



Caracterización experimental de flujos de admisión y expulsión de aire en ventosas

El presente artículo resume los resultados obtenidos en ensayos de expulsión y admisión de aire en ventosas de entre 50 y 150 mm de diámetro. Se presentan las curvas presión-caudal y los valores de presión a los que se produce cierre dinámico (antes de que llegue el agua a la ventosa) en los casos en los que este tiene lugar, así como también los valores de la presión a la que se produce el cierre del primer flotador en el caso de ventosas *non-slam*. Finalmente, se comparan los citados valores con los que figuran en los catálogos de los fabricantes.

Palabras clave

Agua, ventosas, distribución, mantenimiento, modelos, ensayo, caracterización.

EXPERIMENTAL CHARACTERISATION OF ADMISSION AND RELEASE AIR FLUXES IN AIR VALVES

The present paper summarizes the results obtained in air release and admission tests in air valves with diameter between 50 and 150 mm. The pressure-flow curves are presented and the pressure values at which dynamic closure is produced (before the water reaches the air valve) in the cases it occurs, as well as the pressure values at which the first float closes in non-slam air valves. Finally, the aforementioned values are compared with those listed in the manufacturers' catalogues.

Keywords

Water, air valves, distribution, maintenance, models, essay, characterisation.

Paloma Arrué Burillo

profesora colaboradora en la Universitat Politècnica de València

Antonio Manuel Romero Sedó

profesor titular de la Escuela Universitaria de la Universitat Politècnica de València

Vicent B. Espert Alemany

catedrático de la Universitat Politècnica de València

Jorge García-Serra García

catedrático de la Universitat Politècnica de València

Román Ponz Carcelén

Dirección de Operaciones en la Empresa Mixta Metropolitana (Emimet)

Francisco Biel Sanchis

Mantenimiento de Redes en la Empresa Mixta Metropolitana (Emimet)

Joan Carles Alonso Campos

técnico de I+D en Global Omnium



1. INTRODUCCIÓN

Las ventosas son elementos imprescindibles en las redes de distribución de agua. Entre sus funciones se encuentra principalmente la evacuación del aire en las tuberías, así como también la admisión de aire con el objetivo de proteger las conducciones frente a depresiones bruscas causadas por transitorios hidráulicos.

Además, las ventosas desempeñan un papel esencial en las maniobras de llenado y vaciado de las tuberías. En las operaciones de llenado debe asegurarse una correcta expulsión del aire contenido en el mismo para evitar sobrepresiones. La expulsión se facilita a través de ventosas y grifos de purga, pero una velocidad del agua excesiva puede provocar cierres inesperados de las ventosas en presencia de aire, que no podrá ser expulsado totalmente, o bien cierres bruscos de las mismas en presencia de agua, que darán lugar a sobrepresiones.

Para el vaciado, se debe asegurar la entrada de aire en el sistema tras abrir los desagües existentes. Tanto el número, ubicación, tamaño y tipo de las ventosas, como el tipo, ubicación, número y velocidad de apertura de desagües son fundamentales para lograr vaciar el sistema en un tiempo adecuado sin que se produzcan depresiones que puedan dañar el sistema (colapso de la conducción o deformación/desplazamiento de los elementos elásticos de las juntas) o generar entrada de elementos contaminantes a través de puntos de contacto de la tubería con el exterior.

Por ello resulta imprescindible conocer muy bien el funcionamiento real de los elementos que intervienen en el sistema. La elección de las ventosas adecuadas junto con el control de las válvulas de llenado y

vaciado (desagües) para lograr una velocidad del flujo conveniente, garantizan unas maniobras en condiciones de máxima seguridad.

El presente artículo resume los resultados obtenidos en diversos ensayos sobre ventosas comerciales a fin de contrastar su funcionamiento con los datos proporcionados por los fabricantes. En primer lugar, se describen los ensayos realizados, a continuación, se recopilan los valores obtenidos y se analizan los resultados. Por último, se obtienen las curvas modelizadas del comportamiento real para su uso, por ejemplo, en modelos matemáticos de simulación de llenado y vaciado de conducciones.

» La elección de las ventosas adecuadas, junto con el control de las válvulas de llenado y vaciado (desagües) para lograr una velocidad del flujo conveniente, garantiza unas maniobras en condiciones de máxima seguridad

1.1. TIPOS DE VENTOSAS A ESTUDIO

En las redes de distribución de agua es común la presencia de diferentes tipologías de ventosas. Cada tipo de ventosa presenta unas características distintas y, por este motivo, los ensayos que se han realizado incluyen las que se han considerado más representativas o habituales. Estas son las siguientes:

- Bifuncionales (BF). Estas ventosas permiten tanto evacuar como introducir grandes cantidades de aire en las conducciones en operaciones de llenado y vaciado. Trabajan a bajas presiones (1 o 2 mca). Normalmente, las empleadas en las instalaciones objeto de estudio son de DN-50, DN-80 y DN-100.

- Trifuncionales (3F). Estas ventosas realizan, además de la doble función de las BF, la expulsión de pequeñas cantidades de aire que se acumula en las conducciones en su funcionamiento normal.

- Antiariete o *non-slam* (NS). Cuando el agua llega a la ventosa para provocar el cierre del flotador, puede generarse una sobrepresión como consecuencia de que esta es frenada al cerrar la ventosa. En este tipo de ventosas, cuando se detecta una velocidad del aire superior a un valor dado, un primer flotador cierra provocando la reducción del caudal de expulsión (el orificio que queda es de tamaño inferior al orificio que había inicialmente). El incremento de presión originado en la bolsa de aire que hay en el interior de la conducción frena el flujo de agua, de manera que al llegar esta al flotador lo hará a menor velocidad y el choque al cerrar el flotador no será tan brusco.

