

Anejo 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

ÍNDICE

1	OBJETO DEL ANEJO.....	3
2	PROBLEMÁTICA DEL AIRE EN LAS CONDUCCIONES	3
3	VÁLVULAS DE AIREACIÓN.....	5
	3.1 Clasificación de las válvulas de aireación o ventosas	5
	3.2 Localización y ubicación de las ventosas.....	6
4	DIMENSIONAMIENTO DE LOS PURGADORES Y VENTOSAS DE GRAN ORIFICIO.....	8
	4.1 Dimensionamiento de purgadores	9
	4.2 Dimensionamiento de ventosas de gran orificio	12
	4.2.1 Dimensionado de ventosas para la expulsión del aire (Fase de llenado de la red)	12
	4.2.2 Dimensionado de la ventosa para la admisión del aire (Fase de vaciado de la red)	15
	4.3 Resumen del dimensionamiento del purgador y ventosa	20
	4.4 Instalación	22
	4.5 Mantenimiento	23
5	DISEÑO DE LOS DESAGÜES. VACIADO DE LA RED.....	24

Índice de tablas

Tabla 1.- Dimensionamiento del diámetro del orificio del purgador.	11
Tabla 2.- Elección de la conexión comercial del purgador.	12
Tabla 3.- Diámetro nominal de las ventosas para la expulsión de aire según catálogo del fabricante.....	14
Tabla 4.- Dimensionado del DN de ventosas para expulsión del aire. Fase de llenado.	15
Tabla 5.- Diámetro nominal de ventosas para la admisión de aire según catálogo del fabricante.....	17
Tabla 6.- Selección del DN de la ventosa por DN de tubería en fase de vaciado controlado.	18
Tabla 7.- Selección del DN de la ventosa para cada DN de tubería en caso de rotura franca.....	20
Tabla 8.- Elección del DN de las ventosas para cada DN de tubería.	21
Tabla 9.- Resumen de los purgadores y ventosas a instalar.	22
Tabla 10.- DN de la salida vertical para conexión de la ventosa y al tubería.....	23
Tabla 11.- Caudal de desagüe para cada DN.....	26
Tabla 12.- Dimensionamiento del DN del desagüe para cada DN de tubería.	27
Tabla 13.- Máximo desnivel de la conducción con la válvula de desagüe totalmente abierta.	28

Índice de imágenes

Imagen 1.- Ubicación de las ventosas.	7
--	---

1 OBJETO DEL ANEJO

El presente anejo tiene como objeto el dimensionamiento de los elementos de aireación y de desagüe de la red de riego con el fin de evitar la problemática generada por la presencia y acumulación de aire dentro de las conducciones y permitir el vaciado de estas.

2 PROBLEMÁTICA DEL AIRE EN LAS CONDUCCIONES

La presencia de aire dentro de las conducciones de agua a presión es una de las principales causas de problemas graves en las redes de tuberías a presión. El aire disuelto en el agua puede acumularse progresivamente en los puntos elevados de la red como consecuencia de la disminución de la presión en el fluido generando bolsas en dichos puntos.

El aire atrapado en las conducciones a presión constituye una fuente de numerosos problemas, derivando incluso, en la rotura de estas. El aire es introducido en los sistemas a presión por motivos muy diversos y cuya presencia en cantidades incontroladas puede reducir seriamente el rendimiento al obstaculizar la correcta circulación del agua.

Si se produce la situación en la cual el aire está presente en grandes cantidades dentro de las conducciones, esto provoca la reducción de la sección disponible para el paso del agua, mermando la capacidad de transporte e incrementando notablemente las pérdidas de carga que se generan en la tubería. El acúmulo de grandes bolsas de aire a presión puede llegar incluso a provocar la rotura de la instalación en situaciones en las que se generan importantes sobrepresiones dentro de la red.

Aunque la presencia de aire dentro de las conducciones genera un grave problema, se dan situaciones en la que es necesario la entrada de este de forma controlada para evitar el colapso de las tuberías. Esta situación se manifiesta en los momentos en los cuales se produce un vaciado voluntario o accidental de la red de tuberías. Puede darse en procesos de vaciado de la red motivados por tareas de mantenimiento de las tuberías o por la ocurrencia de una fuga en las conducciones, situaciones en las cuales es necesario que el caudal de agua extraído de la red ha de ser sustituido por un caudal de entrada de aire con el objetivo de que no se produzca un fenómeno de vacío que ocasione el colapso y aplastamiento de las tuberías.

Así pues, tanto el aire disuelto en el agua que recorre la red de tuberías como el que pueda entrar en el sistema desde el exterior o quedar atrapado en su interior por causas intencionadas (procesos de llenado y vaciado de la conducción, puesta en funcionamiento o interrupción temporal de las instalaciones, etc.) o accidentales (vórtices en la aspiración de las bombas, roturas, liberación de aire disuelto al reducirse la presión, etc.), conlleva a una serie de problemas tales como: roturas repetitivas de los tubos, consumo eléctrico excesivo y una reducción del

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

rendimiento de los grupos de bombeo debido al incremento de las pérdidas de carga generadas por la obstrucción parcial de la sección de paso, ruidos y vibraciones en las conducciones, circulación de caudales inferiores a los de diseño, desgaste, corrosión y cavitación destructiva de los materiales en el interior de las conducciones y de las partes móviles de los accesorios y elementos instalados, generación de errores de medición en los caudalímetros.

Es por todo lo mencionado, por lo que en este anejo se procede a dimensionar las válvulas de aireación (ventosas y purgadores) de manera paralela a los órganos de desagüe para un correcto manejo del aire en las conducciones que permita el funcionamiento óptimo de la red.

Para evitar los problemas descritos debido a la presencia de aire en las tuberías en carga y al efecto de vacío o rotura de la columna de agua, se procederá a la instalación de ventosas en el trazado de la red con dos objetivos fundamentales:

- Permitir la ventilación de la red de tuberías.
- Como dispositivo de protección frente a un posible golpe de ariete como consecuencia de la acumulación de aire en puntos concretos de la red de tuberías.

Respecto a la función de ventilación las ventosas tienen básicamente tres funciones:

- Permitir la salida de aire del interior de la red en los procesos de llenado de las tuberías.
- Permitir la entrada de aire de manera controlada en los procesos de drenaje de la red para evitar depresiones y el colapso de las tuberías.
- Posibilitar la expulsión del aire liberado durante el funcionamiento normal del sistema, impidiendo que el mismo se acumule en determinadas zonas de la instalación.

