

## **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE VENTOSAS DURANTE LA EXPULSIÓN DE AIRE EN TRANSITORIOS HIDRÁULICOS.**

Carlos, M.; Arregui, F.; Cabrera, E.

### **Abstract**

The operations consisting in filling and emptying pipe systems involve the movement of big quantities of water and air. This kind of operations, as the possible fluid pressure alterations during the normal operation of the installation are some of the possible causes that may provoke the presence of trapped air.

The trapped air pockets in a pipe system reduce the transport capacity of the pipes, at the same time they can produce damage in the pipe and in the different elements. In the hydraulic transients with trapped air pressures bigger than the Allievi pressure can be generated. It is also true that in some occasions and in certain circumstances, the air pockets may mitigate the water hammer produced in a hydraulic transient acting as a cushion.

The elements used usually in pipe systems to eliminate or to admit air in the pipes are the air valves. The conventional air valves open and close automatically, so its behaviour can't be modified externally. There is little information about the air valves behaviour in no steady flow conditions, and even less information about the effects and damage on the system during a hydraulic transient. This document tries to provide more information about this item by realising laboratory tests, in a big dimension installation. In these tests, the influence of the air valves on the registered pressures during the transient generated under controlled conditions was analysed.

*Keywords: Air, trapped, system, pipe, distribution, water, air valves, pressures, transient, hydraulic.*

### **Resumen**

El aire atrapado en un sistema de distribución de agua reduce la capacidad de transporte de la misma al tiempo que puede ocasionar desperfectos en la instalación y en los diferentes elementos y accesorios. En los transitorios hidráulicos con aire atrapado se pueden llegar a generar sobrepresiones superiores a la sobrepresión de Allievi. También es cierto que, en ocasiones y bajo determinadas circunstancias, las bolsas de aire atrapado pueden actuar como colchón y atenuar la sobrepresión alcanzada en un transitorio hidráulico.

Los dispositivos utilizados generalmente en las instalaciones de distribución de agua para eliminar o admitir aire son las ventosas. Las ventosas convencionales abren y cierran automáticamente, de modo que no se puede actuar externamente para modificar su funcionamiento. Se ha detectado que existe escasa información relativa al comportamiento de las ventosas en condiciones de flujo no permanente y menos aún de los efectos que la instalación puede llegar a tener durante un transitorio hidráulico. En el presente documento se detallan algunos resultados interesantes obtenidos a partir de la realización de ensayos en instalaciones de gran tamaño en los que se analizó la influencia de las ventosas en las presiones registradas durante transitorios generados de manera controlada.

*Palabras clave: Aire, atrapado, sistema, conducción, distribución, agua, ventosas, sobrepresión, transitorio, hidráulico.*

## 1. Introducción

La presencia de aire en las tuberías puede tener 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. Además, 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. Las conducciones a menudo 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 tal y como detalla Fuertes V.S [1].

La presencia del aire atrapado en tuberías es un fenómeno bastante común que puede agravar los efectos perjudiciales originados por los transitorios hidráulicos, acentuando los picos de presión. Las altas presiones pueden provocar rupturas en la instalación y en sus accesorios, lo cual tiene una importante repercusión económica. Además, las bolsas de aire pueden causar otra serie de efectos negativos en las instalaciones tales como la reducción de la capacidad de transporte de la instalación, la disminución del rendimiento de las bombas, la dificultad en el funcionamiento de los filtros, las vibraciones en tuberías, la corrosión de las conducciones, el desgaste de las partes móviles de los accesorios, los errores en la medida de caudal etc.

Una posible solución para evitar los picos elevados de presión en redes de distribución de agua consecuencia de la compresión del aire atrapado durante los transitorios hidráulicos en las instalaciones es la utilización de ventosas. La utilización de ventosas presenta dificultades a la hora de realizar un adecuado dimensionado y selección de las mismas para cada instalación. Por otro lado, existe poca documentación acerca de su comportamiento tanto en condiciones estáticas como dinámicas.

## 2. Objetivos

El principal objetivo que se ha marcado es profundizar en el estudio de los transitorios hidráulicos producidos durante la expulsión de aire de una conducción parcialmente llena de agua a través de una ventosa situada en el extremo final de la conducción.

La primera parte de este estudio consistió en la realización de una serie de ensayos de laboratorio realizados en una instalación de grandes dimensiones facilitadas por la empresa holandesa W.L. Delft Hydraulics. Dichas instalaciones fueron cedidas gracias a la aprobación del proyecto "Dynamic behaviour of air valves" dentro del programa "Transnational Access to Major Research Infrastructure (MRI)" de la Comisión Europea.

A partir de las mediciones obtenidas en los ensayos como pueden ser la presión máxima producida en el sistema, el caudal de agua circulante por la instalación etc se propone establecer relaciones entre las variables características de los mismos. Además, con las mediciones se pueden extraer otro tipo de variables tales como la deceleración de la columna de agua, la duración de los procesos de expansión y compresión de la bolsa de aire atrapado, la duración del cierre de la ventosa etc que ayudan a entender el fenómeno transitorio provocado.