- Otros tipos. Las diferenciales (DF), en las que la capacidad de admisión es elevada mientras que la de expulsión está limitada, pudiendo incluso regularse para cada caso, o con membrana, en las que la ventosa se mantiene cerrada en tanto la presión no alcanza en el interior de la tubería un valor mínimo, y el cierre cuando llega el agua es progresivo (función antiariete). Asimismo, cuando la presión en el interior de la conducción es negativa, permite la entrada del aire en la conducción.

- Aductores (AD). Son ventosas que solo permiten la admisión de aire. Normalmente se combinan con ventosas 2F o 3F, cuando la capacidad de expulsión de estas es suficiente, pero es necesario incrementar la capacidad de admisión (esta, cuanto mayor es menores depresiones permite en la tubería).

- Grifos de purga (GP). Conexiones que se realizan entre la tubería y la atmósfera a través de válvulas, generalmente de bola y de diámetros entre 1/2" y 1 1/2", maniobradas por un operario. Es lo que podría denominarse una ventosa manual o ventosa libre.

Se realizaron más de 150 ensayos de ventosas entre DN-50 y DN-150 en expulsión y admisión. Por motivos de confidencialidad no pueden mostrarse los nombres comerciales de las ventosas, pero sí la metodología de los ensayos, análisis comparativos y los formatos en los que se presenta la información, muchos de ellos novedosos y de gran utilidad práctica.

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Los ensayos se llevaron a cabo en tres laboratorios de pruebas y ensayos de ventosas: ARI Flow Control Accesories Ltd., en Kfar Charuv (Is-

rael); CSA, en Salsomaggiore Terme (Italia); y Bermad, en Kibbutz Evron (Israel). En todos los casos se siguieron las recomendaciones de la norma UNE-EN 1074-4 para realizar los ensayos (**Figura 1**).

Los resultados que se obtuvieron para cada ventosa ensayada fueron los siguientes:

- Curvas P-Q, para determinar el caudal expulsado por las ventosas en función de la presión en el interior de la tubería (expulsión), o admitido por las mismas en admisión dada una diferencia de presiones determinada entre salida (desde donde admite el aire) hasta el interior de la tubería.

- Condiciones (presión y caudal) a las que se produce cierre dinámico o cierre anticipado (antes de que llegue el agua), si es que se produce, o condiciones de cierre del dispositivo antiarriete correspondiente en las ventosas tipo NS.

- Condiciones (presión) bajo las cuales se produce la apertura de la membrana para expulsar el aire en las ventosas tipo membrana.

3. RESULTADOS

3.1. CAUDAL EN CONDICIONES NORMALES Y CAUDAL EN CONDICIONES INTERIORES

Es importante distinguir entre el caudal de aire en condiciones normales (CN), que vendrá expresado en Nm³/h y el caudal de aire en condiciones del interior de la tubería (CI), expresado en m³/h, que es el caudal volumétrico real de aire que está circulando por el interior de la tubería. Durante el llenado de la conducción, el agua 'empuja' al aire que se verá más o menos presurizado en función del caudal de llenado y de la capacidad y número de ventosas por las que el aire es expulsado. Esta presión irá evolucionando con el tiempo pudiendo alcanzarse un régimen permanente y una estabilización del valor de la presión en el momento en el que el caudal de llenado de agua sea igual al caudal del aire en CI que está siendo expulsado por las ventosas.

Puesto que el caudal másico debe conservarse en cada instante, el caudal volumétrico en condiciones normales Q_{CN} (Nm³/h) y en condiciones interiores Q_{CI} (m³/h) pueden relacionarse directamente por medio de la densidad del aire en cada caso.

Normalmente, los fabricantes suelen mostrar las curvas P vs. Q con el caudal en condiciones normales. Aplicando la ecuación de los gases perfectos y admitiendo por simplificación que la temperatura del aire en el interior de la tubería es similar

FIGURA 1. Imágenes de los bancos de pruebas en los que se llevaron a cabo los ensayos de ventosas.





a la temperatura ambiente, condiciones isotérmicas, se pueden relacionar los caudales en CN y CI.

Se han representado gráficamente los caudales en condiciones normales y en condiciones del interior de la tubería de manera que, para un determinado caudal de llenado previsto, se puede observar la presión o depresión que se alcanzará durante el llenado o vaciado respectivamente. Sin duda, estas gráficas resultan de gran utilidad dado que permiten relacionar de manera directa el caudal de aire, el caudal de agua y la presión en el interior de la tubería. Hay que hacer notar que el caudal en condiciones del interior de la tubería se puede calcular teniendo en cuenta no solo la presión en el interior de la tubería, sino también el valor de la presión atmosférica local en ese momento y ubicación.

3.2. COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE VENTOSAS REALIZADOS EN EXPULSIÓN

En la **Figura 2** se indican las curvas de trabajo facilitadas por los fabricantes de las ventosas de DN-80 en expulsión, mientras que en la **Figura 3** se señalan los resultados experimentales, en condiciones normales. La nomenclatura 'CD' indica cierre dinámico.

En la **Figura 4** se representa el caudal máximo ensayado en condiciones normales Q_{exp} (CN) de DN-80 (azul), DN-100 (rojo), DN-50 (verde) y DN-150 (morado), y los caudales equivalentes en condiciones interiores Q_{exp} (CI) (trama). Si se produjo cierre dinámico se indica el caudal de cierre (color amarillo). En 11 de las 29 ventosas se produjo cierre dinámico.