Por otro lado, como elemento de protección frente al golpe de ariete, la función principal de la ventosa es:

- Evitar la salida descontrolada del aire acumulado en las tuberías en la segunda fase de los transitorios producidos ante un cambio repentino, inducido o involuntario, del caudal circulante en la red.

En cualquier caso, el aire presente en la instalación por uno u otro motivo deberá ser expulsado, de tal manera que, durante este proceso, no se generen golpes de ariete indeseados.

3 VÁLVULAS DE AIREACIÓN

3.1 Clasificación de las válvulas de aireación o ventosas

Los tipos de ventosas a instalar en los tramos de conducciones y elementos que integran la red de riego o la impulsión vendrán según la función básica que realiza. De este modo podemos clasificar estas válvulas en tres tipos:

Purgador

Un purgador es una ventosa de efecto automático, de pequeño orificio o de alta presión.

Los purgadores son sistemas hidromecánicos que evacúan de forma automática pequeñas bolsas de aire disueltas en el agua que, al disminuir la presión o aumentar la temperatura, forman burbujas acumulándose en los puntos elevados de la tubería cuando ésta se encuentra en condiciones de operación y, por lo tanto, presurizada.

Se caracterizan por tener un orificio de salida para el paso del aire de dimensiones muy reducidas, generalmente comprendido entre 1,50 y 12,50 mm. Este diámetro debe entenderse como diferente del diámetro de conexión del purgador con la conducción.

Los purgadores, debido a que su orificio es de pequeño diámetro, no están recomendados para eliminar grandes volúmenes de aire, como sucede en el caso de llenado de tuberías. Por ello y dado el reducido tamaño del orificio, no se tienen en cuenta en su cálculo para las operaciones de llenado.

Ventosa de efecto cinético

Se denominan como: ventosas de gran orificio de doble propósito, doble efecto, bifuncional o de baja presión.

Las ventosas de gran orificio se caracterizan por tener orificios de tamaño grande, tanto de entrada como de salida para el aire, siendo generalmente del mismo diámetro que la conexión a la tubería, lo que permite la admisión y expulsión de grandes cantidades de aire. Se utilizan fundamentalmente en los procesos de ventilación del sistema durante el llenado y el vaciado de las conducciones. Estas funciones de admisión y expulsión se realizan cuando no existe presión dentro de la tubería.

Debe remarcarse que la designación de ventosas de alta y baja presión se refiere únicamente a su presión de servicio y no a la presión nominal.

Ventosa trifuncional

Las ventosas trifuncionales combinan en un solo cuerpo o en dos cuerpos separados, las funciones de las ventosas de efecto automático y las de efecto cinético, actuando en tres momentos diferentes durante el funcionamiento de la instalación:

1. Evacuando el aire de las tuberías en el momento de llenado
2. Purgando pequeñas cantidades de aire cuando la red está presurizada
3. Permitiendo la entrada de aire en el momento de la descarga

Con el fin de controlar los tres procesos mencionados, se eligen las ventosas trifuncionales como aquellas para ser instaladas en la red de tuberías y en el colector de impulsión a fin de controlar los procesos de entrada y salida del aire, así como la purga del sistema.

3.2 Localización y ubicación de las ventosas

La localización de las ventosas se realiza en función del perfil longitudinal que representa el trazado de la red, en el cual se definen los puntos altos y bajos de la conducción.

Con el fin de asegurar una gestión correcta del aire se ha de facilitar su acumulación en los puntos altos del trazado permitiendo así, su eliminación por medio de las ventosas. De igual manera se generarán puntos bajos en la red para facilitar el arrastre de los sedimentos hacia estos puntos para su posterior eliminación a través de los desagües

Los perfiles longitudinales de los ramales se proyectan teniendo presente los problemas de la admisión y expulsión del aire ya comentados en el apartado anterior. A tal fin, deben evitarse los tramos horizontales, adoptando en lo posible un perfil quebrado o en “diente de sierra” en aquellos ramales con longitud suficiente, con puntos altos y bajos. Se otorgará una pendiente más pronunciada a los tramos descendentes, con objeto de facilitar el ascenso del aire hasta el punto alto, ya que dicho ascenso se ve dificultado debido a que debe producirse en sentido opuesto a la dirección del flujo del agua.

Para facilitar el movimiento del aire a los puntos altos de la red y el depósito de los sedimentos en los puntos bajos para su drenaje, se proyectan las pendientes ascendentes para que no sean inferiores al 0,2% y las descendentes no sean inferiores al 0,4%.

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

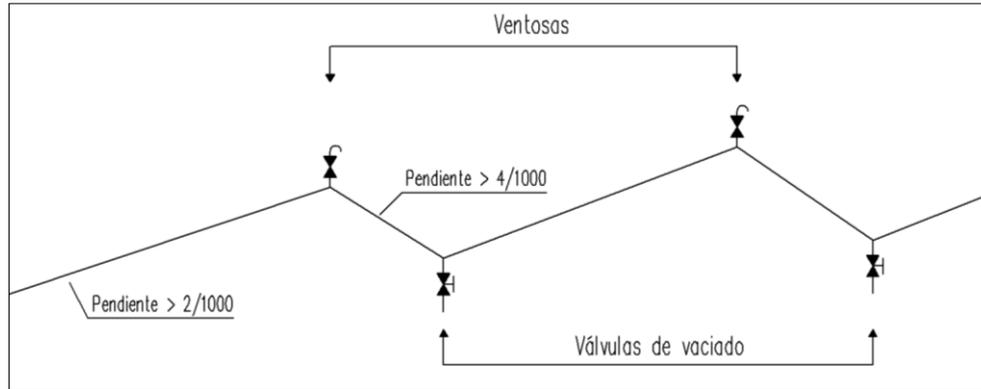


Imagen 1.- Ubicación de las ventosas.

Mediante la distribución de estos tramos ascendentes con poca pendiente y descensos con una pendiente más pronunciada, se favorece que el aire avance hasta los puntos altos, acumulándose de manera controlada. Es desde este punto desde donde podrá ser evacuado utilizando para ello las ventosas instaladas. Con este objetivo se instalan ventosas trifuncionales en todos los puntos altos, mientras que en los puntos bajos se colocan los desagües para el drenaje de los sedimentos.

