074-4 "*Válvulas para el suministro de agua. Requisitos de aptitud al uso y ensayos de verificación. Parte 4: Purgadores y ventosa*" establece las restricciones para la verificación de las características neumáticas de las ventosas de aireación, y no establece las pautas para realizar una correcta selección y dimensionamiento de las mismas.

En la práctica, las dificultades existentes a la hora de acometer la selección y el dimensionamiento de las ventosas para un determinado proyecto, pueden provocar que no se escoja ni el tamaño ni el modelo adecuado para llevar a cabo sus funciones, lo que puede causar efectos con consecuencias tan negativas o más que la no inclusión de este tipo de válvulas en la conducción..

Por desgracia estos casos son más habituales de lo deseable, y se han generado corrientes de opinión, para nada favorables al uso de este tipo de dispositivos.

El objeto de este artículo es precisamente describir los problemas causados por una mala selección y/o dimensionamiento de la ventosa, aportar diferentes soluciones mediante tecnologías existentes en la actualidad y aclarar algunos términos que sirvan como criterio técnico a la hora de tomar la decisión sobre el tipo de ventosa más adecuado para cada instalación.

Origen del aire atrapado.

El estudio detallado de la evolución del aire atrapado en una tubería así como el modo más eficiente de expulsarlo o admitirlo en la misma son fundamentales tanto para poder predecir los efectos indeseables que dicho aire puede tener sobre el conjunto de la instalación, como para limitar o anular los mismos.

El agua contiene en condiciones normales cierta cantidad de aire disuelto (el nivel de saturación del aire disuelto en el agua es aproximadamente de un 2%, a presión atmosférica). En los sistemas de distribución de agua, la cantidad de aire disuelto puede superar el valor de saturación de la disolución a dicha presión y temperatura por lo que se libera cierta cantidad del mismo.

Los aumentos de temperatura también son una causa de descarga de aire ya que la presión de vapor del agua aumenta con la temperatura (a 15 °C esta presión es de 1,70 KN/m² mientras que a 30 °C es de 4,24 KN/m²). Esto significa que el volumen potencial de aire que puede ser desprendido es 2.5 veces mayor a 30°C que a 15°C. Estas consideraciones pueden ser importantes a la hora de diseñar sistemas de tuberías en climas con altas temperaturas o sujetos a variaciones térmicas importantes.

La presencia de aire en las tuberías puede tener además otros orígenes muy diferentes. Uno de ellos es el resultado de que la instalación se encuentre incorrectamente diseñada o no haya sido convenientemente llenada y purgada, en cuyo caso pueden llegar a existir grandes masas de aire atrapado en su interior.

Por otro lado, el aire puede entrar en la conducción en el transcurso de su funcionamiento normal atendiendo a otros motivos tales como, eventuales vórtices en la aspiración de las bombas, operación de ventosas admitiendo aire, roturas de las tuberías o pequeñas fisuras en regiones de presión negativa.

Muchas veces las conducciones deben salvar desniveles importantes del terreno siendo su perfil claramente irregular, lo cual facilita la concentración de bolsas de aire en los puntos altos de las mismas. Es el caso de gran parte de los sistemas de abastecimiento de agua en los cuales existe un desnivel considerable entre las fuentes de suministro hasta los depósitos de distribución situados en la cabecera de las redes. Además de los perfiles perjudiciales de las instalaciones hay que añadir, en muchas ocasiones, el corte de suministro con la consecuente puesta en marcha de la instalación. Estas situaciones son completamente habituales en las impulsiones para riego en las cuales las interrupciones en el suministro son inevitables. Es también frecuente en poblaciones en las cuales la escasez de agua hace necesario establecer cortes de suministro. El posterior arranque de la instalación, después que la instalación haya permanecido fuera de servicio, contempla a menudo la presencia de aire atrapado en las tuberías.

Problemas derivados de la presencia de aire en las conducciones de agua a presión.

En ocasiones en una instalación o red hidráulica nos encontramos con una serie de problemas tales como roturas repetitivas de tuberías, consumo excesivo de los grupos de bombeo, caudales anormalmente bajos, funcionamiento en general variable, desgaste y cavitación destructiva de los materiales, etc., a los cuales no podemos dar una explicación lógica y razonable.

En la mayoría de los casos, dichos problemas proceden de haber olvidado un factor importante y decisivo en el transporte real de fluidos a través de redes hidráulicas, y al que en muchas ocasiones no se le presta la debida atención. A este fenómeno se le prestaría mayor atención si se recordase la siguiente frase: “El agua no viaja sola a través de las tuberías”.

Efectivamente, dentro de una red hidráulica, además del agua nos podemos encontrar aire formando bolsas o burbujas, y su presencia puede afectar de forma importante el comportamiento de la instalación.

Independientemente de cuál es el origen de la presencia del aire en las tuberías destinadas a la distribución de agua, su presencia es el causante de numerosos problemas. Los más habituales pueden ser:

- Reduce la sección transversal efectiva de la tubería, lo cual implica una disminución de la capacidad de transporte de la tubería.
- Las propiedades del fluido cambian al estar constituido por una mezcla de aire y agua, la densidad del fluido disminuye mientras que la elasticidad del mismo aumenta.
- Cambia la estructura de la turbulencia del flujo y modifica la fricción con la pared de la tubería.
- Las burbujas de aire se desplazan debido a su flotación lo cual puede modificar el campo de velocidades del flujo.
- En transitorios hidráulicos, la presencia de grandes bolsas de aire influye en las ondas de presión, acentuándolas en algunos casos y deformándolas.
- La acumulación de aire en un sistema puede ocasionar vibraciones y daños estructurales y causar inestabilidades en el flujo.
- El aire puede causar dificultades en las operaciones de filtrado. Los picos producidos por variaciones en la presión del aire hacen difícil mantener buenas operaciones de filtrado. Además las burbujas de aire pueden quedar atrapadas en los filtros de arena reduciendo de esta forma su eficiencia.
- La presencia de aire puede reducir la eficiencia de bombas y turbinas. Cuando el aire se mezcla con el agua que alimenta una turbina, se produce una caída de presión en la salida. La reducción del rendimiento de la instalación como consecuencia del aire atrapado además de incrementar las pérdidas de carga, aumenta los ciclos de bombeo y aumenta, por tanto, el consumo de energía. Algunos estudios realizados apuntan que en redes de distribución de agua el aire atrapado puede reducir la eficiencia de la tubería hasta incluso un 30% y que la mayoría de sistemas de distribución de agua funcionan con bolsas de aire que ocupan entre el 15% y el 20% del volumen total de la instalación. Las bolsas de aire comprimido representan un verdadero obstáculo a la hora de bombear el fluido ya que la acumulación de aire hace que las bombas

tengan que suministrar más altura y trabajar durante más horas, lo cual supone un claro aumento en el consumo de energía eléctrica. La pérdida de eficiencia de la instalación debido al aire atrapado puede a veces ser incluso mayor que las pérdidas por fricción y las pérdidas debidas a fugas. La presencia de bolsas de aire atrapado puede representar un elevado porcentaje del coste operacional de una instalación correspondiente al coste de bombeo del fluido.

- En tuberías de hierro la presencia de aire acelera la corrosión de las mismas.
- El aire puede producir errores en dispositivos de lectura o de medición tales como contadores de agua y caudalímetros. En casos extremos puede incluso inutilizar el equipo de medida. Los contadores mecánicos, bien sean de corro único, chorro múltiple, Woltmann o tangencial disponen de elementos móviles. Como el aire no tiene propiedades lubricantes, ni refrigera estos elementos móviles, es decir los engranajes o la turbina, se ven sometidos a elevadas velocidades. El aire provoca el desgaste de los puntos de apoyo de dichos elementos. Al mismo tiempo, en este tipo de contadores, se producen errores de medición ya que se contabiliza el paso del aire como si fuera agua. En los contadores de agua por ultrasonidos, las bolsas de aire interfieren el paso de la señal entre los transductores. De este modo los tiempos de llegada de la señal de un transductor a otro se ven alterados. En este tipo de contadores, el caudal se considera proporcional a dichos tiempos y por tanto con bolsas de aire, el cómputo del caudal es erróneo.

Sin embargo, a menudo se obvian otros efectos indeseados, que sin duda son más importantes, ya que afectan directamente a la integridad de la conducción, con las repercusiones económicas que pueden llegar a ocasionar las reparaciones. Estos efectos están estrechamente relacionados con la generación de importantes sobrepresiones originadas por el aire atrapado

La causa fundamental de la peligrosidad de la presencia de aire acumulado en las instalaciones de distribución de agua es, precisamente debida a sus diferencias en las características y propiedades físicas con respecto al agua, como su densidad (la densidad del aire en condiciones estándar es de $1,25 \text{ Kg/m}^3$ y la del agua 1.000 Kg/m^3), su excepcional compresibilidad y una inercia, casi despreciable, en comparación con la del agua.

Estas propiedades le confieren al aire, por otro lado, una alta capacidad para almacenar energía y una gran facilidad para desarrollar velocidades altas (llegando incluso a alcanzar velocidades sónicas) a relativamente bajas presiones.

El aire comprimido no presentará ningún inconveniente si permanece estático o confinado (como puede ser el caso de un calderín). Los verdaderos problemas ocurren, precisamente, cuando una bolsa de aire comprimido se desplaza, bien a favor del flujo, o bien en sentido inverso, como ocurre en aquellos tramos de conducciones con pendiente descendente, donde se suman la energía cinética del agua con la energía potencial del aire para provocar efectos literalmente explosivos.

Por ejemplo, durante la operación de llenado de una conducción (suponiendo que estaba totalmente vacía de agua y llena de aire), el agua alcanza velocidades incontroladas realmente elevadas en aquellos tramos de pendiente prolongada favorable. En cambio el aire, que ocupaba todo el volumen de la tubería, se verá obligado a ocupar los espacios en los puntos altos ya que el agua se va alojando en las partes más bajas de la conducción, provocando una especie de tapón hidráulico. Es en este momento donde se produce una circulación en sentido opuesto al agua, que alcanza velocidades enormes debido a que la presión va aumentando poco a poco en el interior de la tubería. El aire que queda atrapado en la parte alta, al perder esa velocidad, aumenta drásticamente su volumen, provocando un estrangulamiento de la vena líquida que impide por completo, en algunos casos, el flujo del agua.

Otro ejemplo muy típico puede ser el de una conducción de agua de riego de perfil irregular que debido a una parada prolongada en el riego se ha quedado una bolsa de aire atrapado en un punto alto entre dos columnas de agua que ocupan sendos sifones invertidos. Si se decide reanudar el riego y poner en marcha la instalación, la primera columna de agua, más próxima a la estación de bombeo comenzará a moverse. La bolsa de aire, que queda en medio, comenzará a presurizarse y por tanto a comprimirse de forma importante antes de provocar movimiento alguno de la segunda columna de agua. Una vez la segunda columna consigue moverse, la bolsa de aire se descomprime aumentando su volumen considerablemente e interrumpiendo de nuevo el flujo. Estas oscilaciones de presión que acontecen suelen ser del todo perniciosas para la conducción.