El estudio pretende además establecer comparaciones del comportamiento dinámico de dos ventosas del mismo diámetro nominal pero de características constructivas diferentes ensayadas en la misma instalación bajo condiciones iniciales y de contorno similares.

### 3. Metodología

La principal novedad que introduce el trabajo práctico es sin lugar a dudas, el estudio del comportamiento dinámico de ventosas comerciales en situaciones en las que se procede a la expulsión de aire de la instalación mediante una ventosa situada al final de una conducción. Otra característica importante de estos ensayos de laboratorio es que se han realizado en una instalación de tamaño real. Las dimensiones de la conducción y de las ventosas, así como de los depósitos de agua y aire y el sistema de bombeo que se necesita para poner en funcionamiento la instalación hacen que los requerimientos de espacio de este tipo de ensayos sean considerables. Tanto la necesidad de espacios amplios como el coste de las instalaciones necesarias para llevar a cabo ensayos en condiciones de régimen transitorio a ventosas comerciales podrían ser algunas de las causas de la escasez de estudios realizados sobre este tema, Cabrera E. [3]. Mediante el trabajo de laboratorio se observa por un lado el fenómeno físico producido en una instalación al originarse un transitorio en el cual interviene un flujo bifásico y por otro lado, la influencia que sobre diferentes magnitudes del mismo ejerce la dinámica de ventosas de tamaño real.

Las ventosas ensayadas pertenecen a dos marcas comerciales diferentes, ventosa A y ventosa B. De cada marca comercial se ensayaron dos diámetros nominales, 100 mm. Dichas ventosas se instalaron sobre una conducción de 500 mm de diámetro.

La ventosa A es una ventosa automática bifuncional, la cual puede evacuar grandes cantidades de aire durante el llenado de la conducción. Los materiales de construcción son para este tipo de ventosas y según las especificaciones del fabricante fundición nodular para cuerpo y tapa, la boya-flotador es de acero inoxidable y el asiento del cierre de elastómero. El cuerpo y tapa tienen un recubrimiento interno y externo mínimo de 150 micras de epoxi atóxico. Según datos del fabricante, esta ventosa está en conformidad con la Norma AWWA C512.

La ventosa B, por su parte, es una ventosa combinada, que posee un flotador cilíndrico de plástico de gran tamaño. Al igual que la ventosa A, está pensada para descargar grandes cantidades de aire a la atmósfera durante el llenado de la instalación y permite la entrada de grandes cantidades de aire a la instalación cuando se procede a su vaciado. Además es capaz de expulsar aire mientras el sistema se encuentra a presión, aunque esta función se bloqueó durante la ejecución de estos ensayos. El cuerpo de la ventosa está recubierto por una capa de epoxi. Estas ventosas han sido diseñadas para instalaciones de agua potable a una temperatura máxima de 70 °C

En el estudio de cualquier transitorio hidráulico el objetivo fundamental es calcular las presiones y caudales a lo largo del tiempo en los puntos críticos de la instalación. Por esta razón, en todos los ensayos se realizan mediciones de estas dos magnitudes, tomando datos de presión en varios puntos de la instalación. Las presiones se midieron mediante transductores de presión diferencial Kristler de 50 KHz de respuesta en frecuencia. Dichos transductores disponían de una superficie plana la cual se encontraba perfectamente enrasada con la pared de la tubería, favoreciendo de este modo la correcta medida de la presión. La medición del caudal se llevó a cabo mediante un caudalímetro electromagnético diseñado explícitamente para la ejecución de dichos ensayos y su respuesta en frecuencia era de hasta 40 Hz lo cual permitía la medida de los cambios bruscos de caudal. Además de medir presiones y caudal se introdujo la medición de la posición del flotador de la ventosa en cada instante de tiempo del transitorio.

La instalación contaba con otra serie de dispositivos como dos válvulas de mariposa, y dos depósitos tal y como se muestra en la figura 1, para llevar a cabo los ensayos de expulsión de aire de la instalación.

En todos los ensayos realizados, el depósito D1 se encontraba parcialmente lleno de agua mientras que el depósito D2 contenía a presión la cual se podía modificar externamente.

Se realizaron ensayos con dos longitudes iniciales de columna de agua diferentes,  $L_1=1,238$  m y  $L_2=1,988$  m.