En la **Figura 5** se indica la presión a caudal máximo ensayado de DN-80 (color azul), DN-100 (color rojo),

FIGURA 2. Curvas comerciales de ventosas en expulsión DN-80. Correlación P vs. Q_{exp} de 0 a 1 bar en condiciones normales.

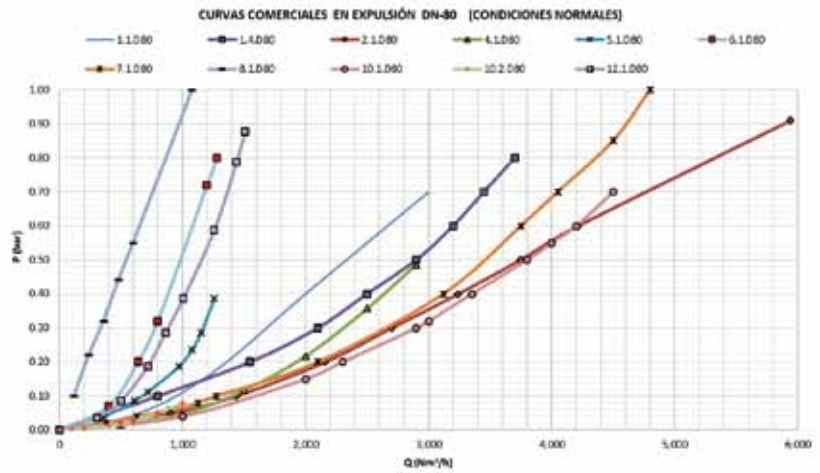


FIGURA 3. Curvas experimentales de ventosas en expulsión DN-80. Correlación P vs. Q_{exp} de 0 a 1 bar en condiciones normales.

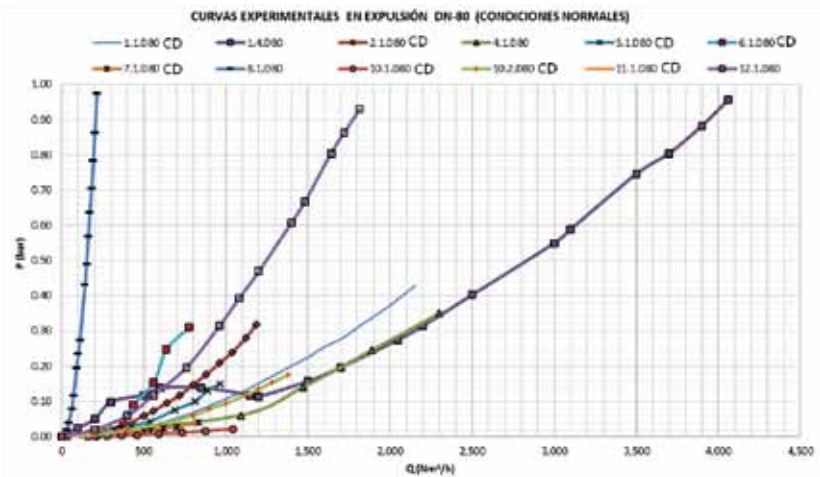
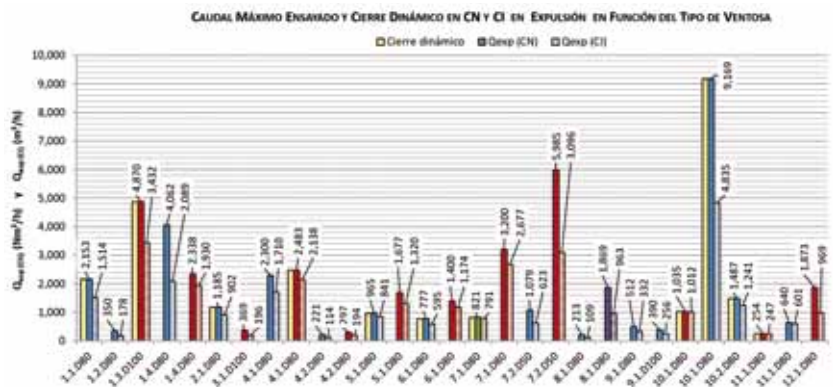


FIGURA 4. Caudal máximo ensayado y de cierre dinámico en condiciones normales e interiores de las ventosas.



DN-50 (color verde) y DN-150 (color morado). También se indica la presión correspondiente al cierre dinámico (color amarillo) en el caso de que este se haya producido y la presión del cierre parcial en las ventosas tipo NS (color naranja).

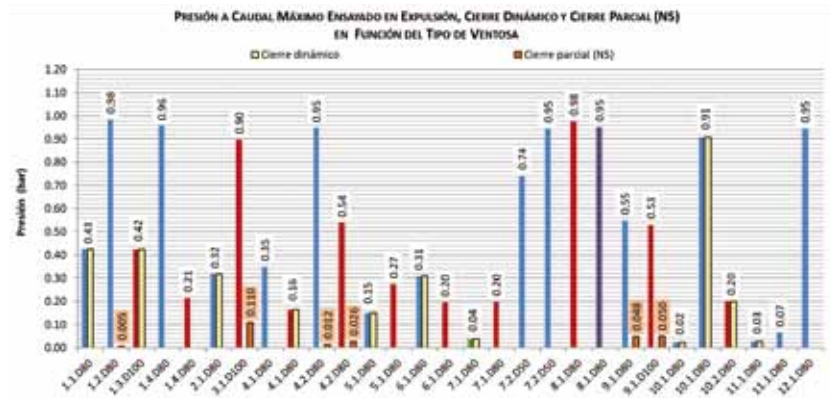
Las ventosas NS presentan el cierre del primer flotador a presiones muy bajas entre 0,012 bar y 0,11 bar. Y en las que se produjo cierre dinámico la presión oscila entre 0,02 bar y 0,43 bar, valores muy pequeños, que en muchos casos puede producir el cierre prematuro o inesperado de la ventosa, quedando aire atrapado en la tubería.