Del mismo modo que la necesidad de evacuar el aire del interior de las conducciones, es conveniente permitir la entrada de aire en la instalación cuando esta se descarga, para evitar daños

producidos en las conducciones por presiones negativas (subatmosféricas) y evitar la succión de suciedad y contaminación en general a través de juntas, válvulas, etc... Es especialmente importante evitar el efecto de succión en los sistemas de riego por goteo, al ser estos especialmente susceptibles a la obturación.

Dispositivos existentes para solucionar el problema de aire atrapado.

Una de las soluciones mayormente adoptadas para solucionar los problemas de las sobrepresiones, que se producen en las conducciones de agua a presión, como consecuencia de la compresión de las bolsas de aire atrapado durante las operaciones de llenado y puesta en marcha o durante un transitorio hidráulico, es la instalación de válvulas de aire o ventosas en aquellos puntos estratégicos de la instalación.

Al mismo tiempo, son una solución fiable para evitar las presiones subatmosféricas que se producen en las operaciones de vaciado intencionado o vaciados accidentales (roturas), o los fenómenos de cavitación que suelen acontecer en los puntos altos de las conducciones susceptibles de producirse durante un episodio de transitoriedad.

Por este motivo, en algunos lugares, las ventosas son denominadas, de manera errónea, “válvulas de escape de aire”, y, en menor medida como “válvulas rompedoras de vacío”.

Las ventosas son los dispositivos básicos para realizar el control de la presencia de aire en las conducciones. Existen dos tipos de válvulas que realizan dicha función: las de efecto automático o de funcionamiento a alta presión y las de efecto cinético o de funcionamiento a baja presión. Según esta tipología, las válvulas de aire pueden clasificarse en tres (3) tipos fundamentales:

- Ventosas automáticas, también denominados purgadores.
- Ventosas bifuncionales, también llamadas de “gran orificio” o “de aire y vacío”, etc...
- Ventosas de doble efecto o trifuncionales.

Ventosas automáticas (Purgadores)

Las ventosas de efecto automático o de alta presión, también llamadas purgadores automáticos, son sistemas hidromecánicos que evacúan, de forma automática, pequeñas bolsas de aire que se acumulan en los puntos elevados de una tubería cuando ésta se encuentra en condiciones de operación y, por lo tanto, presurizada. Se caracterizan por tener un orificio de paso de aire pequeño (generalmente de hasta 25 mm de diámetro). Dependiendo del tamaño del orificio o tobera, la capacidad de purga variará. Por lo general, un mayor orificio significa una capacidad mayor de purga de aire, pero también implica, por lo general, presiones de trabajo menores (o tamaños de flotador mayores).

Son útiles para sacar pequeñas cantidades de aire de la tubería generadas principalmente por causas propias del fluido, aun existiendo presión en el sistema (aire disuelto en el agua que, al disminuir la presión o aumentar la temperatura, forma burbujas).

Se fundamentan en una boya o flotador que es empujado por el agua de la tubería que llega a la válvula. Durante la operación normal del sistema, pequeñas cantidades de aire van entrando y se van acumulando en la válvula. Cada partícula de aire que llega desplaza un volumen igual de agua de la válvula, lo cual hace descender el flotador de acuerdo al nivel de líquido.

Existen numerosas tecnologías aplicadas al desarrollo de purgadores automáticos. Así pues, se pueden encontrar purgadores de flotador esférico de acción directa contra el orificio o tobera, flotadores que incluyen levas y palancas, flotadores de acción indirecta mediante gomas desplegadas, etc... purgadores de alta capacidad, para bajas o altas presiones, fabricados en materiales plásticos o en fundición de hierro o de acero. Todos ellos funcionan de la misma manera. Cuando el nivel de agua ha descendido lo suficiente, el flotador cae, abriendo el orificio de salida y permitiendo la evacuación a la atmósfera del aire acumulado en la campana de la válvula.

Una vez ha salido todo el aire, el agua ocupa su lugar y hace ascender de nuevo el flotador, cerrando de nuevo el orificio y evitando la salida de agua. Esto sucede así aunque exista una presión dentro de la tubería debido a que el peso del flotador es superior a la fuerza que produce la presión sobre el orificio de salida.

Este ciclo se repite de forma automática tantas veces como sea necesario y a medida que el aire se va acumulando en la válvula.

Las ventosas automáticas, debido a que su orificio es de pequeño diámetro, no están normalmente recomendadas para la protección del vacío (colapso de la tubería) o para eliminar grandes volúmenes de aire en el caso de llenado de tuberías de gran diámetro.



Diferentes modelos de purgadores existentes en el mercado

Ventosas bifuncionales o de “gran orificio”.

Los procesos de llenado y vaciado de tuberías son, como se ha comentado anteriormente, dos de las operaciones más críticas en toda instalación.

Durante el proceso de llenado, el aire que ocupa las tuberías debe ser evacuado a medida que el agua va entrando. Esto debe hacerse controlada y eficazmente para evitar sobrepresiones y golpes de ariete, de forma que el agua pueda llenar completamente la conducción sin dejar aire atrapado.

Durante el proceso de vaciado de tubería se debe permitir la entrada de aire para llenar el vacío dejado por el agua y evitar la formación de depresiones que podrían producir el colapso de la tubería. La entrada de aire es esencial para poder drenar la tubería de forma efectiva y evitar la separación de la columna líquida, la cual puede ser tan dañina como la sobrepresión.

Estas operaciones se realizan con las llamadas ventosas bifuncionales, también denominadas de “gran orificio”, de “baja presión” o de “aire y vacío”.

Las ventosas bifuncionales, 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).

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 desciende 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.



Algunos modelos de ventosas bifuncionales

Ventosas de doble efecto o trifuncionales.

Existen en el mercado numerosos tipos de ventosas que combinan los dos efectos anteriormente descritos, denominándose válvulas ventosa de doble efecto, trifuncionales o de doble orificio.

Las ventosas trifuncionales combinan las funciones de las de efecto automático y las de efecto cinético.

Las válvulas de doble efecto poseen dos orificios: uno para la evacuación y la admisión del aire en llenados y vaciados de la tubería (trabajo a baja presión) y otro para la función de purga automática (en alta presión). Lo más habitual es encontrarse con ventosas trifuncionales que incluyen dos cuerpos diferenciados, uno para cada cometido, aunque existen diseños que integran ambas funcionalidades en un único cuerpo y un único flotador.

Durante el llenado de las tuberías el agua va empujando el aire, el cual va siendo evacuado a la atmósfera a través del gran orificio de la ventosa. El pequeño orificio de efecto automático (purgador) permanece abierto durante este proceso.

Cuando la tubería se llena completamente, los dos orificios se cierran por la acción del agua sobre el o los flotadores. Una vez la instalación ha alcanzado la presión normal de trabajo, el aire que va acumulándose en la válvula va siendo evacuado a través del pequeño orificio de efecto automático.

La válvula de aire y vacío permanece completamente cerrada y no se abre de nuevo hasta que el sistema es drenado o aparece una presión negativa.

En tal caso, el flotador caerá inmediatamente, abriendo el orificio y permitiendo la entrada de aire a la tubería. En este momento, la válvula ventosa está nuevamente lista para evacuar el aire otra vez. Este ciclo se repetirá tantas veces como sea necesario.



Algunas imágenes de ventosas trifuncionales que se pueden encontrar en el mercado

Problemática Asociada a las Ventosas Existentes en el Mercado.

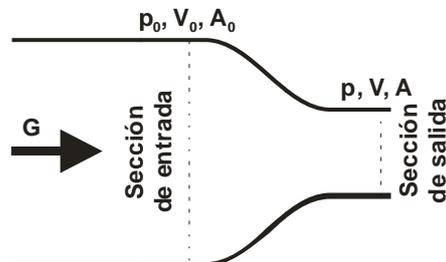
Como ya se ha comentado en la introducción, la instalación de ventosas en una conducción de agua no siempre proporciona las garantías mínimas de protección para las cuales se han diseñado y puede acarrear situaciones más problemáticas que las que pretendía evitar. Una mala selección de las mismas, un mal funcionamiento o un deficiente mantenimiento, puede dar lugar a problemas adicionales, que en algunos casos, pueden ser más perniciosos que los que tendrían lugar en caso de no haberlas instalado.

En este capítulo, se pretende identificar que problemas pueden surgir, con el fin de tenerlos en cuenta a la hora de seleccionarlas y dimensionarlas.

Problemas relacionados con la caracterización de las ventosas.

La característica de una ventosa es la relación que existe entre el caudal másico G que esta puede expulsar o admitir y la presión p_t en el interior de la tubería en la que se encuentra conectado. La mayoría de fabricantes lo suelen expresar en forma de curva donde presentan la relación entre el caudal de aire admitido o expulsado con la diferencia de presiones entre el interior y el exterior de la tubería.

Se puede asemejar el comportamiento de una ventosa al del flujo isoentrópico que se produce a una tobera convergente.



Esquema de una tobera convergente

En este caso, el caudal másico de aire G que expulsa una ventosa para condiciones de flujo subsónico (entiéndase como flujo subsónico aquellas condiciones en las que la presión p_t en el interior de la tubería es inferior a 1,89 veces la atmosférica).

$$G = C_{\text{exp}} A_{\text{exp}} p_t^* \sqrt{\frac{7}{RT_t} \left[\left(\frac{p_{\text{atm}}^*}{p_t^*} \right)^{1,4286} - \left(\frac{p_{\text{atm}}^*}{p_t^*} \right)^{1,714} \right]}$$

Donde C_{exp} es el coeficiente de expulsión de la ventosa. Dicho coeficiente adopta siempre valores inferiores a la unidad, tanto menores cuanto mayor dificultad presente la expulsión de aire. Asimismo en la ecuación anterior A_{exp} representa la sección de salida durante el proceso de expulsión; p_t^* es la presión de trabajo en el interior de la tubería, R es la constante característica del aire; T_t la temperatura del aire en el interior de la tubería; y p_{atm}^* el valor absoluto de la presión atmosférica.