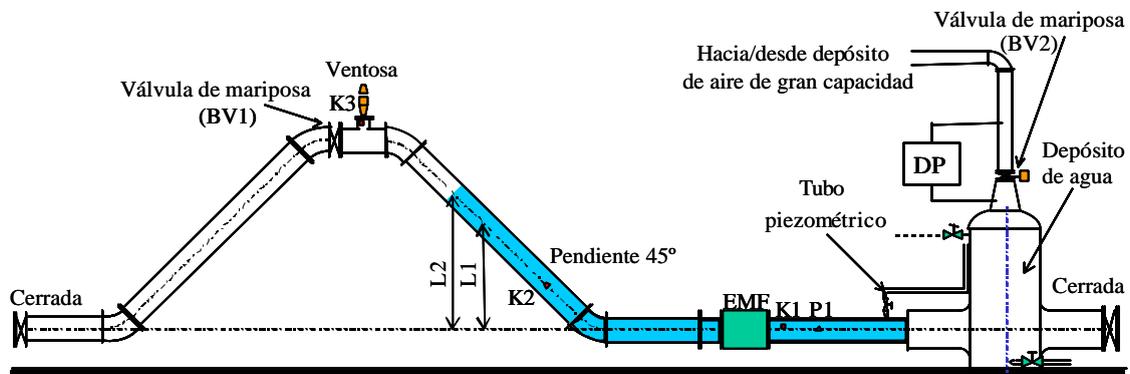


Figura 1. Esquema de la instalación.

Los ensayos de expulsión de aire se realizaron en cuatro etapas diferenciadas, Arregui F. [2]. Para conseguir que la expulsión de aire al final de la conducción se mantuvo la válvula de mariposa BV1 cerrada durante todo el ensayo. Además en el instante inicial también se encontraba cerrada la válvula de mariposa BV2. La ventosa y la válvula del depósito de agua D1 que lo comunica con el exterior estaban abiertas en el instante inicial de manera que tanto la superficie libre de la columna de agua como la de la masa de agua que se encuentra en el depósito se encontraban a presión.

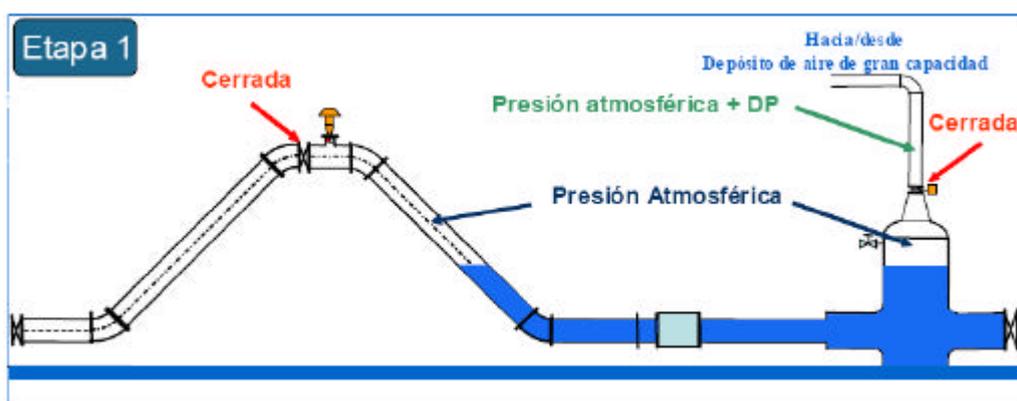


Figura 2. Etapa 1

En la segunda etapa, la válvula de aireación que comunica el depósito D1 con el exterior se encontraba cerrada. Además, se presurizaba el depósito D2 de manera controlada. Seguidamente, abría la válvula de mariposa BV2 de modo que se igualaban las presiones de ambos depósitos. La presión adquirida por el fluido existente en el depósito D2 se transmitía a la columna de agua la cual iniciaba en consecuencia su movimiento.

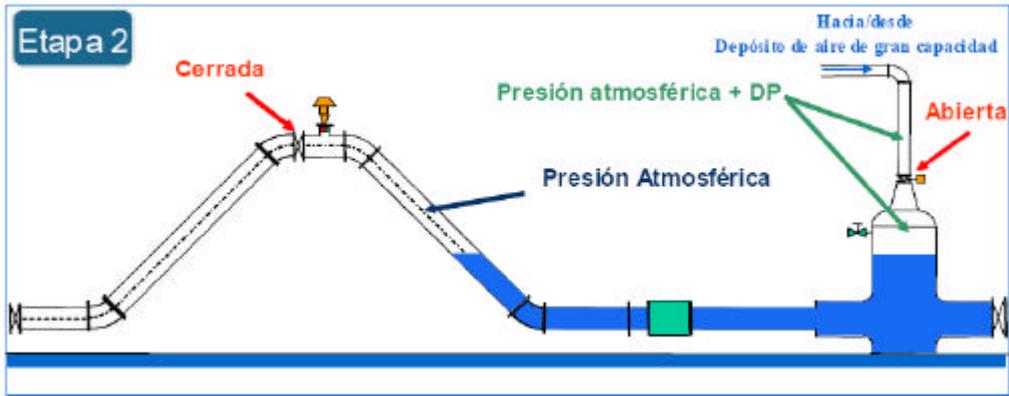


Figura 3. Etapa 2

En la tercera etapa, la columna de agua, al recibir la presión, se movía hacia el punto más alto de la instalación empujando de esta forma la bolsa de aire situada en su extremo final. La bolsa de aire existente en la tubería se expulsaba hacia el exterior a través del orificio de salida de la ventosa.