La ubicación de las ventosas no sólo se reduce a los puntos altos del trazado de la red, sino que también se estudia la necesidad de colocarlas en otros puntos del sistema de conducciones, siguiendo los siguientes criterios:

- Cuando el perfil de la conducción no presenta puntos altos y bajos bien definidos o se tienen tramos inclinados u horizontales rectilíneos y largos, deberán colocarse ventosas distribuidas a distancias más o menos regulares, tomando como referencia una distancia entre ellas de 500 a 1.000 m.
- En los puntos en los que se produzcan cambios bruscos de pendiente de la tubería (incrementos de la pendiente en tramos descendentes, decrementos de la pendiente en tramos ascendentes), no sólo respecto a la horizontal sino también respecto al gradiente hidráulico de la instalación, así como también en aquellos puntos donde la tubería se eleve por encima de la superficie del terreno o para sortear un accidente geográfico.
- Al inicio de los ramales que se inician con pendiente descendente y tengan una longitud considerable.
- Al final de los ramales que terminan con pendiente ascendente y tengan una longitud considerable.
- En la ubicación de válvulas de seccionamiento: aguas abajo en los descensos y aguas arriba en los ascensos.
- En los puntos en los que cambie el diámetro de la tubería o se produzcan estrechamientos bruscos de sección.
- En las proximidades de contadores de agua y aparatos de medida.

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

- A la salida de grupos de bombeo.
- Aguas abajo de las válvulas reductoras de presión.
- Aguas abajo de las válvulas de sobrevelocidad.
- En las proximidades de sistemas de filtrado.
- A la salida de la balsa si la conducción es descendente y a la entrada si es ascendente.

En resumen, se instalarán ventosas en todos aquellos puntos de la instalación que sean susceptibles de almacenar aire. evitando problemas de funcionamiento de la red y posibles roturas de las tuberías.

En la tubería de abastecimiento del Sector II, DN 1600 de hormigón de camisa de chapa, se dimensionará los purgadores y ventosas, pero en el Sector III el abastecimiento es demasiado corto como para la instalación de ventosas o purgadores.

4 DIMENSIONAMIENTO DE LOS PURGADORES Y VENTOSAS DE GRAN ORIFICIO

El correcto dimensionado de las ventosas debe realizarse de acuerdo con las prestaciones para las que se haya seleccionado el elemento. En este sentido, el dimensionado es completamente diferente si lo solicitado es un purgador para la continua eliminación de las burbujas de aire arrastradas a lo largo de la conducción, o si lo deseado es instalar una ventosa de aireación para los procesos de llenado y vaciado de las tuberías.

En cualquier caso, dicho dimensionado depende de criterios técnicos determinados en proyecto atendiendo al diámetro del orificio de salida del aire, dato a determinar para asegurar un adecuado flujo de aire. Asimismo, estos criterios tienen en cuenta otros parámetros básicos para el correcto dimensionado de la válvula como: el máximo caudal de aire que será necesario evacuar o admitir, la presión diferencial a través del orificio o las características del material de la tubería.

En movimiento permanente, a una ventosa se le deben exigir una serie de características que garanticen el normal funcionamiento de la instalación:

- Gran capacidad de expulsión de aire durante el llenado de la conducción.
- Gran capacidad de admisión de aire durante el vaciado o drenaje de esta o ante una rotura de la conducción.
- Capacidad discreta de eliminación del aire acumulado bajo presión en los puntos altos.

Durante un transitorio hidráulico, a las ventosas se les debe exigir las siguientes prestaciones:

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

- Gran capacidad de admisión de aire para evitar la generación de presiones negativas en puntos críticos.
- Capacidad discreta de eliminación de aire, para evitar que las posibles bolsas de aire creadas generen picos de presión muy elevados.

En los apartados siguientes se detalla la metodología aplicada para el dimensionamiento de los diferentes tipos de elementos de purga y aireación.

Respecto a la modelización matemática para determinar las ecuaciones características que caracterizan el funcionamiento de las ventosas y entender así su comportamiento, al ser el aire un fluido compresible cuyos fenómenos que se producen en su movimiento son más complejos que si fuera un fluido incompresible (agua), suele hacerse una analogía entre el flujo de aire a través de una ventosa y el flujo isoentrópico en toberas (Wylie y Streeter, 1982; Chaudhry, 1987).

4.1 Dimensionamiento de purgadores

Como se ha descrito en el apartado 3.1, las ventosas de pequeño orificio o purgadores automáticos están diseñadas para eliminar las pequeñas cantidades de aire que se van almacenando en determinados puntos de la instalación durante su funcionamiento normal.

El normal funcionamiento de la red implica que esta se encuentra presurizada, por lo que estos elementos permiten la salida de pequeñas cantidades de aire a la presión de trabajo de la conducción.

A la hora de dimensionar el purgador, en primer lugar, se debe determinar la presión de trabajo. Esta presión será la que exista en la tubería en el punto donde se va a colocar el purgador y coincidirá con la presión diferencial, puesto que la presión exterior es la presión atmosférica.

Seguidamente, se estima el caudal máximo de aire a evacuar. Normalmente el caudal que el purgador deberá evacuar será como máximo la cantidad total de aire disuelto en el agua a la temperatura de trabajo, partiendo del supuesto en el que todo el aire disuelto es liberado, posicionando el dimensionado del lado de la seguridad.

El caudal de aire a purgar es desconocido por lo que, para estimarlo, una correcta aproximación se basa en considerar una cantidad de aire disuelta en el agua equivalente al 2% del caudal de agua transportado por la conducción, ya que esta cantidad es, aproximadamente, la correspondiente al aire disuelto en el agua para una temperatura de 15 °C.

Los purgadores funcionan como una ventosa en fase de expulsión, con la diferencia que habitualmente trabajan en la denominada zona sónica. Dicha zona sónica acontece cuando la

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

diferencia de presiones entre el interior y el exterior es superior a 0,9 bar, es decir, prácticamente siempre. En estas condiciones, las características de expulsión de aire vienen dadas por la siguiente ecuación:

$$Q_{purga} = cte \cdot A_{exp} \cdot P_t^*$$

Sustituyendo valores se obtiene:

$$Q(Nm^3/min) = 0,007912 \cdot D(mm) \cdot P_t^*(bar)$$

Donde:

- Q = es el caudal másico de aire medido como caudal volumétrico (Nm³/min) medido en condiciones de referencia (P = 1 atm y t^a = 20 °C)
- D = el diámetro del orificio del purgador (mm)
- P^{*t} = presión absoluta del aire en el interior de la conducción (bar)

Una vez conocido el caudal máximo de aire a evacuar y la presión en el interior de la conducción en condiciones de trabajo de la red, se determina el diámetro mínimo del orificio del purgador (d), despejando de la ecuación anterior se obtiene:

$$D (mm) = \sqrt{\frac{Q (Nm^3/min)}{0,007912 \cdot p_t^*(bar)}}$$

Antes de proceder con el dimensionamiento del orificio del purgador se establecen los siguientes criterios de partida:

- El caudal de purga se establece a partir del caudal máximo de agua que puede circular en cada tubería. Se obtiene como el 2% del caudal máximo de agua según la sección de la conducción, estableciéndose para ello, una velocidad máxima de 2,50 m/s para todas las secciones utilizadas en la red.

$$Q_{purga} = 2\% \cdot Q_{agua}$$

- Por otra parte, la presión nominal (PN) de trabajo se establece para cada tipo de tubería a instalar en la red, encontrándose dos valores: PN 10 y PN 12, por lo que se calcularán en cada caso los purgadores en base a esta presión nominal.