Se han estudiado los puntos característicos de las ventosas correspondientes a la presión y el caudal experimental en condiciones normales e interiores, el cierre parcial en las NS, el cierre dinámico en caso de producirse y el punto máximo ensayado. Se ha realizado una comparativa entre el caudal comercial (Q_c) y el experimental (Q_{exp}) en CN y CI para un máximo de siete valores de presión entre 0,05 bar y el máximo ensayado, y se ha obtenido la desviación aritmética (en valor absoluto) de forma porcentual entre la curva del catálogo comercial y los resultados experimentales en CN, indicándose los resultados en la **Tabla 1**.

Se ha clasificado la desviación en función de si se ha producido en una mayoría de los puntos analizados por defecto (caudal comercial mayor al experimental, $Q_c > Q_{exp}$) o por exceso ($Q_c < Q_{exp}$). Asimismo, en la misma **Tabla 1** pueden compararse los caudales de expulsión de las diferentes ventosas para cuatro valores de la presión, lo que permite poder clasificar las ventosas en función de su capacidad de expulsión.

La comparativa de resultados experimentales frente a los datos proporcionados por los fabricantes, muestra

FIGURA 5. Presión a caudal máximo ensayado, cierre dinámico y cierre parcial (NS) de ventosas en expulsión.



que en las curvas de expulsión la desviación promedio es de un 19,9%. Las ventosas en las que el caudal de expulsión ensayado ha resultado inferior al comercial para los mismos valores de presión, sin producirse cierre dinámico en el intervalo ensayado, han sido seis, con una desviación entre el 10,2% y el 62,0%.

Cabe destacar que 11 de las 25 ventosas proporcionaron caudales inferiores a los comerciales (por defecto) con desviaciones en cuatro ellas muy elevadas, por encima del 30%. En el caso de las 14 ventosas que proporcionaron caudales mayores a los comerciales (por exceso), se presentaron desviaciones de hasta el 38,8%.

3.3. COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE VENTOSAS REALIZADOS EN ADMISIÓN

En la **Figura 6** se indican las curvas de trabajo facilitadas por los fabricantes de las ventosas de DN-80 en admisión y en la **Figura 7**, los resultados experimentales en condiciones normales.

De los resultados de los ensayos cabe destacar el caudal máximo ensayado de cada ventosa en admisión como se indican en la **Figura 8**, de DN-80 (azul), DN-100 (rojo) y DN-50 (verde), así como el caudal equivalente en las condiciones interiores de la ventosa (trama).

FIGURA 6. Curvas comerciales de ventosas en admisión DN-80. Correlación P vs. $Q_{ADMISIÓN}$ de 0 a -0,5 bar (CN).

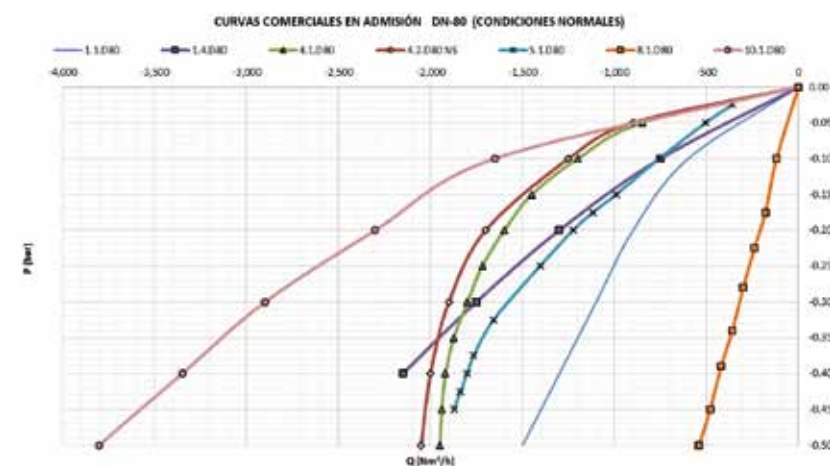




TABLA 1

PUNTOS CARACTERÍSTICOS DE LAS VENTOSAS EN EXPULSIÓN.