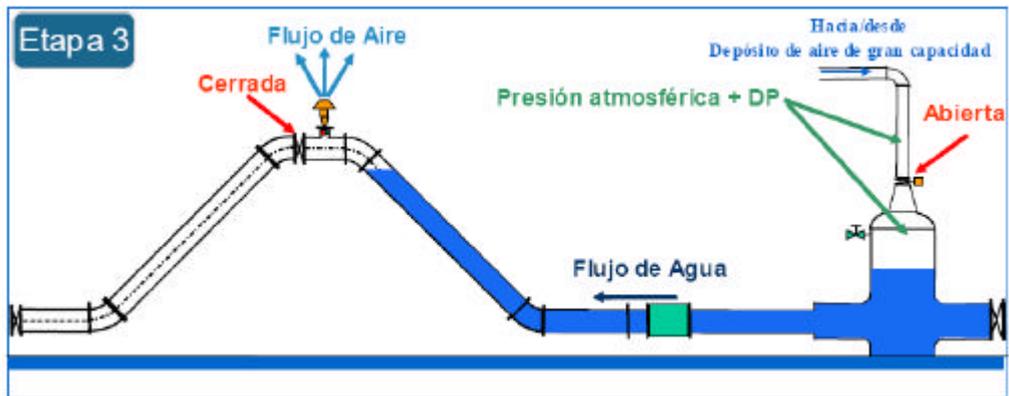


Figura 4. Etapa 3

El final del ensayo se producía cuando la columna de agua alcanzaba el flotador y cerraba la ventosa. De este modo, se comprimía la bolsa de aire que quedaba atrapada en el interior de la instalación.

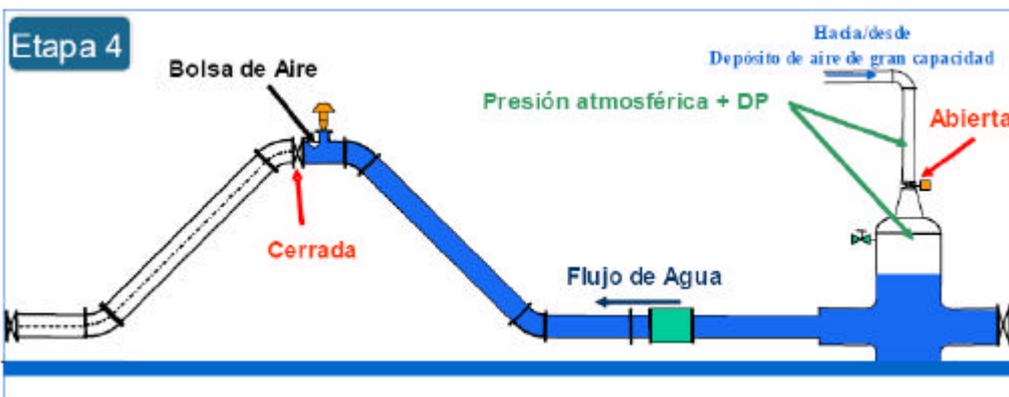


Figura 5. Etapa 4

#### 4. Resultados

Una aproximación para determinar el comportamiento dinámico de las ventosas consiste en medir su respuesta frente a diferentes niveles de aceleración y deceleración del flujo hacia o desde la ventosa, Arregui F. [2]. Con estos ensayos se simula el comportamiento de las ventosas en eventos como puede ser la puesta en funcionamiento de una instalación. Como se ha comentado anteriormente, las variables medidas en cada ensayo son la presión en la entrada de la ventosa (transductor de presión marcado como K3 en la figura 1), la presión en dos puntos de la conducción aguas abajo del depósito de agua (transductores de presión marcados como K1 y K2 en la figura 1), el caudal circulante de agua (marcado como EMF en la figura 1) y la posición del flotador de la ventosa en cada instante de tiempo.

En la figura 6 se muestra como evolucionan las diferentes variables medidas durante el ensayo de expulsión de aire a través de una ventosa situada en el extremo final de la conducción.

En esta figura se observa que, en el ensayo se parte de un valor de la velocidad nulo y posteriormente la columna de agua acelera en cuanto se le aplica una sobrepresión. En el momento en que la ventosa cierra, es decir, en el instante en el cual el transductor de posición del flotador ha recorrido el 100% de la carrera, se constata una deceleración brusca de la columna de agua hasta que la velocidad alcanza un valor nulo, momento en el cual, aproximadamente, el transductor de presión K3 registra el valor de presión máximo.