En el caso de que se exceda la velocidad del sonido (condiciones de flujo supersónico, en las que la presión p_t interna es superior a 1,89 veces la presión atmosférica), el caudal volumétrico se bloquea al ser constantes tanto la sección como la sección de salida. Por el contrario, el caudal másico puede aumentar ya que el aumento de presión origina un aumento de la densidad del aire. En estas condiciones el caudal másico expulsado por la ventosa es

$$G = C_{\text{exp}} A_{\text{exp}} \frac{0,686}{\sqrt{RT_t}} p_t^*$$

Un planteamiento similar puede realizarse para el caso de la admisión de aire en una ventosa. En estas condiciones las únicas diferencias estriban en que la presión en la sección de entrada es constante e igual a la presión atmosférica, mientras que la presión en la sección de salida es variable, correspondiendo a la presión en la tubería de conexión de la ventosa. Para flujo subsónico el caudal másico es

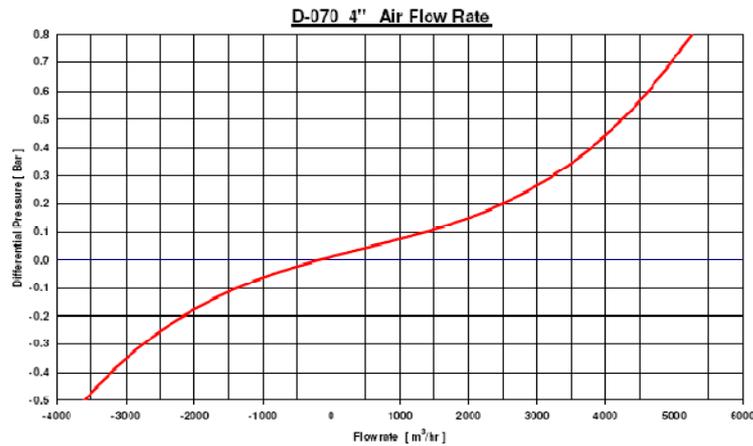
$$G = C_{\text{adm}} A_{\text{adm}} \sqrt{7 p_{\text{atm}}^* \rho_{\text{atm}} \left[\left(\frac{p_t^*}{p_{\text{atm}}^*} \right)^{1,4286} - \left(\frac{p_t^*}{p_{\text{atm}}^*} \right)^{1,714} \right]}$$

Donde C_{adm} es el coeficiente de admisión de la ventosa que tiene las mismas implicaciones que C_{exp} en el proceso de expulsión; A_{adm} es el área durante el proceso de admisión y ρ_{atm} es la densidad del aire en las condiciones de presión atmosférica.

En el caso de que el flujo sea sónico el caudal volumétrico se mantiene constante. En este caso, dado que la presión a la entrada de la ventosa es constante, se mantiene también el caudal másico, por lo que se produce un bloqueo del mismo. Por más que aumente la depresión en el interior de la conducción la cantidad de aire admitida no aumentará. Dicho caudal másico G en las condiciones de flujo sónico viene dado por

$$G = C_{\text{adm}} A_{\text{adm}} \frac{0,686}{\sqrt{RT_{\text{atm}}}} p_{\text{atm}}^* = \text{cte}$$

Las expresiones anteriores no son más que formulaciones teóricas del potencial comportamiento de las ventosas. La representación real del comportamiento de una ventosa debe obtenerse mediante ensayo y es una información que debe aportar el fabricante de la misma).



Información técnica aportada por un fabricante donde muestra la curva característica de la ventosa

En muchos de los fabricantes, se encuentran grandes discrepancias entre sus curvas de capacidad de expulsión y de admisión presentes en el catálogo comercial y las obtenidas mediante ensayos experimentales de verificación.

Esto se debe principalmente a que este tipo de ensayos es a menudo muy complicado y caro de realizarse.

Anteriormente hemos comentado la existencia de una Norma Europea, la norma UNE-EN 1074-4. *Válvulas para el suministro de agua. Requisitos de aptitud al uso y ensayos de verificación. Parte 4: Purgadores y ventosas*. Esta norma establece las restricciones para la verificación de las características neumáticas de las ventosas de aireación.

Una de las limitaciones que tiene esta norma es que solamente recoge como preceptivo el ensayo de ventosas hasta DN100.

Además, permite no realizar la totalidad de los ensayos, puesto que establece que la realización de los ensayos para un diámetro nominal permite posteriormente extrapolar la validez de los resultados a dos diámetros nominales inmediatamente superiores y a dos diámetros nominales inmediatamente inferiores.

A pesar de estas facilidades que da la normativa en vigor, aún se siguen demostrando diferencias importantes en la caracterización de ventosas, que significa que muchos fabricantes realizan las curvas características de sus catálogos comerciales mediante métodos teóricos, en los que se incluyen coeficientes de admisión (C_{adm}) y expulsión de aire (C_{exp}) demasiado optimistas (muy próximos a la unidad).

Esto implica que se incurra en errores a la hora de dimensionar las ventosas para un sistema determinado y se termine instalando un modelo de válvula que no ofrece las capacidades de aireación deseadas, lo que puede provocar un defecto en la protección del sistema.

De esta forma, si se calculan unas necesidades de evacuación de aire de la conducción durante la operación de llenado (planificando esta operación en base a un tiempo de llenado de la conducción y a una velocidad de llenado de los equipos de bombeo) y se instala una ventosa, cuya curva característica de catálogo la sitúa como idónea para ese supuesto, pero la curva real no ofrece dichas capacidades, ocurrirá que la ventosa será incapaz de extraer ese caudal de aire, provocando que la presión en el llenado aumente por encima del valor de diseño de la ventosa, y se produzca un cierre dinámico del flotador que deje una bolsa de aire atrapado en la tubería. En este caso, si no se pretende cambiar la ventosa por otra de características válidas para el diseño propuesto en un inicio, se debería aumentar el tiempo de llenado de la conducción o reducir la velocidad de llenado de los equipos de bombeo.

Lo mismo ocurrirá en las operaciones de vaciado, las cuales se han planificado para realizarse en un tiempo determinado y sin que la depresión interna baje por debajo de un valor prefijado, para el cual se ha seleccionado la ventosa. En este caso, una ventosa con una capacidad de admisión de aire real inferior a la que se utilizó para su selección, no será capaz de admitir ese volumen de aire, por lo que la depresión mínima exigida en la operación de vaciado se rebasará con el riesgo de colapso del tubo que conlleva.

Problemas relacionados con la selección de ventosas en base a su diámetro nominal.

Son numerosas las confusiones cometidas a la hora de decidir sobre que ventosa es la que se va a instalar. Esto ocurre, precisamente, porque se ha generalizado el hábito de identificar a las ventosas en base a su diámetro de conexión (tamaño de rosca o de brida), y no en base a su orificio por donde entra y sale el aire. A menudo, los principales culpables de que se sigan cometiendo esta clase de errores son los propios fabricantes y vendedores de ventosas, puesto que no ofrecen toda la información necesaria para la toma de decisiones.

Es preceptivo, entonces, que se hagan conocer las características del elemento de aireación, que al fin y al cabo es el que va a determinar que capacidades de admisión y expulsión de aire tiene la válvula, y bajo qué condiciones de funcionamiento opera.

A partir de aquí, es necesario realizar una segunda clasificación de las ventosas, al menos, en lo que al componente cinético (bifuncional) se refiere, atendiendo a criterios meramente estructurales.

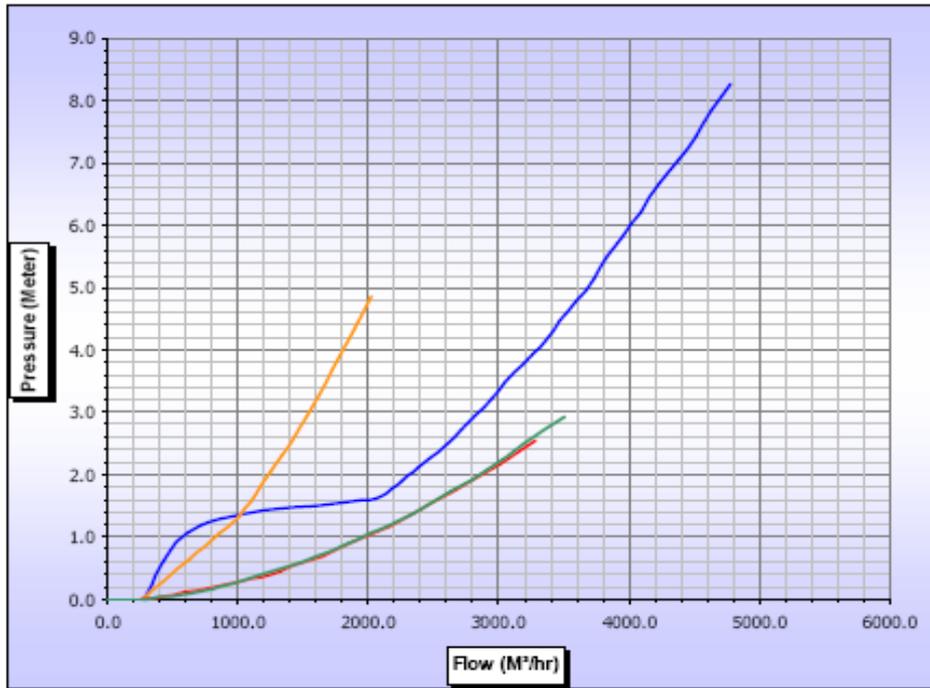
De este modo, existirían dos clases de ventosas de gran orificio: ventosas de paso nominal o paso total y ventosas de paso no nominal o paso reducido.

Las ventosas cinéticas de paso nominal son aquellas cuyo diámetro nominal de la conexión es igual al del orificio de salida, y además, la superficie libre que existe entre el flotador y el cuerpo de la válvula es también equivalente a la superficie del orificio de salida y al de entrada. Es por tanto, una válvula, donde el aire, en la admisión o la descarga, no encuentra grandes restricciones al paso, lo que implica que tengan una gran capacidad de aireación. Es por ello, que algunos fabricantes, las denominen también ventosas de gran capacidad (o en sus términos en inglés “High Flow”).

Por el contrario, las ventosas de paso reducido o no nominal, son aquellas en las que el orificio de salida tiene una superficie inferior al orificio de la conexión, lo que se traduce en una restricción al paso del aire, y por tanto en una menor capacidad de aireación a comparación de las nominales.

Por lo general, las ventosas de paso nominal son válvulas fabricadas en concordancia con la normativa americana de la AWWA (American Water Works Association), por lo que se pueden identificar claramente con tecnología de patentes norteamericanas. Por el contrario, las ventosas de paso reducido son más comunes entre los modelos fabricados por compañías europeas.

Otra gran diferencia entre ambas clases, y que determina en gran medida la idoneidad o no de ser instaladas en una determinada conducción, es la referida a las condiciones de trabajo de una u otra. Nos referimos a la presión diferencial de diseño, que es la presión a la que el orificio cinético queda obturado por el flotador (cierre dinámico). Por lo general, las ventosas de paso nominal suelen cerrarse a presiones diferenciales más bajas que las ventosas de paso reducido. Esto se debe a que la velocidad que alcanza el aire durante su salida a través de la ventosa, es tan alta, en ventosas de paso nominal, que si el flotador se cerrara a presiones elevadas, la violencia del impacto del flotador contra el orificio generaría un golpe de ariete inducido de gran magnitud. Es por este motivo que algunos fabricantes, conscientes de ello, diseñan sus flotadores cinéticos de tal manera que los umbrales de trabajo de la ventosa son totalmente seguros.