En la siguiente tabla se exponen los resultados obtenidos del cálculo del diámetro mínimo del purgador, para cada sección de tubería que va a ser instalada en la red:

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

DIMENSIONAMIENTO DEL DIÁMETRO ORIFICIO DEL PURGADOR						
DN	PN	v	Qagua	Qpurga	Qpurga	d
mm	bar	m/s	l/s	l/s	Nm ³ /min	mm
160	12,5	2,5	50,27	1,01	0,06	0,78
200	12,5	2,5	78,54	1,57	0,09	0,98
250	12,5	2,5	122,72	2,45	0,15	1,22
315	12,5	2,5	194,83	3,90	0,23	1,54
400	12,5	2,5	314,16	6,28	0,38	1,95
450	12,5	2,5	397,61	7,95	0,48	2,20
450	10	2,5	397,61	7,95	0,48	2,46
500	10	2,5	490,87	9,82	0,59	2,73
600	10	2,5	706,86	14,14	0,85	3,27
700	10	2,5	962,11	19,24	1,15	3,82
800	10	2,5	1256,64	25,13	1,51	4,37
900	10	2,5	1590,43	31,81	1,91	4,91
1000	10	2,5	1963,50	39,27	2,36	5,46
1100	10	2,5	2375,83	47,52	2,85	6,00
1300	10	2,5	3318,31	66,37	3,98	7,09
1400	10	2,5	3848,45	76,97	4,62	7,64
1600	2,5	2,5	5026,55	100,53	6,03	17,46

Tabla 1.- Dimensionamiento del diámetro del orificio del purgador.

Una vez determinado el diámetro mínimo del orificio del purgador, se acude a los catálogos de los fabricantes para establecer en cada caso el diámetro del purgador a instalar, mostrados en la siguiente tabla:

DIÁMETRO COMERCIAL PURGADOR				
DN	PN	Qpurga	d	d
mm	bar	l/s	mm	conexión
160	12,5	1,01	0,80	5/34"
200	12,5	1,57	1,00	5/64"
250	12,5	2,45	1,25	5/64"
315	12,5	3,90	1,57	5/64"
400	12,5	6,28	1,99	1/4"
450	12,5	7,95	2,24	1/4"
450	10	7,95	2,46	1/4"
500	10	9,82	2,73	1/4"
600	10	14,14	2,99	1/4"
700	10	19,24	3,49	1/4"
800	10	25,13	3,99	1/4"
900	10	31,81	4,91	1/4"
1000	10	39,27	5,46	1/4"
1100	10	47,52	6,00	1/4"
1300	10	66,37	7,09	2x1/4"

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

DIÁMETRO COMERCIAL PURGADOR				
DN	PN	Qpurga	d	d
mm	bar	l/s	mm	conexión
1400	10	76,97	7,64	2x1/4"
1600	2,5	100,53	17,46	2x1/4"

Tabla 2.- Elección de la conexión comercial del purgador.

4.2 Dimensionamiento de ventosas de gran orificio

Como ya se ha mencionado en apartados anteriores, durante el proceso de llenado de la red debe permitirse la salida del aire para evitar sobrepresiones, mientras que durante el vaciado debe dejarse entrar el aire para evitar depresiones. Con este objetivo se instalan de manera estratégica las ventosas de gran orificio cuya funcionalidad fue descrita en el apartado n.º 3 de este anejo.

Tanto el llenado de la red como su vaciado son procesos que se llevan a cabo de manera normal con el trabajo de la red, por ejemplo: para llevar a cabo tareas de mantenimiento o a causa de la parada invernal en la que se realiza el drenaje de la red con el fin de evitar que el agua se congele en el interior de las tuberías y se produzcan depósitos de sedimentos. A parte de estas dos situaciones, puede darse un tercer caso en el cual se produce un vaciado de la tubería. Esta aparece como consecuencia de una rotura inesperada en la red. Es por ello por lo que en este apartado se analizarán por separado el dimensionado de las ventosas considerando las siguientes hipótesis de trabajo:

- Llenado de la tubería
- Vaciado de la tubería por los desagües
- Posible rotura de la tubería

4.2.1 Dimensionado de ventosas para la expulsión del aire (Fase de llenado de la red)

La operación de llenado de una conducción supone la expulsión del aire contenido en su interior a la atmósfera y su sustitución por agua, realizándose fundamentalmente a través de las ventosas distribuidas a lo largo de su trazado. Éstas deben estar colocadas en todos aquellos puntos donde pueda quedar aire atrapado durante el llenado, tal y como se describió en el apartado n.º 3.

Durante el proceso de llenado, el aire que ocupa la tubería debe ser evacuado a la atmósfera a medida que el agua avanza por el interior de la conducción. Esto debe hacerse de forma controlada y eficazmente para evitar sobrepresiones y golpes de ariete, de forma que el agua pueda llenar completamente la conducción sin dejar aire atrapado.

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

Si el orificio de salida de la ventosa es demasiado pequeño, la ventosa no será capaz de expulsar la cantidad suficiente de aire y éste se comprimirá dentro de la tubería, lo que daría lugar a importantes sobrepresiones las cuales pueden ser perjudiciales para la instalación. Por el contrario, si el orificio de la ventosa es demasiado grande, el aire se expulsa con mucha rapidez y, en consecuencia, la columna de agua alcanza una gran velocidad. Cuando el agua llega a la posición de la ventosa, el flotador de la ventosa cierra la salida del aire bruscamente generando un golpe de ariete pudiendo ser muy peligroso para la integridad de la instalación.