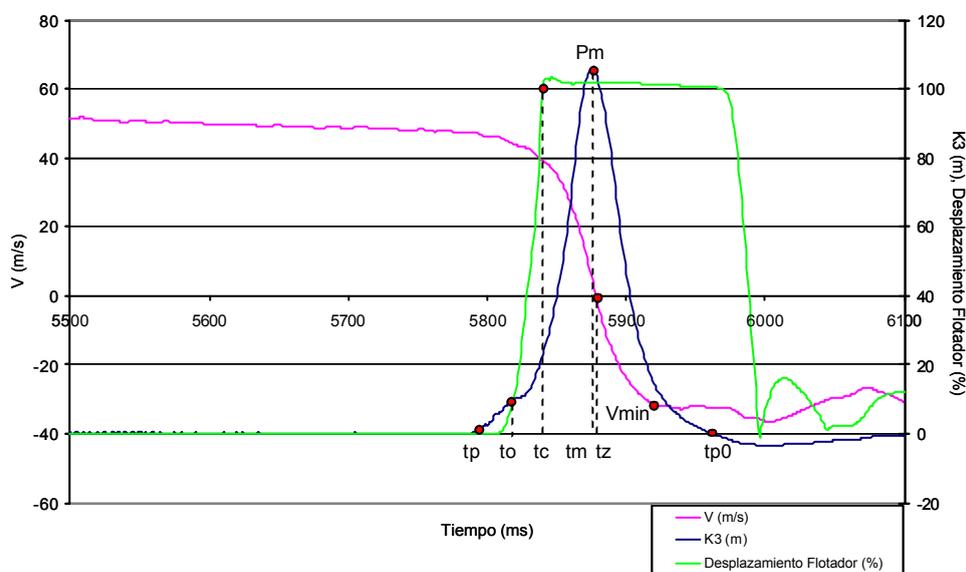


Figura 6 Evolución de un ensayo de expulsión de aire al final de una conducción

En la figura 6 se han identificado unos instantes de tiempo los cuales marcan el inicio o fin de las principales etapas del ensayo, es decir:

- ? Inicio del ensayo:  $t_i$ , instante en el cual se aplica una sobrepresión al sistema.
- ? Instante en el que empieza a cambiar la presión de la columna de agua después de aplicarse una sobrepresión al sistema:  $t_p$
- ? Instante en el que empieza a cerrar la ventosa, es decir, instante en el cual el flotador ha recorrido el 5% de la carrera total;  $t_o$

- ? Instante en el cual se considera que la ventosa está completamente cerrada, o bien instante en el cual el flotador ha recorrido el 95% del desplazamiento total:  $t_c$
- ? Instante en el que se produce la presión máxima registrada por el transductor de presión K3 situado en el cuello de la ventosa:  $t_m$
- ? Instante en que la presión se anula después de haber alcanzado su pico máximo o instante en el cual finaliza la expansión de la bolsa de aire atrapada:  $t_{p0}$
- ? Instante en el cual la velocidad de la columna de agua se hace cero:  $t_z$

Finalizada la etapa de realización de ensayos, y una vez ordenados y analizados los resultados de las mediciones se observa que dados dos ensayos efectuados bajo condiciones de contorno similares pero con ventosa comercial de marcas diferentes, se obtienen presiones máximas diferentes en el sistema, tal y como se demuestra en los ensayos representados en la figura 7.

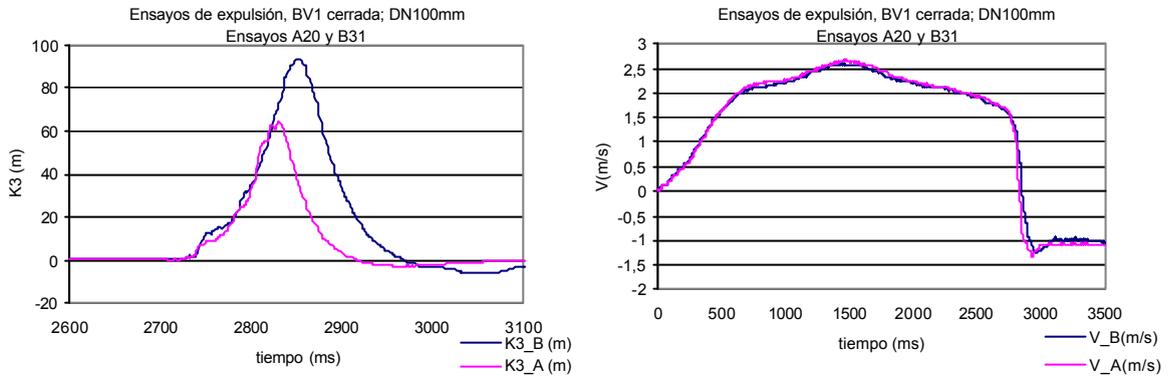


Figura 7. Comparación de dos ensayos de expulsión similares con ventosa diferente

En general, dado un par de ensayos realizado bajo similares condiciones iniciales y de contorno, se obtiene una presión máxima superior en el sistema cuando se utiliza la ventosa B que cuando se utiliza la ventosa A, como se demuestra en la figura 8.