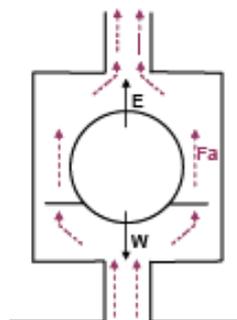


Curvas obtenidas mediante ensayos de verificación en laboratorio. En estos ensayos se verificaron las curvas de varios modelos de ventosas DN100. La curva naranja se corresponde con una ventosa DN100 de paso reducido, las roja y verde con ventosas DN100 de paso nominal y la azul se trata de una ventosa dinámica DN100. Las curvas obtenidas muestran, además de la capacidad de expulsión de aire, el valor de la presión de cierre del flotador.

Problemas relacionados con el cierre dinámico de las ventosas. Ventosas Cinéticas y Ventosas No Cinéticas.

Para comprender el fenómeno del cierre dinámico, se hace imprescindible conocer qué fuerzas actúan en el interior de las ventosas durante los procesos de expulsión del aire.

Estas fuerzas son: el peso del flotador (W), el empuje E debido al aire que desaloja y la fuerza de arrastre (F_a) del aire sobre el flotador



Esquema de las fuerzas actuantes en el interior de una ventosa

Si tenemos en cuenta que el flotador se encuentra en reposo en el asiento inferior del cuerpo de la ventosa, el balance de fuerzas actuantes sobre el flotador durante la expulsión del aire, sería el siguiente:

$$0 = \rho_f \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot g - \rho_e \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot g + \frac{1}{2} \cdot C_a \cdot \rho_f \cdot A \cdot v^2$$

Donde ρ_f es la densidad del fluido, ρ_e la densidad del flotador, C_a es el coeficiente de arrastre, A la superficie transversal del flotador y v como la velocidad del fluido.

El coeficiente de arrastre límite para el cual el flotador se ve arrastrado y cierre la ventosa, se obtiene despejando C_a de la ecuación anterior:

$$C_a = \frac{8 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot g}{3 \cdot A \cdot v^2} \cdot \left(\frac{\rho_e}{\rho_f} - 1 \right)$$

Si el coeficiente real es mayor que el obtenido mediante esta ecuación, ocurrirá que el flotador se verá arrastrado por la acción del aire, produciendo un cierre prematuro y por tanto dejando aire atrapado en el interior de la conducción.

Se refiere por cierre dinámico a la tendencia que tiene la ventosa a cerrar prematuramente, normalmente antes de que el agua alcance el flotador y permitiendo que una masa de aire más o menos grande quede atrapado en el interior de la tubería.

Llegados a este punto, se puede realizar otra clasificación de las ventosas de gran orificio: aquellas que tienen tendencia a cerrar prematuramente, que pueden calificarse como ventosas no cinéticas, y aquellas que no presentan este problema, llamadas ventosas de efecto cinético, o ventosas cinéticas.

Las ventosas calificadas como “no cinéticas” o que presentan un problema claro de cierre prematuro, generalmente son válvulas en las que no se han invertido grandes recursos ni conocimiento en su diseño de fabricación. Habitualmente están provistas de flotadores diseñados de tal forma que velocidades de salida del aire relativamente bajas durante el llenado de la conducción (que se corresponden con valores del diferencial de presión extremadamente bajos, por lo general menores de 3 mca), son capaces de arrastrarlo de manera que el orificio de aire y vacío queda obturado sin la posibilidad de continuar expulsando el aire, por lo que al final se produce una bolsa de aire atrapado en el punto de venteo, que se presuriza a medida que la instalación se va llenando, ocasionando graves problemas de sobrepresiones.

Este problema ocurre, además de por las características estructurales propias de la válvula, debido a que la densidad del flotador es relativamente baja en comparación con la densidad del fluido. Para ello se diseñan flotadores huecos, normalmente de paredes muy finas, lo que pueden hacerlos vulnerables a otros problemas adicionales.

Como decimos, este problema viene acompañado de otros, tales como problemas de estanqueidad de la ventosa, una vez cerrado el flotador, debido a una capacidad de sellado muy baja. Para que se produzca una perfecta estanqueidad en el asiento del orificio se precisa de un flotador indeformable a las presiones de trabajo. Para ello, algunos fabricantes han desarrollado flotadores fabricados en materiales poliméricos muy resistentes a la deformación, perfectamente regulares y que encajan a la perfección en los asientos de los orificios.

Por el contrario, las ventosas calificadas como “cinéticas” son modelos que se desarrollaron pensando en el problema del cierre prematuro. Estas válvulas poseen características estructurales y flotadores diseñados según criterios aerodinámicos que hacen que permanezcan abiertos ante cualquier régimen de caudal de aire que pueda salir por el orificio. A menudo lo que sucede es simplemente que el flotador posee una densidad mayor a comparación de los flotadores de ventosas no cinéticas, o simplemente es de mayores dimensiones, lo que en definitiva supone un aumento del peso del flotador. Otras formas de conseguir el efecto cinético es modificar los cuerpos de las ventosas, de manera que el flotador está a una distancia considerable del orificio, o también incluir brazos, levas o palancas solidarias a los flotadores, que le confieren cierta resistencia al paso del aire.

Este tipo de válvulas permiten la expulsión del aire a velocidades muy elevadas, lo que puede ocasionar ciertos problemas a tener en cuenta durante las operaciones de llenado de la instalación o en los episodios de transitoriedad hidráulica.

Uno de los problemas asociados es el golpe de ariete inducido en el cierre dinámico de la ventosa. Si se producen unas condiciones en el llenado, tales que la velocidad de llegada de la columna de agua a la ventosa sea elevada, se puede producir un transitorio, de igual manera que se produce en un cierre brusco de una válvula de corte. Este tipo de transitorios hidráulicos suele ir asociado con picos de presión bastante altos. Una manera de cuantificar el pico de presión asociado al cierre de una ventosa es mediante la Ecuación de Joukovsky, basada en el principio del diferencial de velocidad. Esta expresión no contempla la compresibilidad del aire que queda atrapado dentro de la conducción, lo que podría complicar aún más la situación.

$$\Delta H = -\frac{a \cdot \Delta v}{g}$$

El factor ΔH es el valor de la sobrepresión máxima (mca), a la celeridad de la onda (m/s), Δv 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 supone una sobrepresión de 10 atm.

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 el valor del diferencial de presión de diseño.

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

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 80 mm de diámetro nominal, capaz de evacuar un caudal de aire de 0,4 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 600 mm de diámetro, producirá un golpe de ariete en el cierre dinámico de 76 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.

En cualquier caso se recomienda el uso de softwares especializados en la modelización de transitorios hidráulicos para realizar este tipo de análisis de la manera más fiable.

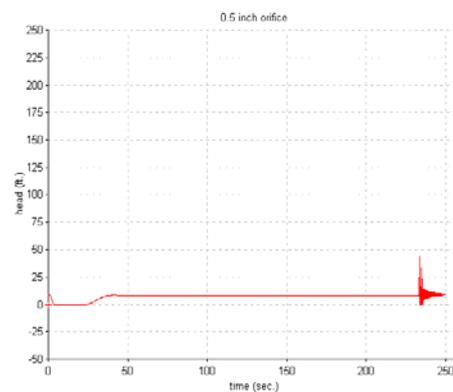
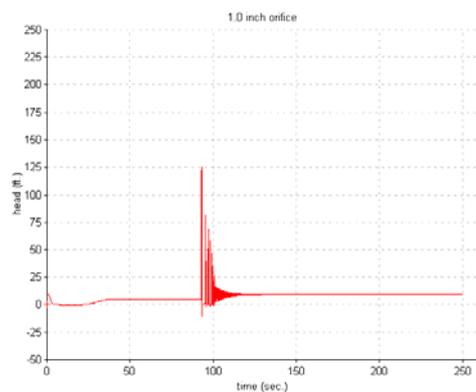
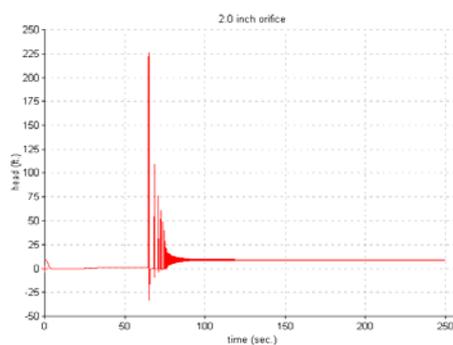
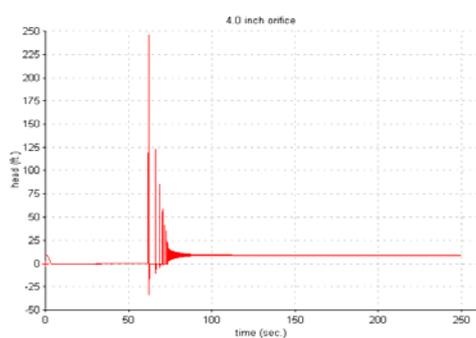
Otro problema importante relacionado con las ventosas cinéticas es el que se produce cuando el flotador no reacciona a tiempo ante la llegada del agua al cuerpo de la ventosa. Esto produce que el agua salga por el orificio e impida el cierre del flotador contra el asiento, produciendo fugas importantes de caudal en la línea. Este fenómeno es mayormente conocido como “ahogo de la ventosa”.

Problemas relacionados con el sobredimensionamiento de las ventosas

Es más común de lo deseable el dimensionar las ventosas para una conducción a través de métodos aproximativos, tales como tablas que relacionan el diámetro de la conducción con el diámetro nominal de la ventosa. Este tipo de métodos no asegura, en absoluto, la correcta protección de la línea, y en numerosas ocasiones se sobredimensionan las ventosas. En otras ocasiones, se ha procedido a instalar todas las ventosas de una conducción del mismo diámetro con el fin de facilitar el mantenimiento.

En el capítulo anterior se ha establecido una relación directa entre la capacidad de aireación real de la ventosa (que depende directamente del tamaño del orificio de entrada y salida de aire) y la sobrepresión que genera el cierre dinámico de la ventosa, estableciendo que, a un mayor orificio, mayor será el valor del golpe de ariete inducido en el cierre.

En las siguientes gráficas, obtenidas mediante un programa informático de simulación y análisis de transitorios hidráulicos, se pueden comparar las alturas de presión obtenidas en cierres de orificios de ventosa de diferentes diámetros, simulando su funcionamiento en un mismo punto alto de la instalación, y con las mismas condiciones de contorno.



Alturas de presión obtenidas en el cierre dinámico de ventosas de diferentes diámetros

Por consiguiente, es muy importante intentar seleccionar las ventosas para los requerimientos de aireación que precisa el sistema, intentando no sobredimensionarlas para evitar, en la medida de lo posible, situaciones peligrosas.