Ficha Nº	NS	DN	Expulsión														Desviación promedio Q_c y Q_{exp} (CN) (%) tipo y nº puntos estudiados									
			Ventosas no slam		Presión (bar) y caudal en CN (Nm ³ /h) y CI (m ³ /h)		Punto máximo ensayado		Caudal comercial (Q_c) y experimental (Q_{exp}) en CN (Nm ³ /h) y CI (m ³ /h)		0,10 bar		0,20 bar		0,30 bar		Defecto $Q_c > Q_{exp}$	Nº $Q_c < Q_{exp}$	Exceso $Q_c < Q_{exp}$	Nº						
			P (bar)	Q_{exp} (CN)	Q_{exp} (CI)	P (bar)	Q_c (CN)	Q_{exp} (CN)	Q_{exp} (CI)	Q_c (CN)	Q_{exp} (CN)	Q_c (CI)	Q_{exp} (CN)	Q_c (CN)	Q_{exp} (CI)	Q_{exp} (CN)					Q_c (CN)	Q_{exp} (CI)				
1.1.D80	No	80	-	-	0,43	2.153	1.514	0,43	2.100	2.153	1.514	950	946	861	1.360	1.405	1.173	1.675	1.758	1.356	-	-	3,00%	7 pt		
1.2.D80	Sí	80	0,005	246	0,98	No	0,98	295	350	350	178	105	112	102	130	158	132	155	193	149	-	-	16,80%	7 pt		
1.3.D100	No	100	-	-	0,42	4.870	3.432	0,42	4.100	4.870	3.432	1.900	2.045	1.861	2.725	2.969	2.479	3.400	3.678	2.838	-	-	11,70%	7 pt		
1.4.D80	No	80	-	-	0,96	No	0,96	4.060	4.062	2.089	800	1.000	910	1.550	1.608	1.343	2.100	2.089	1.612	-	-	-	-	12,80%	7 pt	
1.4.D100	No	100	-	-	0,21	No	0,21	2.800	2.338	1.930	1.900	1.532	1.394	2.750	2.187	1.826	3.400	2.689	2.075	-	-	19,00%	7 pt			
2.1.D80	No	80	-	-	0,32	1.185	902	0,32	2.800	1.185	902	1.440	683	621	2.160	975	815	2.700	1.200	926	-	-	53,90%	7 pt		
3.1.D100	Sí	100	0,11	2.110	1,904	No	No	0,9	-	369	196	65	60	54	80	109	91	100	153	118	-	-	33,40%	5 pt		
4.1.D80	No	80	-	-	0,35	No	0,35	2.500	2.300	1.709	1.400	1.250	1.138	1.925	1.711	1.429	2.310	2.066	1.594	-	-	10,20%	7 pt			
4.1.D100	No	100	-	-	0,16	2.483	2.138	0,16	2.650	2.483	2.138	2.190	2.000	1.820	2.950	2.922	2.440	3.575	3.631	2.802	-	-	5,50%	7 pt		
4.2.D80	Sí	80	0,01	297	294	No	No	0,95	-	221	114	60	79	72	80	108	90	100	130	100	-	-	32,10%	6 pt		
4.2.D100	Sí	100	0,03	877	855	No	No	0,54	-	297	194	105	115	104	145	172	144	175	217	167	-	-	16,30%	6 pt		
5.1.D80	No	80	-	-	0,15	965	841	0,15	860	965	841	675	717	653	1.000	1.010	844	1.160	1.235	953	-	-	7,40%	7 pt		
5.1.D100	No	100	-	-	0,27	No	0,27	1.600	1.677	1.320	825	951	866	1.160	1.365	1.140	1.340	1.683	1.298	-	-	-	-	15,80%	7 pt	
6.1.D80	No	80	-	-	0,31	777	595	0,31	780	777	595	475	456	415	640	611	510	775	730	563	-	-	4,60%	7 pt		
6.2.D100	No	100	-	-	0,2	No	0,2	1.350	1.400	1.174	1.025	-	-	1.375	-	-	1.640	-	-	-	-	-	3,70%	1 pt		
7.1.D80	No	80	-	-	0,04	821	791	0,04	630	821	791	1.275	1.289	1.174	2.100	1.824	1.523	2.650	2.234	1.724	-	-	15,00%	7 pt		
7.1.D100	No	100	-	-	0,2	No	0,2	3.400	3.200	2.677	2.475	2.162	1.968	3.675	3.088	2.579	4.620	3.799	2.931	-	-	12,10%	7 pt			
7.2.D50	No	50	-	-	0,74	No	0,74	1.450	1.079	623	525	290	264	750	463	387	940	600	463	-	-	37,40%	7 pt			
7.2.D100	No	100	-	-	0,95	No	0,95	-	5.985	3.096	2.100	1.312	1.194	2.960	2.150	1.796	3.525	2.820	2.176	-	-	31,40%	6 pt			
8.1.D80	No	80	-	-	0,98	No	0,98	1.150	213	109	125	64	58	225	93	77	340	115	89	-	-	62,00%	6 pt			
8.1.D150	No	150	-	-	0,95	No	0,95	3.600	1.869	963	330	517	471	720	800	668	1.120	1.020	787	-	-	-	-	25,50%	6 pt	
9.1.D80	Sí	80	0,05	460	439	No	No	0,55	-	512	332	-	136	124	-	239	199	-	324	250	-	-	-	-	-	-
9.1.D100	Sí	100	0,05	723	689	No	No	0,53	-	390	256	-	131	119	-	215	180	-	282	218	-	-	-	-	-	-
10.1.D80	No	80	-	-	0,02	1.035	1.012	0,02	680	1.035	1.012	1.600	2.221	2.022	2.300	3.147	2.628	2.900	3.858	2.977	-	-	-	-	38,80%	7 pt
10.1.D100	No	100	-	-	0,91	9.169	4.835	0,91	-	9.169	4.835	2.800	2.824	2.570	3.800	4.191	3.500	4.600	5.245	4.047	-	-	-	-	8,70%	6 pt
10.2.D80	No	80	-	-	0,2	1.487	1.241	0,2	-	1.487	1.241	-	1.021	930	-	1.458	1.217	-	1.793	1.383	-	-	10,90%	1 pt	-	-
11.1.D80	No	80	-	-	0,03	254	247	0,03	-	254	247	-	498	453	-	705	588	-	864	666	-	-	-	-	-	-
11.1.D100	No	100	-	-	0,07	No	0,07	-	-	640	601	-	820	746	-	1.228	1.026	-	1.544	1.191	-	-	-	-	-	-
12.1.D80	No	80	-	-	0,95	No	0,95	-	-	1.873	969	540	500	455	740	781	652	880	1.000	772	-	-	-	-	8,90%	6 pt
																			19,90%							

FIGURA 7. Curvas experimentales de ventosas en admisión DN-80. Correlación P vs. $Q_{ADMISIÓN}$ de 0 a -0,5 bar (CN).