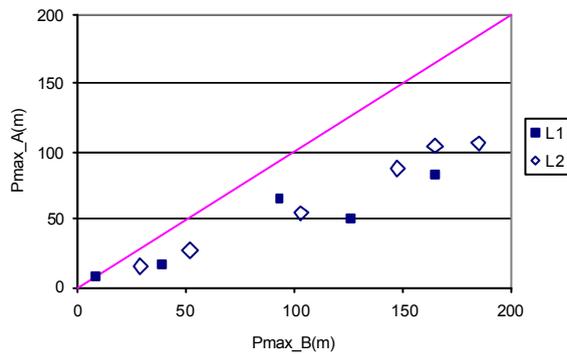


Figura 8. Comparación de los ensayos realizados con la ventosa A con los de la ventosa B

En cada ensayo, la variable que hace que se ponga en movimiento la columna de agua y por tanto la causante del transitorio que se genera es la sobrepresión inicial. Manteniendo fijas el resto de condiciones iniciales en un ensayo determinado y variando cada vez la presión inicial aplicada se obtienen diferentes resultados en la magnitud de la presión máxima medida. En los ensayos de laboratorio se controló la

sobrepresión inicial aplicada para que la magnitud del transitorio no excediese de los límites deseados evitando de este modo cualquier daño a la instalación y a sus accesorios.

En la figura 9 se aprecia perfectamente que la presión máxima registrada en el sistema es mayor cuanto mayor es la sobrepresión aplicada en el instante inicial. Dado un mismo valor de la sobrepresión aplicada para iniciar el ensayo, se obtiene una presión máxima mayor en los ensayos realizados con la ventosa B que en los de la ventosa A. Además, con la misma sobrepresión inicial, las presiones máximas son mayores cuando se ensaya la columna de agua inicial mayor, L2. Suponiendo que la cantidad de aire atrapado es similar independientemente de la longitud inicial de columna de agua utilizada en el ensayo, cuando la bolsa de aire atrapado debe frenar una columna de agua con mayor inercia, las presiones que se producen son mayores.

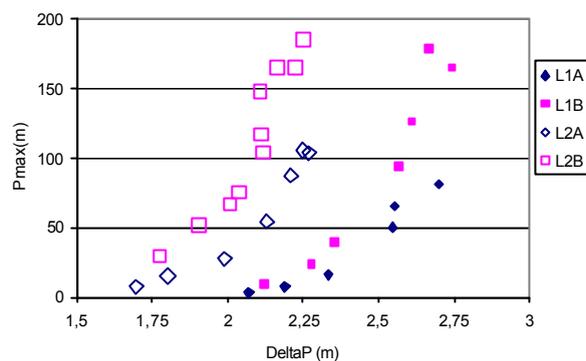


Figura 9. Evolución de la presión máxima con la sobrepresión inicial

Vista la diferencia de comportamiento entre ventosas se han calculado otras variables con el objetivo de establecer comparaciones a partir de las mediciones de presión y velocidad efectuadas en cada instante de tiempo. Entre las variables que aportan datos más significativos en cuanto a la cantidad de aire que puede haber quedado atrapado en el sistema destacan la deceleración de la columna de agua después del cierre de la ventosa y la duración del proceso de compresión-expansión de la bolsa de aire Kruinsbrick [4].

La deceleración de la columna de agua después del cierre se ha calculado como la variación de la velocidad entre los instantes en que la ventosa cierra completamente  $t_c$  y el instante en el cual la velocidad de la columna de agua se hace cero  $t_z$ .

La deceleración de la columna de agua después del cierre de la ventosa muestra una relación bien definida frente a la presión máxima registrada en cada ensayo. Todas las series representadas en la figura 9 siguen una evolución ascendente y lineal de la deceleración a medida que se registran también presiones mayores en el transductor de presión K3. A medida que la deceleración de la columna de agua aumenta, menor es la cantidad de aire atrapado y por tanto debería ser mayor el pico de presión, tal y como se muestra en la figura. En esta figura se pone también de manifiesto que en general dada una determinada deceleración de la columna de agua, las presiones obtenidas en los ensayos con la ventosa B son significativamente mayores que las registradas en los ensayos con la ventosa A sea cual sea la longitud inicial de la columna de agua utilizada.

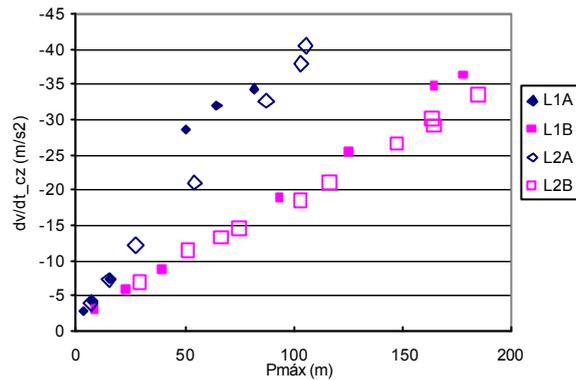


Figura 9. Deceleración de la columna de agua frente a la presión máxima registrada en el sistema.