Problemas relacionados con el uso de ventosas dimensionadas para proteger a la instalación ante vaciados accidentales producidos por roturas en la tubería

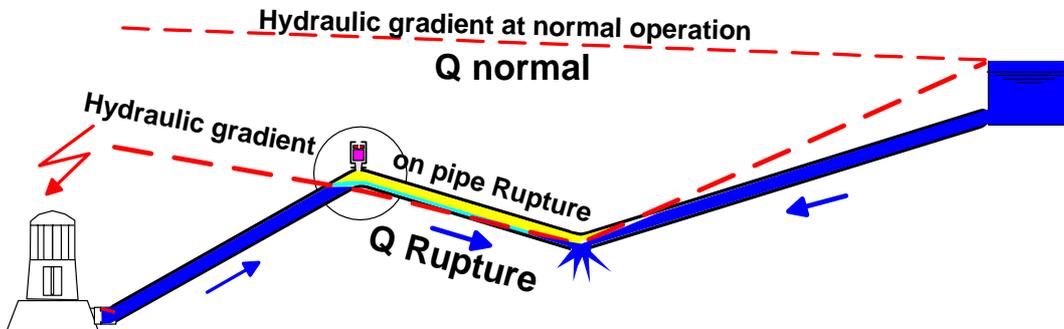
Como mínimo, las ventosas se deben dimensionar para los supuestos del llenado y de la operación de vaciado mediante los desagües previstos en los puntos bajos del sistema. Además de éstos, puede darse la ocasión de que además se dimensionen para proteger una conducción del colapso que produciría el vaciado accidental a través de una rotura de la conducción por el punto más desfavorable de la línea.

En este caso, se hace necesario ingresar enormes volúmenes de aire a la conducción para evitar el colapso de la misma. Normalmente estos valores son mucho mayores que los obtenidos para los criterios de dimensionamiento para llenado y para vaciado por desagüe.

En los últimos tiempos se está optando por realizar el dimensionamiento de las ventosas para rotura teniendo en cuenta roturas parciales, con resultados mucho más realistas, que los obtenidos para el cálculo del dimensionamiento para rotura franca de la tubería.

A pesar de esto, seguirán existiendo notables diferencias entre los requerimientos de caudal de aire a ingresar y a expulsar. Al final se seleccionará la ventosa para el supuesto más desfavorable, es decir, para que cumpla con las necesidades de aire a ingresar para proteger la conducción del colapso debido a un vaciado por rotura. En este caso nos encontramos con una ventosa muy sobredimensionada, con un orificio mucho más grande de lo necesario para el llenado de la conducción. Entonces, sucederá que,

durante esta operación, el aire será expulsado muy rápidamente, cerrando el flotador de forma brusca, y produciéndose un repentino choque de la columna de agua contra la ventosa cerrada, generando un golpe de ariete inducido relativamente alto, capaz de propagarse y ocasionar daños a lo largo de toda la conducción.



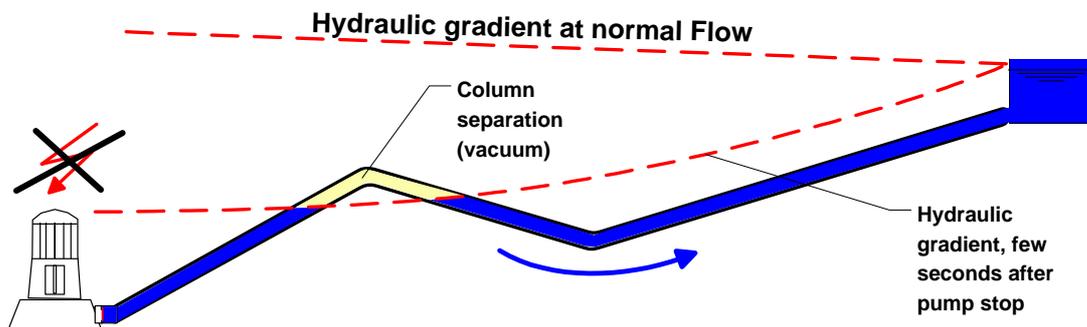
Problemas relacionados con el uso de ventosas como elemento de control en los transitorios hidráulicos.

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.

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.

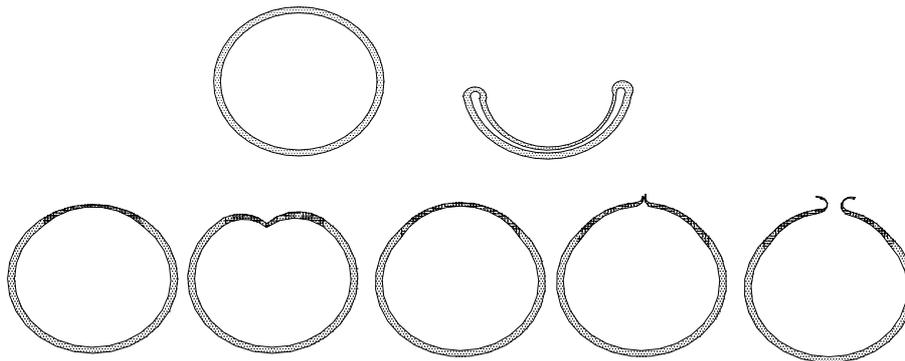


Cuando la columna de agua regresa al punto donde se ha producido la separación de columna de agua, aumenta la presión a niveles positivos. La columna de agua impacta literalmente contra la válvula de retención de la bomba (que está cerrada) o contra el obturador de la válvula. En este momento una considerable 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 positiva de gran magnitud, que es el causante de reventones en la tubería.

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.

Para evitar estas situaciones existen diversas soluciones.

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 sistemas con grandes bombas. Este tipo de sistemas los podemos calificar como dispositivos de acción directa.

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 anticipadoras de onda, las chimeneas de equilibrio, los tanques unidireccionales o las ventosas.

Nos centraremos, entonces en explicar la utilización de las ventosas como elemento de protección del golpe de ariete.

Por todos es conocido el uso de las ventosas para este tipo de situaciones, 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 añadidos, tal y como se ha venido explicando anteriormente.

En primer lugar hay que aclarar que las ventosas solamente actúan durante la fase de presión negativa o depresiones que puedan producirse durante un episodio de transitoriedad. 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 cavitación.

Al instante de haberse producido la fase de presión negativa, se produce un aumento súbito de la presión 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.

Es esta situación la que plantea la mayoría de los problemas que acontecen en la línea cuando existen ventosas 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), nos encontraremos con que el gran volumen de aire introducido se descargará de la tubería con excesiva velocidad, permitiendo que las columnas de agua separadas vuelvan a juntarse produciendo un violento choque que generaría un pico de presión extremadamente alto.

Si la ventosa instalada no es cinética, el flotador de la ventosa cerrará prematuramente al recuperarse las presiones, y dejará una bolsa de aire atrapado entre dos columnas que chocan violentamente, lo que también producirá importantes sobrepresiones.

La experiencia ganada en los últimos años en este tipo de situaciones recomienda enérgicamente la simulación del transitorio y la selección de las ventosas utilizando los programas informáticos especializados, 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.

Es importante comentar que las ventosas no ofrecen la protección integral ante el golpe de ariete en toda la conducción. Como se ha comentado, las ventosas solo actúan en la fase depresiva del transitorio, evitando en la medida de lo posible que el tubo colapse, sobre todo en aquellos puntos de la línea susceptibles de producirse (identificándose mediante modelos informáticos).



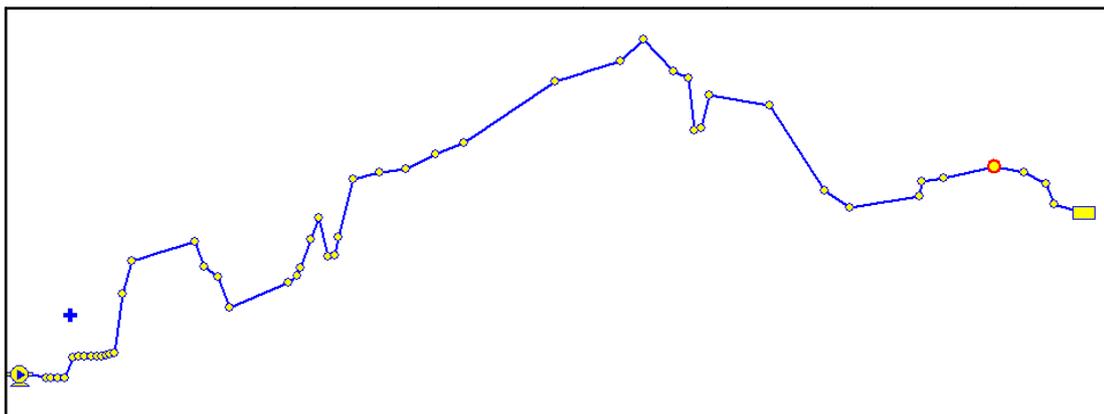
Tubería de acero aplastada por colapso debido a presiones subatmosféricas en su interior.

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.

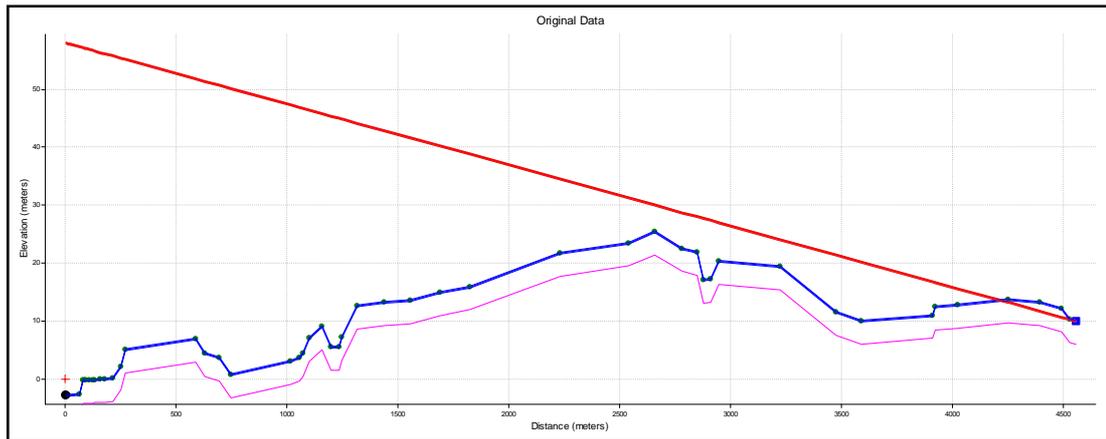
Lo que si se ha detectado es la posibilidad de optimizar al máximo estos otros equipos que suponen un coste económico mucho más alto que el de las ventosas. De esta manera, el volumen de un calderín antiarriete se puede disminuir si en los puntos altos de la conducción se plantean ventosas especialmente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