En consecuencia, la elección del tamaño de la ventosa a instalar para que el funcionamiento de la red durante el proceso de llenado sea el correcto, se realizará de forma que se permita la salida de aire, pero a su vez, se limitará la velocidad del agua a un valor que produzca un golpe de ariete aceptable cuando cierre la salida del aire. Se ha de determinar el caudal máximo de agua de llenado de tal manera que, al llegar el agua a la ventosa, el golpe de ariete producido por el cierre del orificio de salida del aire, y que se transmite a la tubería principal a través de la columna de agua que la ocupa, no origine en esta última una sobrepresión que pueda llegar a generar una rotura.

El caudal de llenado de la tubería (Q_{llenado}) será el correspondiente al obtenido para una velocidad de llenado de 0,40 m/s y, por lo tanto, será el mismo que el caudal volumétrico de aire evacuado en las condiciones del interior de la tubería, es decir, a una presión de expulsión (P_{exp}) del orden de 1,50 m.c.a. Las unidades de medida del caudal de aire de llenado se deberán transponer a las condiciones normales ($Q_{\text{aire atm}}$), puesto que es expulsado a la atmósfera donde la presión será la presión atmosférica $P_{\text{atm}} = 10,20$ m.c.a. Dicha presión se indica en las curvas de funcionamiento de las ventosas proporcionadas por los fabricantes. Se utilizará la siguiente expresión:

$$Q_{\text{aire atm}} = \frac{P_{\text{exp}}^* \cdot Q_{\text{llenado}}}{P_{\text{atm}}^*}$$

Donde:

- $Q_{\text{aire atm}}$ = caudal de aire que sale de la conducción a condiciones de presión atmosférica ($P_{\text{atm}} = 10,20$ m.c.a.)
- P_{exp}^* = presión del aire expulsado de la conducción durante el llenado de la tubería
- P_{atm}^* = presión del aire en condiciones atmosféricas
- P^* indica que se trata de una presión absoluta

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

Como criterio general, se establece que en los tubos de diámetro inferior o igual a DN 1200, se instalará una única ventosa, mientras que, para los tubos de DN superior a 1200 mm, en los puntos donde está previsto instalar una ventosa, se colocarán dos ventosas con conexión y funcionamiento paralelo como medida de seguridad. Cada una de ellas tendrá una capacidad de expulsión de aire del 60% de la capacidad de expulsión requerida ($Q_{\text{aire atm}}$) en ese punto. De esta forma, ante el fallo del funcionamiento del flotador de una de estas ventosas no supone la pérdida de la totalidad de capacidad de admisión/expulsión de aire.

El correcto funcionamiento de las ventosas, tal y como se ha descrito, se basa en la premisa de que el caudal de llenado de la conducción (Q_{llenado}) no supere los parámetros prefijados en el cálculo.

Para determinar el diámetro nominal de cada ventosa se deberá hacer uso de la información de catálogo proporcionado por los fabricantes en cada caso. De esta manera se toman los siguientes valores de referencia según catálogo comercial para una presión interna de 1,50 m.c.a.:

DN	Q_{aire}
mm	l/s
25	42
50	152
80	424
100	622
150	1.414
200	2.829

Tabla 3.- Diámetro nominal de las ventosas para la expulsión de aire según catálogo del fabricante.

En la siguiente tabla se recogen para cada diámetro de tubo a instalar y una velocidad de llenado de 0,40 m/s, los cálculos de: el caudal de llenado (Q_{llenado}) del tubo según la sección y la velocidad establecida, el caudal de aire de salida ($Q_{\text{expulsión}}$) correspondiente a cada ventosa y la transformación a caudal de aire ($Q_{\text{aire atm}}$) a expulsar de la conducción al exterior en condiciones de presión ambiental:

Dimensionado del DN ve las ventosas para la fase de llenado de la red								
DN tubería	v llenado	Q llenado	Q expulsión	P exp	P* atm	P*exp	Q aire atm	DN ventosa
mm	m/s	l/s	l/s	m.c.a.	m.c.a.	m.c.a.	l/s	mm
160	0,40	8,04	8,04	1,50	10,20	11,70	9,23	25
200	0,40	12,57	12,57	1,50	10,20	11,70	14,41	25
250	0,40	19,63	19,63	1,50	10,20	11,70	22,52	25
315	0,40	31,17	31,17	1,50	10,20	11,70	35,76	25
400	0,40	50,27	50,27	1,50	10,20	11,70	57,66	50
450	0,40	63,62	63,62	1,50	10,20	11,70	72,97	50

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

Dimensionado del DN ve las ventosas para la fase de llenado de la red								
DN tubería	v llenado	Q llenado	Q expulsión	P exp	P* atm	P*exp	Q aire atm	DN ventosa
mm	m/s	l/s	l/s	m.c.a.	m.c.a.	m.c.a.	l/s	mm
500	0,40	78,54	78,54	1,50	10,20	11,70	90,09	50
600	0,40	113,10	113,10	1,50	10,20	11,70	129,73	80
700	0,40	153,94	153,94	1,50	10,20	11,70	176,58	80
800	0,40	201,06	201,06	1,50	10,20	11,70	230,63	80
900	0,40	254,47	254,47	1,50	10,20	11,70	291,89	80
1000	0,40	314,16	314,16	1,50	10,20	11,70	360,36	80
1100	0,40	380,13	380,13	1,50	10,20	11,70	436,03	100
1200	0,40	452,39	452,39	1,50	10,20	11,70	518,92	100
1300	0,40	530,93	530,93	1,50	10,20	11,70	609,01	2x80
1400	0,40	615,75	615,75	1,50	10,20	11,70	706,30	2x80
1600	0,40	804,25	804,25	1,50	10,20	11,70	922,52	2x100

Tabla 4.- Dimensionado del DN de ventosas para expulsión del aire. Fase de llenado.

4.2.2 Dimensionado de la ventosa para la admisión del aire (Fase de vaciado de la red)

El problema de la admisión de aire en la fase de vaciado de la red presenta una compilación añadida puesto que, como se ha dicho en apartados anteriores, el vaciado de las conducciones puede darse a través de un proceso voluntario y de manera controlada, debido a una parada programada de la instalación o, por el contrario, de manera involuntaria al producirse una rotura en el sistema de conducciones.

En el caso de que la admisión de aire esté originada por una parada voluntaria de la instalación, el caudal de aire admitido estará controlado por la velocidad a la que se produce el vaciado de la conducción, por medio de la apertura de los correspondientes desagües dispuestos en puntos estratégicos de la red.