La duración del proceso de compresión-expansión de la bolsa de aire o anchura del pico de presión máxima se determina sobre la presión identificada en los ensayos como K3 tras comprobar que dicho transductor de presión siempre registraba el mayor valor de presión en el sistema. Dicho transductor se encontraba situado justo en el cuello de la ventosa. El ancho de este pico de presión se ha definido como el tiempo transcurrido entre que la presión  $P_{max}$  empieza a subir ( $t_p$ ) y el instante en el cual tras haber llegado al valor máximo la presión en el cuello de la ventosa K3 vuelve a ser nula ( $t_{p0}$ ). Una mayor anchura del pico de presión indica que ha quedado una mayor cantidad de aire atrapado, al ser los procesos de compresión y expansión más lentos.

Según la figura 10, existe en todos los ensayos una misma tendencia en la variación de la anchura del pico de presión máxima frente a la sobrepresión aplicada al inicio del test. En general se aprecia que a mayor presión inicial, menor es el ancho del pico de presión máxima. Esto significa que cuanto mayor sea esta presión inicial que se aplica a la columna de agua menos aire queda atrapado tras el cierre de la ventosa.

Al realizar este estudio se llega a la conclusión que con presiones iniciales pequeñas queda más cantidad de aire atrapado en el sistema. La figura 10, también pone de manifiesto que existe una clara diferencia de resultados cuando cambia la longitud inicial de la columna de agua ensayada. Así pues, cuanto mayor es la longitud que recorre la columna de agua más tiempo dispone para mezclarse con el aire que arrastra.

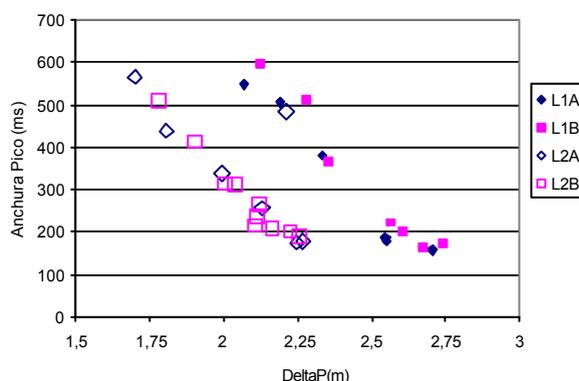


Figura 10. Evolución de la duración de proceso de compresión-expansión con la sobrepresión inicial.

La evolución de la anchura del pico de presión frente a la presión máxima que se alcanza en el sistema es independiente de la ventosa ensayada. Tampoco hay grandes diferencias al cambiar la longitud inicial de la columna de agua. Cuando en el

sistema queda más aire atrapado, la presión máxima registrada es menor y viceversa, lo cual se refleja claramente en la figura 11. En cualquier caso, existe cierta dispersión en los resultados, lo cual viene a indicar que la presión máxima guarda cierta relación con la anchura del pico pero no es la única variable que le afecta. Es decir, la cantidad de aire que queda atrapado influye en la presión máxima pero existen otras variables, como la velocidad de llegada de la columna de agua a la ventosa, que también influyen sobre el pico de presión máxima.

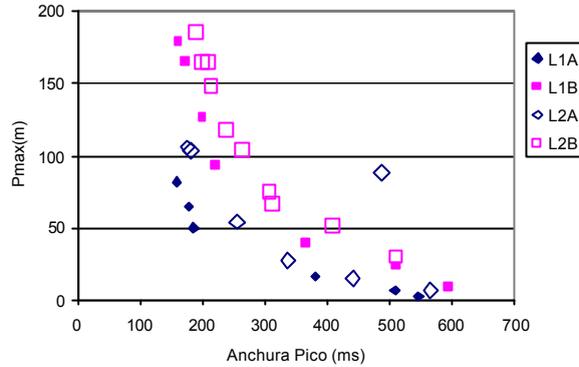


Figura 11. Evolución de la presión máxima con la sobrepresión inicial

Finalmente se ha representado la variación de la presión máxima frente a la velocidad de llegada de la columna de agua a la ventosa. A mayor velocidad de llegada a flotador de la ventosa mayor es la presión máxima medida. En la figura 12; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se compara los valores de presión máxima obtenidos en el transitorio bifásico con la sobrepresión de Allievi. La sobrepresión de Allievi se ha calculado suponiendo una celeridad de la onda de presión de 1.000 m/s. Las presiones alcanzadas durante el transitorio bifásico son, en este caso de estudio concreto, menores que la sobrepresión de Allievi.