Para poder explicar este caso mediante un ejemplo, se ha tomado prestado un proyecto real, con los siguientes datos de partida:

- Diámetro de la tubería : 630 mm PEAD
- Longitud total : 4.521 m
- Rugosidad del tubo (Coef. Hazen Williams) : 150
- Celeridad de la onda : 1000 m/s
- Nivel mínimo de agua en la captación : -2,87 m
- Nivel de agua en la descarga : 9,98 m
- Número de bombas en funcionamiento : 1
- Caudal unitario por bomba : 1.449 m³/h
- Altura manométrica : 48.2 mca
- Velocidad del motor : 1.480 RPM
- Eficiencia de la bomba : 87,1 %
- Inercia del motor y la bomba : 0,32 Nm² (calculated)
- Caudal de diseño : 1.449 m³/h
- Altura de cavitación : -10 m



Representación de la tubería de 630 mm de impulsión de agua bruta



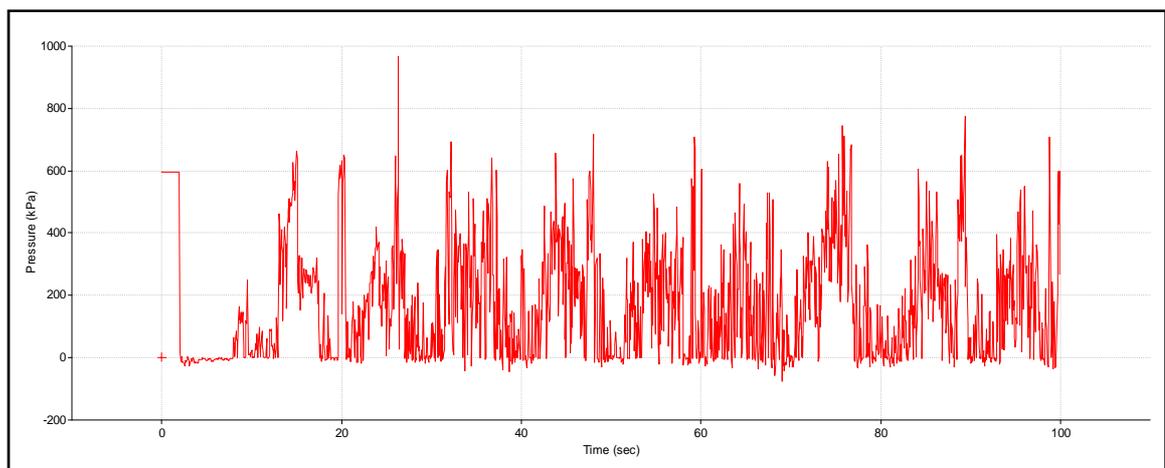
Lo primero que se realiza es la simulación del sistema en régimen permanente

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. 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.

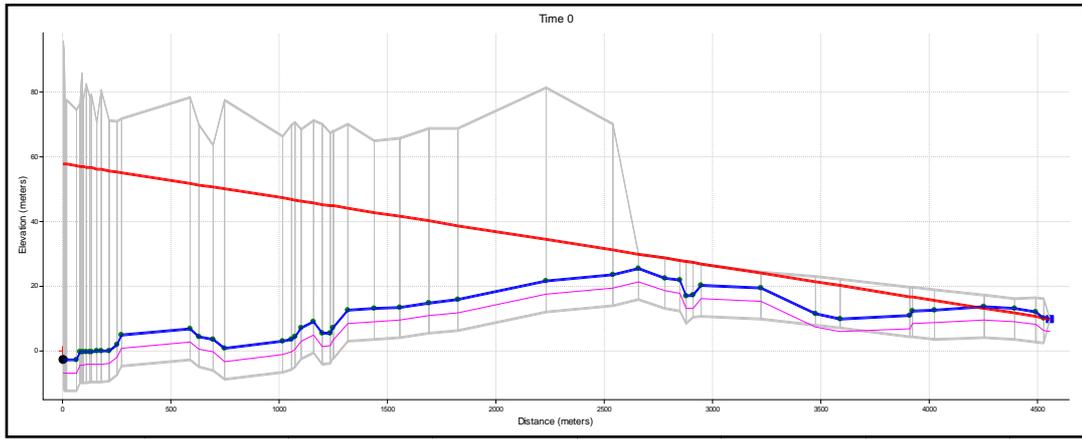
Para esta situación, las condiciones más desfavorables serán las que cumplan las siguientes condiciones:

- Caudal total impulsado en condiciones de régimen 1.449 m³/h
- Altura geométrica de impulsión mínima ó máxima.
- Parada simultánea de la/las bombas en marcha, por fallo en el suministro eléctrico.

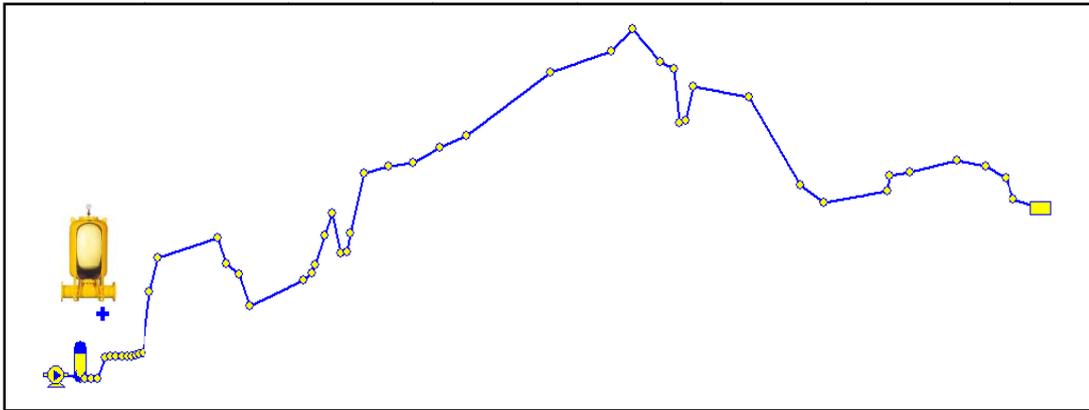
La parada simultánea de las bombas en marcha, produce cavitación en prácticamente toda la tubería si no se dispone en la misma de sistemas de protección. Por ello, los sistemas de protección son totalmente necesarios y su objetivo es evitar que, en el caso del transitorio más desfavorable, las presiones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



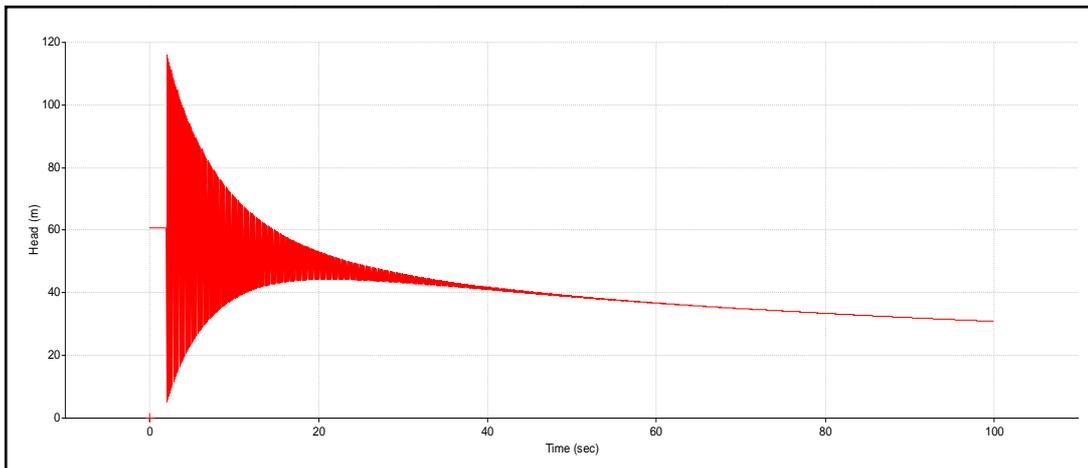
Paro incontrolado de las bombas. Evolución de la presión a la salida del bombeo. Sin protección.



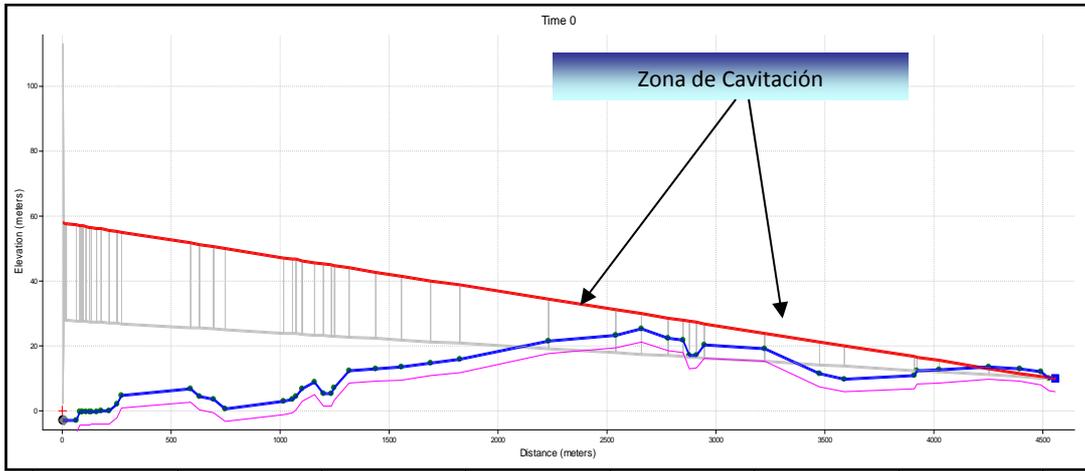
Representación de las envolventes de presiones a lo largo de la impulsión de agua bruta. Sin ningún tipo de protección.



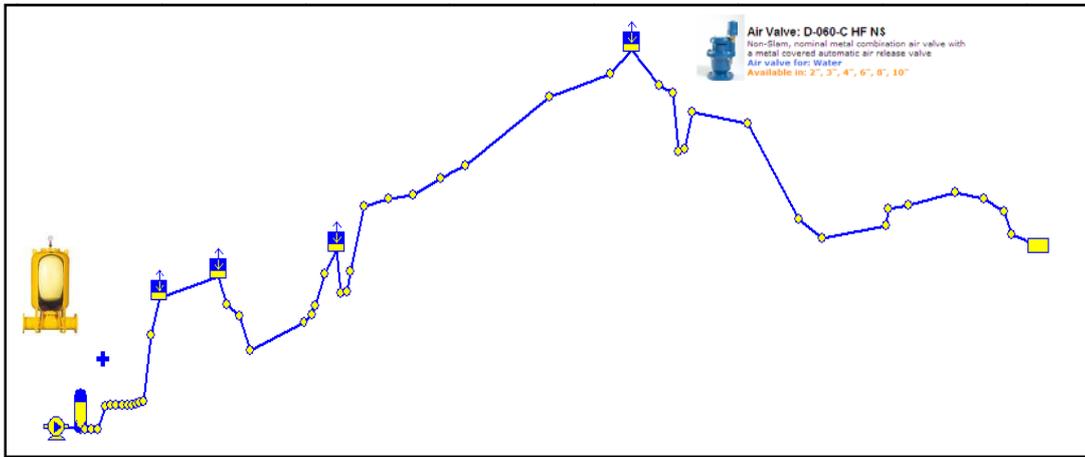
Representación de la impulsión con la protección propuesta por la ingeniería (Calderín de vejiga antiarriete de 25 m³ de volumen).