Por el contrario, si la admisión de aire está originada por una rotura de la conducción, el aire admitido depende de las características de dicha rotura. Este caso es el acontecimiento que genera mayores caudales y depresiones en la instalación y, por tanto, mayores problemas.

Por este motivo a continuación, se realiza el dimensionado de las ventosas en fase de admisión con dos hipótesis de trabajo:

- Vaciado de la conducción a través de los desagües
- Vaciado de la conducción como consecuencia de una rotura franca

Dimensionado de la ventosa en caso de vaciado controlado de la conducción

En este caso el vaciado se realiza a través de los desagües colocados en los puntos bajos del perfil junto con las ventosas de gran orificio localizadas en los puntos altos de la conducción para la admisión del aire.

Al abrirse una válvula de vaciado en el desagüe, aguas abajo de esta, la presión corresponde a la presión atmosférica de manera que, si en la tubería no se produjera la admisión de aire atmosférico, no sólo no se produciría el vaciado del agua contenida, sino que se generarían depresiones en la tubería las cuales podrían ocasionar su colapso.

Como consecuencia de lo expuesto, la operación de vaciado de la conducción exige la instalación de ventosas que permita la entrada del aire para llenar el vacío generado por la salida del agua evitando el colapso de la tubería.

El caudal de agua que es drenado de la conducción por las válvulas de vaciado de los desagües debe ser sustituido con igual un caudal de aire de igual dimensión introducido a través de las ventosas de gran orificio. Por ello, dimensionado de la ventosa de gran orificio para el vaciado de la conducción deberá realizarse de tal forma que la sección del orificio permita la entrada suficiente de aire de tal manera que no se produzca una depresión importante en el interior de la tubería.

Como premisa para el dimensionamiento de las ventosas en la fase de vaciado controlado de la conducción se establece que:

- La presión máxima de depresión tolerada por las tuberías afectadas por el vaciado del agua es de 3,50 m.c.a.
- En primer lugar, se calculará el caudal máximo que, por gravedad, puede fluir hacia la correspondiente válvula de vaciado completamente abierta.
- El caudal máximo de agua drenado deberá ser igual al caudal de aire que entra por todas las válvulas de admisión de aire que trabajen simultáneamente en el tramo estudiado.
- Para una serie de diámetros continuos de conducción se colocará el mismo diámetro de desagüe, por lo que el caudal que el caudal circulante por dichas conducciones será igual al que circula por la válvula del desagüe.
- La velocidad máxima del agua vaciada por los desagües se establece en 0,40 m/s.

El caudal de mencionado ha de ser determinado para condiciones normales con el fin de calcular el diámetro de la ventosa como ya se hizo en el apartado n.º 4.2.1, mediante la siguiente expresión:

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

$$Q_{aire\ atm} = \frac{P_{exp}^* \cdot Q_{llenado}}{P_{atm}^*}$$

Con respecto a la presión de admisión (P_{exp}^*) se estima una depresión máxima de 3,50 m.c.a. soportada por la tubería, resultando un valor absoluto de:

$$P_{adm}^* = -3,50\ m.c.a. + 10,20\ m.c.a. = 6,70\ m.c.a.$$

Con la diferencia de presión establecida (-3,50 m.c.a.) y con el caudal de aire que debe admitir la ventosa para sustituir el caudal de agua que es evacuado por la válvula de vaciado, se selecciona la ventosa más adecuada respecto a los datos que suministran los fabricantes.

De esta forma, haciendo uso de la información de un catálogo proporcionado por un fabricante de ventosas, para una presión interna de -3,50 m.c.a., se obtiene el diámetro nominal (DN) de la ventosa correspondiente:

DN	Q _{entrada}
mm	l/s
25	71
50	311
80	650
100	877
150	2.263
200	3.678
250	5.941
300	8.488
350	11.600
400	16.409

Tabla 5.- Diámetro nominal de ventosas para la admisión de aire según catálogo del fabricante.

En función de la sección de los desagües y del caudal de vaciado evacuado por estos dichos se elabora la siguiente tabla con el diámetro nominal de la ventosa para la admisión de aire para cada caso:

Dimensionado del DN ve las ventosas para la fase de vaciado de la red									
DN tubería	v vaciado	Q vaciado	DN desagüe	Q admisión	P exp	P* atm	P*exp	Q aire atm	DN ventosa
mm	m/s	l/s	mm	l/s	m.c.a.	m.c.a.	m.c.a.	l/s	mm
160	0,40	8,04	50	8,04	-3,50	10,20	6,70	5,28	25
200	0,40	12,57	50	12,57	-3,50	10,20	6,70	8,25	25
250	0,40	19,63	80	19,63	-3,50	10,20	6,70	12,90	25
315	0,40	31,17	100	31,17	-3,50	10,20	6,70	20,48	25
400	0,40	50,27	150	50,27	-3,50	10,20	6,70	33,02	25
450	0,40	63,62	150	63,62	-3,50	10,20	6,70	41,79	25

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

Dimensionado del DN ve las ventosas para la fase de vaciado de la red									
DN tubería	v vaciado	Q vaciado	DN desagüe	Q admisión	P exp	P* atm	P*exp	Q aire atm	DN ventosa
mm	m/s	l/s	mm	l/s	m.c.a.	m.c.a.	m.c.a.	l/s	mm
500	0,40	78,54	150	78,54	-3,50	10,20	6,70	51,59	25
600	0,40	113,10	200	113,10	-3,50	10,20	6,70	74,29	50
700	0,40	153,94	200	153,94	-3,50	10,20	6,70	101,12	50
800	0,40	201,06	200	201,06	-3,50	10,20	6,70	132,07	50
900	0,40	254,47	200	254,47	-3,50	10,20	6,70	167,15	50
1000	0,40	314,16	200	314,16	-3,50	10,20	6,70	206,36	50
1100	0,40	380,13	200	380,13	-3,50	10,20	6,70	249,70	50
1200	0,40	452,39	400	452,39	-3,50	10,20	6,70	297,16	50
1300	0,40	530,93	400	530,93	-3,50	10,20	6,70	348,75	2x50
1400	0,40	615,75	400	615,75	-3,50	10,20	6,70	404,46	2x50
1600	0,40	804,25	400	804,25	-3,50	10,20	6,70	528,28	2x50

Tabla 6.- Selección del DN de la ventosa por DN de tubería en fase de vaciado controlado.