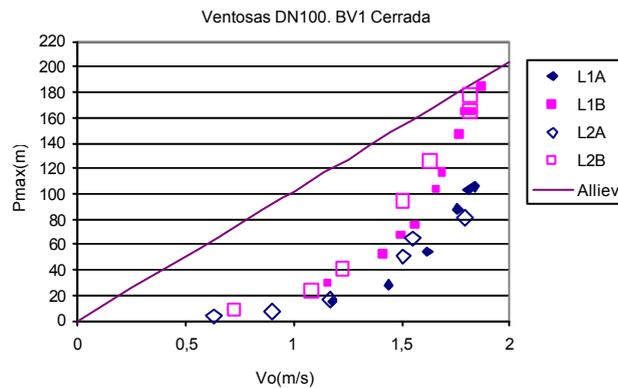


Figura 12. Evolución de la presión máxima con la velocidad de llegada del agua al flotador

## 5. Conclusiones

El trabajo de laboratorio ha proporcionado una gran cantidad de datos numéricos referentes a presiones, velocidades del agua y desplazamiento del flotador de la ventosa para cada instante de tiempo. La labor de ordenación y análisis de estos resultados experimentales representa una parte significativa del trabajo realizado. Del análisis de los datos recopilados en el laboratorio se han podido establecer comparaciones entre el comportamiento dinámico de dos ventosas del mismo tamaño

nominal instaladas en el mismo punto y ensayadas bajo condiciones iniciales y de contorno similares cuando se procede a la expulsión de aire al final de una conducción.

En los ensayos dinámicos de expulsión de aire tratados, los valores de presión máxima y velocidad de la columna de agua alcanzada difieren significativamente según la ventosa utilizada.

Se ha encontrado que la magnitud del pico de presión máxima tiene relación tanto con la velocidad de llegada del agua a la ventosa, como con la cantidad de aire atrapado en el sistema (ya que éste puede actuar como colchón o por el contrario puede acentuar las sobrepresiones generadas).

En los diferentes ensayos se ha demostrado que la deceleración de la columna de agua, la anchura del pico de presión máxima y la sobrepresión aplicada para generar el transitorio guardan una estrecha relación entre sí. Además, estas tres variables son indicativas de la cantidad de aire atrapado que queda en la instalación tras el cierre de la ventosa.

Del análisis de la deceleración sufrida por la columna de agua después del cierre de la ventosa, se comprueba que dicha deceleración, para unas condiciones de contorno similares, son semejantes para ambas ventosas. No obstante, es cierto que se aprecia que para una misma deceleración la presión máxima alcanzada en los ensayos con la ventosa del fabricante B es superior que en los de la ventosa del fabricante A. En ambos casos, la deceleración de la columna de agua después del cierre de la ventosa muestra una relación creciente con la presión máxima registrada en cada ensayo.

El estudio de la anchura del pico de presión es una variable esencial en cuanto que da una idea de la duración de los procesos de compresión y expansión. Con mayor anchura de este pico de presión se confirma que la cantidad de aire atrapado es mayor y por tanto la presión máxima alcanzada es menor.

Conviene comentar que la presión máxima registrada en cualquier ensayo de expulsión de aire al final de la conducción, es menor que la sobrepresión de Allievi. En cualquier caso, como cabría suponer, dicha presión máxima es mayor cuanto más elevada es la velocidad de llegada de la columna de agua al flotador de la ventosa. Cabe comentar que este resultado se hubiera podido ver modificado si se hubiera forzado el sistema aplicando sobrepresiones iniciales mayores en el mismo.

## **Agradecimientos**

Este estudio ha sido posible gracias a la aprobación del proyecto "Dynamic behaviour of air valves" dentro del programa "Transnational Access to Major Research Infrastructure (MRI)" de la Comisión Europea. Este proyecto permitió la utilización de una instalación de grandes dimensiones propiedad de la empresa holandesa W.L.]Delft Hydraulics. Además, gracias a la aprobación de este proyecto se colaboró con importantes grupos de investigación europeos.

## **Referencias**

- [1] Fuertes V.S. (2001) Transitorios hidráulicos con aire atrapado. Tesis doctoral. Universidad politécnica de Valencia.
- [2] Arregui F., García-Serra J., Kruisbrink A.C.H., Cabrera E., Fuertes V., Palau V., Gascón L. Air valve dynamic behaviour. Pumps, electromechanical devices and systems applied to urban water management. ISBN 90-5809-560-6. Vol 2. pp 623-632.

[3] Cabrera E., Fuertes V.S., García-Serra J., Arregui F., Gascón L., Palau V. (2003) Reviewing air valve selection, IAHR-IWA Pumps electronic devices and systems conference.

[4] Kruisbrink A.C.H., Arregui F., Carlos M., Bergant A. (2004) Dynamic performance characterisation of air valves. 9<sup>th</sup> International conference on pressure surges. Chester. England. ISBN 1 85598 051 7

**Correspondencia** (Para más información contacte con):

Mar Carlos Alberola  
Departamento de Ingeniería mecánica y construcción  
Universitat Jaume I  
Campus Riu Sec. Av. De Vicent Sos Baynat s/n. 12071 Castelló de la Plana  
Tel. 34 964 728114  
Fax. 34 964 728106  
E-mail: [mcarlos@emc.uji.es](mailto:mcarlos@emc.uji.es)