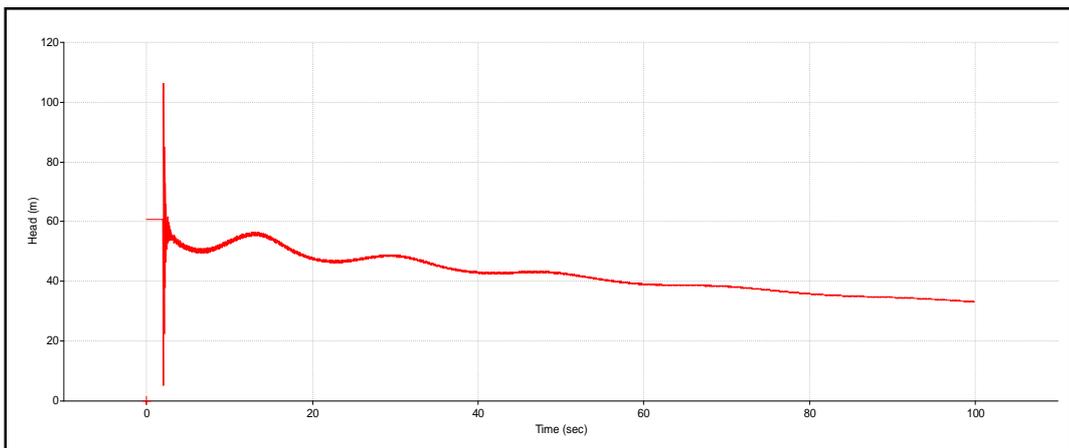
Paro incontrolado de las bombas. Evolución de la presión a la salida del bombeo. Con protección (Calderín de vejiga antiarriete de 25 m³ de volumen). La sobrepresión máxima no llega a los 12 mca.



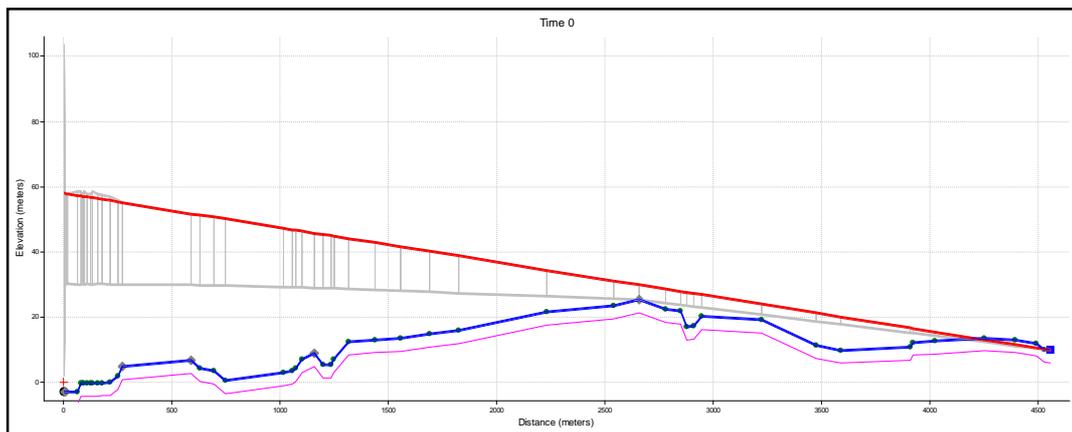
Representación de las envolventes de presiones a lo largo de la impulsión de agua bruta. Con protección (Calderín de vejiga antiarriete de 25 m³ de volumen). Se puede observar una larga zona de presiones negativas desde el PK 2+150 al PK 3+200.



Representación de la impulsión con la protección propuesta como mejora (Calderín de vejiga antiarriete de 5 m³ de volumen + Ventosas Trifuncionales NS)



Paro incontrolado de las bombas. Evolución de la presión a la salida del bombeo. Con protección (Calderín de vejiga antiarriete de 5 m³ de volumen + Ventosas Trifuncionales NS). La sobrepresión máxima tampoco llega a los 12 mca.



Representación de las envolventes de presiones a lo largo de la impulsión de agua bruta. Con protección (Calderín de vejiga antiarriete de 5 m³ de volumen + Ventosas Trifuncionales NS). Se puede observar como la zona de cavitación por presiones subatmosféricas ha desaparecido.

También es importante aclarar que las ventosas instaladas a tal efecto no son de la misma tipología que las empleadas para la ventilación del sistema. Actualmente, la mayoría de fabricantes disponen de modelos especiales para estos casos. La tecnología utilizada en cada uno de ellos es muy dispar, pero el objetivo y el principio de funcionamiento de las mismas son iguales. El funcionamiento de este tipo de ventosas se explica en el capítulo siguiente.

Algunos estudios serios realizados, demuestran que la supresión de la cavitación en los puntos altos de las conducciones requiere una rápida introducción de aire hacia el interior del tubo, lo que significa que el orificio de la ventosa sea de un determinado diámetro. El uso de este mismo diámetro de orificio para expulsar el aire en la fase de presiones positivas, incurrirá en una rápida expulsión del aire que provoca los problemas anteriormente descritos y que se traducen en sobrepresiones adicionales. La utilización por tanto de ventosas con doble orificio, es decir, con un orificio grande para la admisión del aire y con otro orificio de menor diámetro para la descarga, es la mejor solución para prevenir dichos golpes de ariete asociados con la rápida expulsión del aire.

Al igual que ocurre con las ventosas convencionales, se hace imprescindible que los fabricantes proporcionen todos los datos relevantes para realizar las simulaciones en los modelos informáticos de simulación de transitorios. Entre estos datos se incluyen las curvas características reales de la ventosa, el diámetro de los orificios implicados y el valor del diferencial de presión de diseño para el cierre de la ventosa.

Soluciones técnicas disponibles para evitar los problemas asociados con el uso de ventosas.

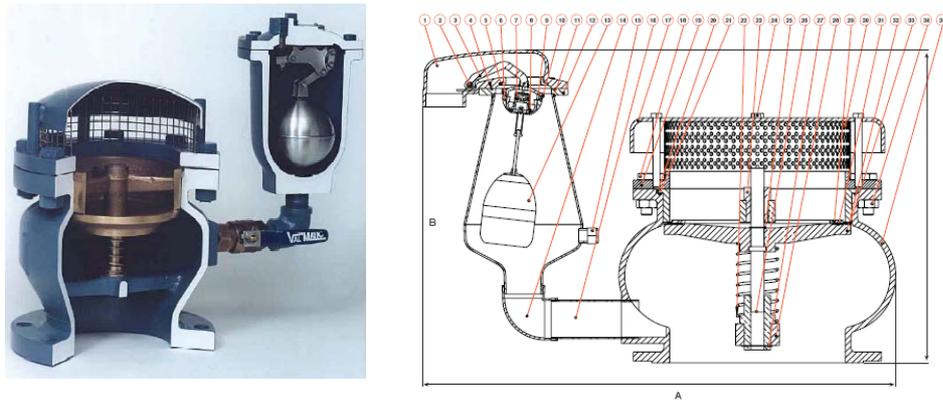
En la actualidad, existen diferentes soluciones mediante ventosas de dos y tres etapas, capaces de expulsar el aire de forma lenta y controlada, pero que no siempre solucionan el problema en la línea. Este tipo de ventosas suelen adquirir diferentes nomenclaturas, dependiendo del fabricante. En este 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.

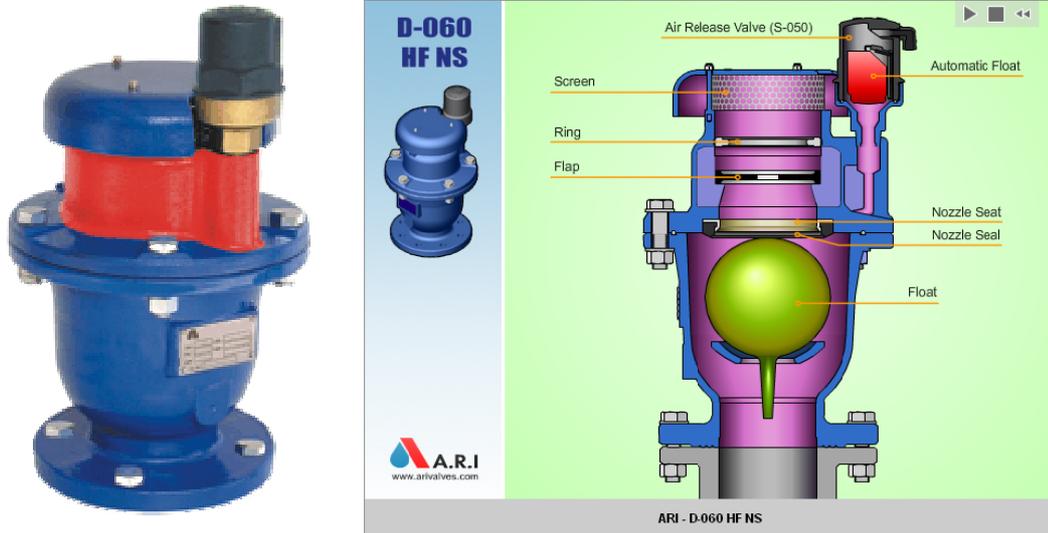
Estas ventosas podrían definirse como válvulas de retención accionadas por resorte con purga de aire automática. Requieren un complejo mecanismo para controlar el flujo a través de dos zonas diferentes, y para que el orificio grande sea exclusivamente de entrada y el pequeño únicamente de salida. Con 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.