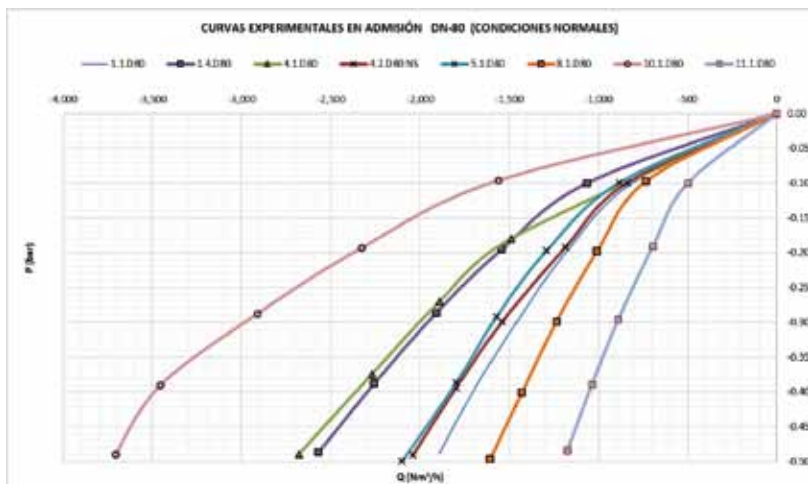
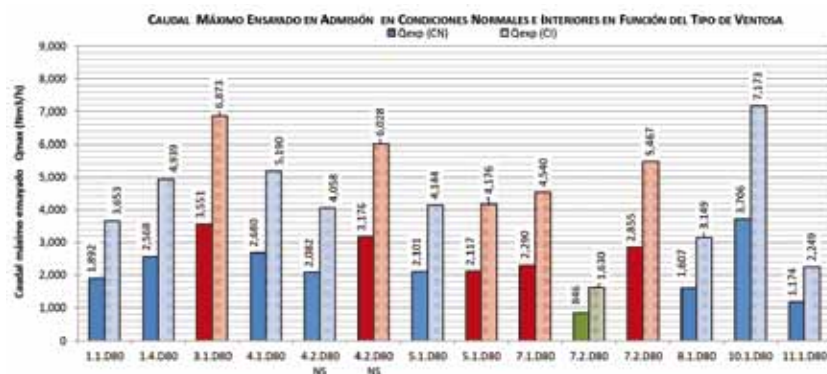


FIGURA 8. Caudal máximo ensayado de ventosas en admisión en condiciones normales e interiores.



Se han obtenido los puntos característicos de las ventosas en admisión correspondientes a la presión y caudal experimental en CN y CI realizado una comparación con los valores de catálogo para un máximo de siete valores de presión entre -0,05 bar y el valor máximo ensayado, y se ha obtenido la desviación aritmética de forma porcentual, indicándose los resultados en la **Tabla 2**. Se ha clasificado la desviación en función de si se ha producido en una mayoría de los puntos analizados por defecto (caudal comercial mayor al experimental, $Q_C > Q_{exp}$) o por exceso ($Q_C < Q_{exp}$). Asimismo, en la **Tabla 2** pueden compararse los caudales de

admisión de las diferentes ventosas para cuatro valores de la depresión en el interior de la tubería, lo que permite poder clasificar las ventosas en función de su capacidad de admisión.

En admisión las curvas presentan un promedio de desviación del 57,4%. En este caso ocho ventosas proporcionaron un caudal inferior al comercial con una desviación promedio entre el 4,3% y el 41,9%. La elección de la ventosa pensando en que pueda admitir un caudal superior al que realmente admite, puede provocar problemas en la instalación al generarse en un vaciado depresiones mayores a las previstas.

4. CONCLUSIONES

En general, los ensayos realizados han resultado satisfactorios. Aunque las condiciones termodinámicas de algunos ensayos de admisión no fueron las idóneas, al no poder trabajar en aspiración (generando depresión en el interior de la tubería), los ensayos se realizaron de la manera más adecuada con los medios disponibles (admitidos, eso sí, por las normas UNE-EN 1074-4 e ISO 9635-4).

Es muy importante determinar el valor de la presión en el interior de la tubería al que se produce el cierre dinámico de la ventosa, dado que a partir de ese momento la ventosa deja de realizar su función. En bastantes casos los valores de la presión de cierre dinámico eran muy pequeños, por lo que es muy probable que se cierren en las operaciones de llenado, dejando bolsas de aire en el interior de la tubería. Los valores límite de la presión de ensayo en ambos laboratorios están por encima de los valores de la presión del aire usual en los procesos de llenado (entre 1 y 3 mca), por lo que para situaciones de llenado usuales se han identificado aquellas ventosas que tienen un cierre dinámico a las presiones de trabajo normales.

Sería deseable que los fabricantes indicaran en los catálogos el valor umbral de la presión en el interior de la tubería al que la ventosa cierra de manera prematura. Para próximas revisiones de las normativas de ventosas, tanto UNE-EN como ISO, sería recomendable proponer la inclusión de este ensayo en las citadas normativas.