Dimensionado de la ventosa en caso de vaciado por rotura franca de la conducción

En el caso de que se produjera una rotura franca en un punto de la instalación, se tiene en cuenta en el proceso de cálculo el total del caudal circulante por la conducción, siendo este el caudal necesario a admitir por la ventosa en el punto de la rotura.

A partir de la pendiente hidráulica disponible y de las características de la instalación, se puede determinar el caudal máximo que puede salir por la rotura a causa de la rotura.

Se emplea la fórmula de Hazen-Williams, con un coeficiente C_{H-W} en función del material de la tubería, siendo para el caso del PVC-O de 140. En dicha fórmula se aplica una mayoración de las pérdidas continuas en un 5% para tener en cuenta las pérdidas de carga singularidades, por lo que la expresión queda:

$$\Delta H = 1,05 \cdot \frac{10,62 \cdot L \cdot Q^{1,85}}{C_{HW}^{1,85} \cdot D^{4,87}}$$

Donde:

- Q: es el caudal de aire en la admisión durante el vaciado de la tubería (m³/s)
- L: es la longitud de la tubería (m)
- C_{H-W} : coeficiente de Hazen-William en función del tipo de material (PVC-O = 150)
- D: diámetro de la tubería (m)

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

Despejando en la fórmula, se obtiene el caudal de aire admitido por la ventosa:

$$Q_{aire}(m^3/s) = \sqrt[1,85]{\frac{\Delta H \cdot D^{4,87} \cdot C_{H-W}^{1,85}}{L \cdot 1,05 \cdot 10,62}}$$

El anterior caudal máximo es el que se considera como caudal máximo admitido por la ventosa (Q_{admin}) por encima del punto de rotura.

Esta metodología de cálculo presenta varios problemas:

- Establecer la pendiente hidráulica para introducir en la fórmula. Si se asume la máxima pendiente existente en toda la instalación, se estaría sobredimensionando las ventosas de todos los diámetros de tuberías y tramos de la red.
- El caudal de rotura es variable. Depende del punto de la red donde se produzca la rotura y del tipo, si es una rotura franca o parcial.

Por lo mencionado, se establece una pendiente media de cálculo para todas las tuberías de la red del 1,00% (0,01 m/m).

Este caudal hay que pasarlo a condiciones normales para determinar el diámetro de la ventosa como ya se ha hecho en apartados anteriores, mediante la siguiente expresión:

$$Q_{aire\ atm} = \frac{P_{exp}^* \cdot Q_{llenado}}{P_{atm}^*}$$

Con respecto a la presión de admisión (P_{exp}^*) se estima una depresión máxima de 3,50 m.c.a. soportada por la tubería, resultando un valor absoluto de:

$$P_{adm}^* = -3,50\ m.c.a. + 10,20\ m.c.a. = 6,70\ m.c.a.$$

Con la diferencia de presión establecida (-3,5 m.c.a.) y con el caudal de aire que debe admitir la ventosa para suplir el caudal de agua que sale por la rotura, se selecciona la ventosa más adecuada respecto a los datos que proporcionan los fabricantes.

A continuación, se elabora una tabla donde se indica, para cada diámetro de tubo y con las pendientes establecidas:

- El caudal estimado debido a una rotura franca del tubo correspondiente con la pendiente establecida
- Se estima el caudal como el 40% del caudal de rotura franca para las tuberías de diámetro mayor que 1.200 mm

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

- El caudal de admisión que le correspondería a la ventosa, siendo el 60% del caudal de vaciado para tubos de DN mayores o iguales de 1200 mm (ver apartado n.º 4.2.1) para cada ventosa.
- La transformación a caudal a admitir por la ventosa para la presión de -3,5 m.c.a.
- El diámetro de ventosa que le corresponde a cada tubo conforme a los datos proporcionados por los fabricantes
- En el caso de la tubería de abastecimiento del Sector II, DN 1600, al ser un tramo corto se ejecutará en hormigón postesado camisa de chapa, establecido como valor de caudal el 25 % del caudal de rotura franca.

DN tubería	Pendiente	Q rotura franca	% caudal de rotura franca	Q60% rotura DN> 1200	Qadm ventosa	Pexp	P*atm	P*exp	Q aire atm	DN ventosa
mm	m/m	l/s		l/s	l/s	m.c.a.	m.c.a.	m.c.a.	l/s	mm
160	0,01	27,15	100,00	27,15	27,15	-3,50	10,20	6,70	17,83	25
200	0,01	48,85	100,00	48,85	48,85	-3,50	10,20	6,70	32,09	25
250	0,01	87,90	100,00	87,90	87,90	-3,50	10,20	6,70	57,74	25
315	0,01	161,52	100,00	161,52	161,52	-3,50	10,20	6,70	106,10	50
400	0,01	302,93	100,00	302,93	302,93	-3,50	10,20	6,70	198,98	50
450	0,01	413,05	100,00	413,05	413,05	-3,50	10,20	6,70	271,32	50
500	0,01	545,07	100,00	545,07	545,07	-3,50	10,20	6,70	358,04	80
600	0,01	880,83	100,00	880,83	880,83	-3,50	10,20	6,70	578,59	80
700	0,01	1.321,68	100,00	1.321,68	1.321,68	-3,50	10,20	6,70	868,16	100
800	0,01	1.878,39	100,00	1.878,39	1.878,39	-3,50	10,20	6,70	1.233,84	150
900	0,01	2.561,19	100,00	2.561,19	2.561,19	-3,50	10,20	6,70	1.682,35	150
1000	0,01	3.379,83	100,00	3.379,83	3.379,83	-3,50	10,20	6,70	2.220,08	150
1100	0,01	4.343,68	100,00	4.343,68	4.343,68	-3,50	10,20	6,70	2.853,20	200
1200	0,01	5.461,78	100,00	5.461,78	5.461,78	-3,50	10,20	6,70	3.587,64	200
1300	0,01	6.742,84	60,00	4.045,70	4.045,70	-3,50	10,20	6,70	2.657,47	2x200
1400	0,01	8.195,34	60,00	4.917,20	4.917,20	-3,50	10,20	6,70	3.229,93	2x200
1600	0,01	11.647,34	25,00	2.911,83	2.911,83	-3,50	10,20	6,70	1.912,68	2x150

Tabla 7.- Selección del DN de la ventosa para cada DN de tubería en caso de rotura franca.