Ventosas amortiguadoras del golpe de ariete de 3 Etapas

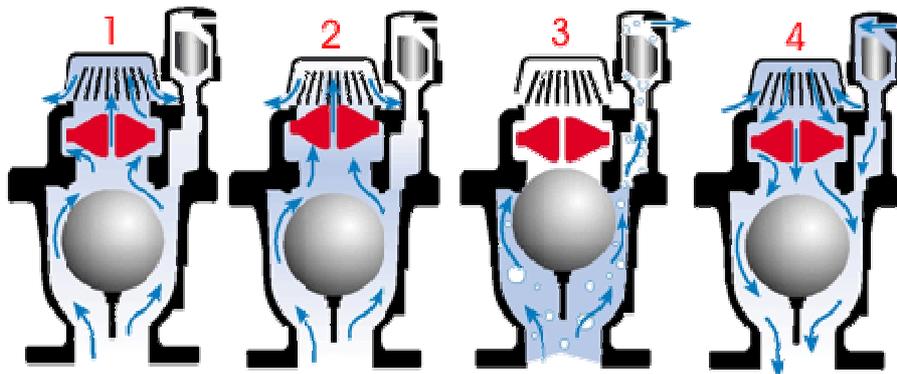
Existen diversas tecnologías aplicadas a las ventosas amortiguadoras del golpe de ariete de tres etapas. Algún fabricante ha desarrollado un modelo que viene equipado con un disco adicional de acero inoxidable, provisto de un orificio pequeño (aunque mucho mayor que el orificio automático) y ubicado 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.

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.

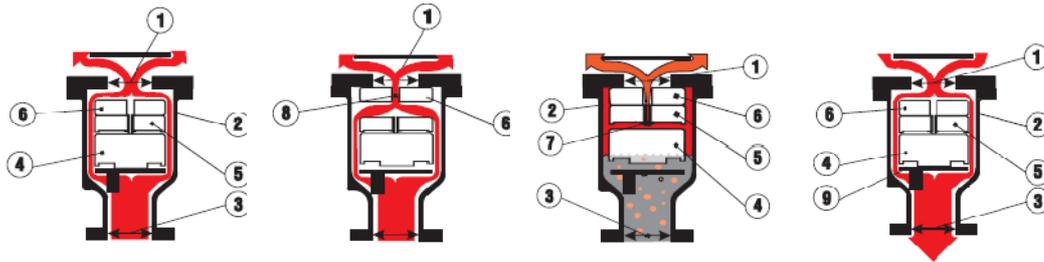
El funcionamiento de este modelo durante la operación de llenado de una tubería se resume en:



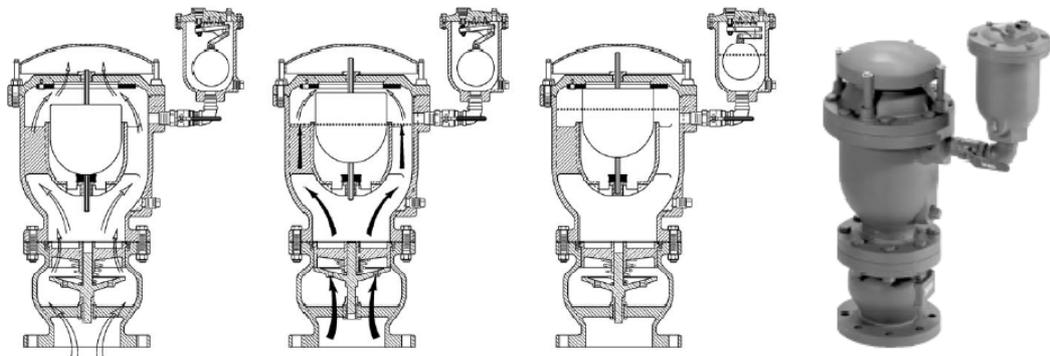
1. Cuando el sistema se llena a velocidades altas, el agua “empuja” el aire a través de la válvula hacia la atmósfera, lo cual genera una diferencia de presión entre el interior de la válvula y la presión atmosférica. Esta es la presión diferencial que influye en la velocidad de flujo del aire.
2. Cuando 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 vacío. 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 vacío (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 antiarriete 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.

- 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 tipo “Dinámicas”

La ventosa dinámica funciona de un modo totalmente diferente.

Esta válvula expulsa 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.
- 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.

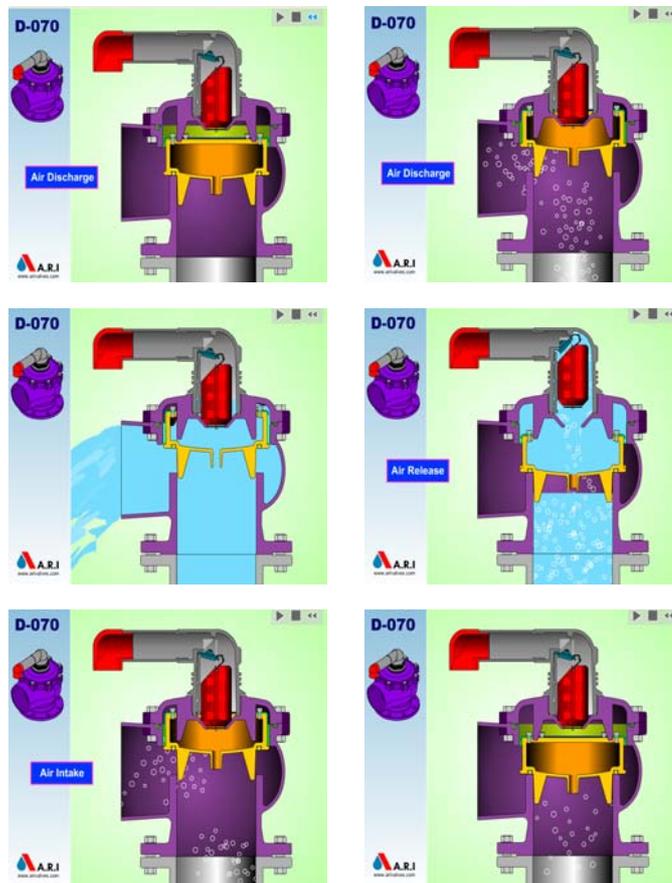


Ventosa Dinámica de ARI Flow Control Accesories Ltd.

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 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

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...

Criterios de selección de las válvulas de aire

A la hora de tomar la decisión sobre que tipo, modelo y diámetro de ventosa es la más adecuada para una determinada conducción de agua a presión, se deberán tener en cuenta algunas consideraciones que pueden ser críticas a la hora del buen funcionamiento de la instalación.

Primero de todo hay que hacer referencia a conceptos que no se han tratado anteriormente en este texto, como son los relacionados con los materiales constructivos de las válvulas. En este sentido, se deberán prescribir las ventosas acordes con las condiciones de trabajo que van a tener. Es decir, se elegirán los materiales más adecuados para trabajar en ambientes marinos, con fluidos corrosivos, en zonas donde hay grandes fluctuaciones de temperaturas entre el día y la noche, en zonas donde las temperaturas caen por debajo de 0°C, etc... Algunos fabricantes son capaces de fabricar este tipo de válvulas en una gran variedad de materiales, desde fundiciones de hierro dúctil, pasando por el acero al carbono, el inoxidable 316, 904, SMO, Hastalloys, etc... También existen diferentes materiales plásticos que dan excelentes resultados en ventosas de pequeños diámetros (hasta 2").

También será preceptivo determinar el tipo de revestimiento adecuado para el servicio que tendrán las ventosas. El revestimiento más común, usado en la distribución de agua potable, agua de riego y aguas residuales, es el epoxy o el poliéster. La mayoría de los fabricantes utilizan epoxy en polvo adherido por fusión y curado al horno. Lo más habitual es que estas pinturas tengan espesores que van desde las 200 micras en adelante, aunque más importante que esto, es que el grosor sea uniforme en todos los puntos del cuerpo y tapa de la ventosa. Existen otros materiales además del epoxy y el poliéster, como son el Rilsan o el Halar, muy usados en el sector industrial o en desalación.

Los componentes internos también son importantes definirlos, ya que tendrán que estar en contacto directo con el fluido. El flotador es un elemento muy importante en el funcionamiento de la ventosa, como se ha visto anteriormente. La mayoría de flotadores están fabricados en aceros inoxidables de distintas calidades. Se hace necesario definir el tipo de fluido y su calidad (en caso del agua) para elegir un material acorde que sea duradero y resistente. También existen flotadores fabricados en materiales plásticos que incluso mejoran la resistencia mecánica a las sobrepresiones de los aceros inoxidables. También es importante que no se deformen a las presiones de trabajo. Las gomas de sellado también es un elemento a definir.

Relacionado con la goma y el flotador es la capacidad de sellado de la ventosa que garantice la estanqueidad de la misma mientras está cerrada a presiones bajas. Lo deseable es que las ventosas cierren a 2 mca, aunque hay algunas que al probarlas no lo hagan. Existen, incluso, modelos que son capaces de sellar herméticamente a pocos centímetros de presión.

Otro criterio a tener muy en cuenta es el mantenimiento. Como todos los elementos mecánicos que componen un sistema hidráulico, las ventosas necesitan un mantenimiento periódico que asegure su buen funcionamiento. A partir de aquí, es bueno elegir modelos cuyo desmontaje sea simple y sencillo, así, los elementos susceptibles de deteriorarse se reemplazarán rápidamente. Interesa de igual manera que estos elementos o piezas sean baratas.

En la medida de lo posible, se elegirán modelos que tengan una buena respuesta al cierre prematuro, sin que eso suponga que cierren a presiones elevadas y que sean potencialmente dañinas para la

instalación. Este concepto es ampliamente tratado en páginas anteriores. Donde se explican sus connotaciones.

En este sentido es muy importante realizar un dimensionamiento lo más preciso posible con el fin de no infra dimensionar ni sobre dimensionar la ventosa, evitando así los problemas que supone.

Relacionado con esto está la selección correcta de un modelo de ventosa u otro. Es imprescindible conocer que tipo de ventosa tenemos, si es de paso nominal, o, si por el contrario, el orificio de salida está disminuido (no contemplándose en el diseño del proyecto). En cualquier caso hay que evitar, en la medida de lo posible determinar las ventosas por su diámetro nominal de la conexión.

Para evitar esto, lo mejor es fijarnos en las capacidades de aireación o las curvas características (en forma de gráfico) que nos dan los fabricantes, y seleccionar la ventosa en base a esto. No obstante es bueno conocer si estos datos son o no reales, con el fin de no incurrir en infradimensionamientos que provoquen efectos negativos en la conducción. En este punto, los fabricantes deberían ser más honestos y proporcionar estos datos para que no aumente la desconfianza en este tipo de válvulas.

Lo mismo ocurre con otro dato imprescindible para el dimensionamiento como es la presión de cierre del flotador, que es un parámetro difícilmente dado por los fabricantes. En el mejor de los casos, alguno proporciona la zona de trabajo en las curvas características de los catálogos, lo cual es muy de agradecer.

Por último, es aconsejable que las ingenierías exijan a los fabricantes los certificados internacionales que posean. A menudo, estos certificados son una garantía de calidad de la ventosa. El mercado español sólo contempla el certificado UNE EN 1074:2001, pero sería aconsejable que se contemplaran algunos como el NSF americano o el WRAS británico.

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. Nº 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).