En lo que respecta al valor de la presión a la que sube el primer flotador en las ventosas NS (antiariete), cabe destacar que, en general, se trata de valores excesivamente ba-



TABLA 2

PUNTOS CARACTERÍSTICOS DE LAS VENTOSAS EN ADMISIÓN.

Ficha N°	NS	DN	Admisión																		Desviación promedio Q_C y Q_{exp} (CN) (%) tipo y n° puntos estudiados							
			Caudal comercial (Q_C) y experimental (Q_{exp}) en CN (Nm ³ /h) y CI (m ³ /h)																		Defecto $Q_C > Q_{exp}$	N°	Exceso $Q_C < Q_{exp}$	N°				
			Punto máximo ensayado						-0,10 bar			-0,20 bar			-0,25 bar			-0,30 bar										
P (bar)	Q_C (CN)	Q_{exp} (CN)	Q_{exp} (CI)	Q_C (CN)	Q_{exp} (CN)	Q_{exp} (CI)	Q_C (CN)	Q_{exp} (CN)	Q_{exp} (CI)	Q_C (CN)	Q_{exp} (CN)	Q_{exp} (CI)	Q_C (CN)	Q_{exp} (CN)	Q_{exp} (CI)	Q_C (CN)	Q_{exp} (CN)	Q_{exp} (CI)	Q_C (CN)	Q_{exp} (CN)	Q_{exp} (CI)							
1.1.D80	No	80	-0,49	-1.500	-1.892	-3.653	-600	-905	-1.004	-900	-1.318	-1.642	-1.000	-1.484	-1.970	-1.100	-1.635	-2.323	-	-	-	-	-	-	-	-	51,00%	7 pt
1.4.D80	No	80	-0,49	-	-2.568	-4.939	-750	-1.065	-1.182	-1.300	-1.593	-1.984	-1.540	-1.806	-2.398	-1.750	-2.000	-2.841	-	-	-	-	-	-	-	-	34,70%	6 pt
3.1.D100	Sí	100	-0,49	-	-3.551	-6.873	-1.750	-1.174	-1.302	-2.500	-1.880	-2.342	-2.750	-2.171	-2.882	-3.000	-2.437	-3.462	28,20%	6 pt	-	-	-	-	-	-	-	-
4.1.D80	No	80	-0,49	-1.950	-2.680	-5.190	-1.200	-1.000	-1.109	-1.600	-1.562	-1.946	-1.720	-1.791	-2.378	-1.800	-2.000	-2.841	15,60%	7 pt	-	-	-	-	-	-	-	-
4.2.D80	Sí	80	-0,49	-2.100	-2.082	-4.058	-1.250	-820	-910	-1.700	-1.228	-1.530	-1.820	-1.394	-1.850	-1.900	-1.544	-2.193	25,20%	7 pt	-	-	-	-	-	-	-	-
4.2.D100	Sí	100	-0,48	-3.200	-3.176	-6.028	-2.000	-1.351	-1.499	-2.600	-2.000	-2.492	-2.825	-2.262	-3.004	-3.000	-2.500	-3.552	22,20%	7 pt	-	-	-	-	-	-	-	-
5.1.D80	No	80	-0,5	-	-2.101	-4.144	-760	-905	-1.004	-1.220	-1.318	-1.642	-1.400	-1.484	-1.970	-1.580	-1.635	-2.323	-	-	-	-	-	-	-	12,90%	6 pt	
5.1.D100	No	100	-0,5	-	-2.117	-4.176	-1.050	-1.051	-1.166	-1.500	-1.465	-1.825	-1.700	-1.632	-2.166	-1.875	-1.783	-2.533	4,30%	6 pt	-	-	-	-	-	-	-	-
7.1.D100	No	100	-0,5	-	-2.290	-4.540	-2.725	-1.051	-1.166	-3.675	-1.465	-1.825	-4.075	-1.632	-2.166	-4.450	-1.783	-2.533	60,50%	6 pt	-	-	-	-	-	-	-	-
7.2.D50	No	50	-0,49	-	-846	-1.630	-520	-333	-370	-730	-500	-623	-800	-568	-753	-860	-629	-893	30,10%	6 pt	-	-	-	-	-	-	-	-
7.2.D100	No	100	-0,48	-4.600	-2.855	-5.467	-2.100	-1.146	-1.271	-3.000	-1.722	-2.146	-3.325	-1.956	-2.597	-3.600	-2.168	-3.080	41,90%	7 pt	-	-	-	-	-	-	-	-
8.1.D80	No	80	-0,5	-540	-1.607	-3.149	-120	-717	-796	-210	-1.010	-1.258	-270	-1.128	-1.498	-320	-1.235	-1.754	-	-	-	-	-	-	-	411,10%	7 pt	
10.1.D80	No	80	-0,49	-3.750	-3.706	-7.173	-1.650	-1.728	-1.918	-2.300	-2.484	-3.095	-2.620	-2.788	-3.702	-2.900	-3.064	-4.353	-	-	-	-	-	-	-	9,10%	7 pt	
11.1.D80	No	80	-0,48	-	-1.174	-2.249	-	-486	-539	-	-723	-900	-	-818	-1.086	-	-905	-1.286	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
																							57,40%					

jos, por lo que en la práctica las ventosas se transforman en válvulas de muy poca capacidad de expulsión, ralentizando en exceso las operaciones de llenado. No obstante, puede ser interesante su utilización como última ventosa en cerrar durante un proceso de llenado (punto más elevado de una conducción en la que hay instaladas varias ventosas). En los catálogos, los fabricantes sí suelen incluir estos valores dado que representan la curva P-Q de la ventosa desde presión nula, si bien la repetitividad de los mismos puede ser cuestionada dados los mecanismos de actuación del dispositivo NS.

En algunas ventosas es posible regular el coeficiente de descarga, desplazando la curva Presión-Caudal para que se generen más pérdidas de carga, de manera que se pueda reducir su capacidad de expulsión. Y en algunos modelos de ventosa antiarriete o NS, es posible modificar el valor de la presión a la cual cierra el primer flotador. Todo ello resulta interesante para los usuarios a fin de adecuar el funcionamiento del dispositivo a las condiciones del sistema.

Las ventosas en expulsión en las que se produjo un cierre dinámico fueron 11 de las ensayadas. Esto condiciona la presión máxima de trabajo en las operaciones de llenado. Se observa desde la de menor presión (modelo 10.1.D80 a 0,02 bar y 1.012 m³/h en CI) hasta la de mayor presión (modelo 10.1.D100 a 0,91 bar y 4.835 m³/h en CI).

La comparativa de resultados comerciales y experimentales en las curvas de expulsión en condiciones normales presenta un promedio de desviación de un 19,9%. La ventosa cuyos resultados son más aproximados a la comercial es la ventosa 1.1.D80 (3,0%) y la menos aproximada la 8.1.D80 (62%).

La comparativa de resultados comerciales y experimentales en las curvas de admisión presenta un promedio de desviación global de un 57,4%. La ventosa cuyos resultados son más aproximados a los comerciales es la 10.1.D80 (9,1%) y la menos aproximada la 8.1.D80 (411,11%).

Las ventosas en las que el caudal de expulsión ensayado ha resultado inferior al comercial para los mismos valores de presión, sin producirse cierre dinámico en el intervalo ensayado, han sido seis con una desviación entre 10,2 y 62%. Y en el caso del ensayo de admisión las ventosas en las que el caudal ensayado ha resultado inferior al comercial para los mismos valores de presión fueron ocho con una desviación promedio entre el 4,3% y el 41,9% entre la curva comercial y la experimental en condiciones normales.

En la mayoría de los catálogos, los fabricantes no hacen referencia ni a la forma en la que se han realizado los ensayos para determinar la curva P-Q que presentan en sus catálogos, ni a los laboratorios en los que se han llevado a cabo los ensayos.

Tampoco se referencian las normas UNE-EN 1074-1 e ISO 9635-4. Cabe pensar, dadas las desviaciones encontradas, que en algunos casos los ensayos podrían no haberse hecho de una forma adecuada.

Para la caracterización del funcionamiento de las ventosas aún hay mucho camino por recorrer. Sería necesario que los fabricantes certificaran sus ventosas de acuerdo a normas, para que los datos técnicos de catálogo tuvieran mayor grado de fiabilidad. Asimismo, además de la curva P-Q, sería deseable que aparecieran también los valores de la presión máxima para no producir cierre anticipado, y de la presión a

la que sube el primer flotador en las ventosas *non-slam*, aspectos que sería recomendable incorporar en la norma UNE-EN 1074:2001. Válvulas para el suministro de agua. Requisitos de aptitud al uso y ensayos de verificación apropiados. Parte 4: Purgadores y ventosas.

En cualquier caso, el presente trabajo ha ayudado a mejorar el conocimiento del comportamiento de las ventosas existentes en el mercado, con el fin de contar con datos técnicos que ayuden a la elección de la ventosa más adecuada para cada instalación.

Los resultados obtenidos son fundamentales para aumentar la precisión de los modelos matemáticos de simulación de las operaciones de llenado y vaciado de conducciones, dado que la ventosa es uno de los elementos principales que interviene en estos procesos.

Bibliografía

- [1] Asociación Española de Normalización - AENOR (2001). UNE-EN 1074-4. Válvulas para el suministro de agua. Requisitos de aptitud al uso y ensayos de verificación. Parte 4: Purgadoras y ventosas.
- [2] Abreu, J.; Cabrera, E.; Espert, V.B.; García-Serra, J.; Sanz, F. (2012). Transitorios hidráulicos del régimen estacionario al golpe de ariete. Editorial UPV, Valencia.
- [3] Arregui, F.; García-Serra, J.; Krusbrink, A.C.H.; Cabrera, E.; Fuertes, V.S.; Palau, C.V.; Gascón, L. (2003). Air valve dynamic behaviour. Pumps, electromechanical devices and systems applied to urban water management. PEDS, págs. 623-632, Valencia.
- [4] Phu D. Tran (2017). Pressure transients caused by air-valve closure while filling pipelines. Journal of Hydraulic Engineering ASCE, vol. 143, núm. 2. DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001245.
- [5] International Organization for Standardization - ISO (2014). ISO 9635-4:2014 Agricultural irrigation equipment - Irrigation valves - Part 4: Air valves.
- [6] Arrué, P.; Romero, A.M.; Espert, V.; García-Serra, J.; Ponz, R. (2017). Caracterización de ventosas de admisión y expulsión de aire. V Jornadas de Ingeniería del Agua.
- [7] Romero, A.M.; Arrué, P.; García-Serra, J.; Espert, V.; Biel, F. (2018). Large pipelines filling model (modelo de llenado de grandes conducciones). Ingeniería del Agua, núm. 22(4), págs. 239-254. <https://doi.org/10.4995/la.2018.9642>. 