4.3 Resumen del dimensionamiento del purgador y ventosa

Como resumen se expone la metodología llevada a cabo en los apartados anteriores:

- Se ha determinado el diámetro de las ventosas a instalar para expulsar el aire durante la fase de llenado de la conducción. El caudal de llenado es aquel valor para el cual la velocidad del agua en la conducción principal sea de 0,40 m/s. Se escoge aquella ventosa capaz de expulsar el caudal necesario con la restricción de una tener presión máxima del aire en el interior de la tubería de 1,50 m.c.a.

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

- Se ha determinado el diámetro de la ventosa para la fase de vaciado controlado de la conducción mediante los correspondientes desagües, para un caudal de vaciado estimando una velocidad de vaciado máxima de 0,40 m/s y una depresión en el interior soportada por la tubería de -3,50 m.c.a.
- Se ha determinado el tamaño de la ventosa en caso de vaciado como consecuencia de una rotura franca y una depresión de -3,50 m.c.a. en el interior de la tubería.
- Una vez calculados los caudales de vaciado y de llenado de las conducciones se procede a dimensionar el DN de la ventosa en cada caso realizando la elección en base a la situación más desfavorable.
- Para evitar fallos por roturas recurrentes como consecuencia de posibles aumentos de velocidad en las conexiones, se establece como medida de seguridad que el diámetro mínimo para la ventosa más pequeña sea de 50 mm.

A continuación, se expone una tabla en la que se indican los tamaños de las ventosas que se han obtenido en los cálculos para las tres situaciones planteadas: fase de llenado de la conducción, fase de vaciado controlado y situación de vaciado debido a una rotura franca; señalando la última columna el diámetro de ventosa escogido teniendo como criterio el caso más desfavorable:

ELECCIÓN DEL DN DE LA VENTOSA EN BASE A LOS TRES CASOS				
DN tubería	DN llenado	DN vaciado	DN rotura	DN instalar
mm	mm	mm	mm	mm
160	25	25	25	50
200	25	25	25	50
250	25	25	25	50
315	25	25	50	50
400	50	25	50	50
450	50	25	50	50
500	50	25	80	80
600	50	50	80	80
700	80	50	100	100
800	80	50	150	150
900	80	50	150	150
1000	80	50	150	150
1100	100	50	200	200
1200	100	50	200	200
1300	2x80	2x50	2x200	2x200
1400	2x80	2x50	2x200	2x200
1600	2x100	2x50	2x150	2x150

Tabla 8.- Elección del DN de las ventosas para cada DN de tubería.

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

Finalmente se muestra una tabla resumen en la que se indican los caudales mínimos exigidos a la ventosa para la admisión y expulsión del aire, así como el DN escogido en base a la información proporcionada por los fabricantes. Además, para cada ventosa se asocia el tamaño del purgador, considerando el diámetro mínimo de purga que debe tener y el caudal de purga mínimo que requiere:

RESUMEN DE LOS PURGADORES Y VENTOSAS A INSTALAR PARA CADA DN DE TUBERÍA								
TUBERÍA			PURGADOR			VENTOSA		
MATERIAL	DN	PN	Qpurga	Diámetro mínimo orificio purga	Diámetro conexión purgador	Expulsión ($\Delta P = 1,50$ m.c.a.) Qexp	Admisión ($\Delta P = -3,50$ m.c.a.) Qadm	DN
	mm	bar	l/s	mm	"	l/s	l/s	mm
PVC-O	160	12,5	1,01	0,80	5/34"	9,23	5,28	50
PVC-O	200	12,5	1,57	1,00	5/64"	14,41	8,25	50
PVC-O	250	12,5	2,45	1,25	5/64"	22,52	12,90	50
PVC-O	315	12,5	3,90	1,57	5/64"	35,76	20,48	50
PVC-O	400	12,5	6,28	1,99	1/4"	57,66	33,02	50
PVC-O	450	12,5	7,95	2,24	1/4"	72,97	41,79	50
PRFV	450	10	7,95	2,46	1/4"	72,97	41,79	50
PRFV	500	10	9,82	2,73	1/4"	90,09	51,59	80
PRFV	600	10	14,14	2,99	1/4"	129,73	74,29	80
PRFV	700	10	19,24	3,49	1/4"	176,58	101,12	100
PRFV	800	10	25,13	3,99	1/4"	230,63	132,07	150
PRFV	900	10	31,81	4,91	1/4"	291,89	167,15	150
PRFV	1000	10	39,27	5,46	1/4"	360,36	206,36	150
PRFV	1100	10	47,52	6,00	1/4"	436,03	249,70	200
PRFV	1200	10	56,55	6,55	1/4"	518,92	297,16	200
PRFV	1300	10	66,37	7,09	2x1/4"	609,01	348,75	2x200
PRFV	1400	10	76,97	7,64	2x1/4"	706,30	404,46	2x200
HCCh	1600	2,5	100,53	17,46	2x1/4"	922,52	528,28	2x150

Tabla 9.- Resumen de los purgadores y ventosas a instalar.

4.4 Instalación

Las ventosas deben instalarse en lugares de fácil acceso que permitan su inspección y mantenimiento de forma sencilla. Para la correcta instalación de las ventosas se colocará una válvula de seccionamiento (de mariposa o compuerta) aguas arriba de esta y de diámetro nominal igual al de la ventosa. Esto permite realizar labores de mantenimiento o revisión con la instalación en servicio o permitir el seccionamiento de la ventosa en caso de que se produjera una avería con la consiguiente fuga de agua.

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

Lógicamente, las ventosas deben situarse siempre en posición vertical y en la parte superior de la tubería. Cuando la localización de la ventosa está próxima a un hidrante se instalarán ambos elementos conjuntamente, instalándose directamente en el tramo vertical recto con objeto de permitir una correcta salida del aire.

Las ventosas se alojarán en arquetas prefabricadas o fabricadas *in situ*, según el caso, convenientemente ventiladas evitando así problemas de contrapresiones, es decir, depresiones o sobrepresiones cuando se encuentre admitiendo o expulsando aire.

En relación con la conexión de la ventosa con la conducción donde se inserta, la ventosa deberá conectarse a la tubería a través de una derivación en “T” del mismo diámetro que la tubería principal y con diámetro de salida vertical igual al indicado en la siguiente tabla:

DN tubería	DN salida vertical
mm	mm
160	50
200	50
250	50
315	50
400	50
450	50
500	80
600	80
700	100
800	150
900	150
1000	150
1100	200
1200	200
1300	500
1400	500
1600	400

Tabla 10.- DN de la salida vertical para conexión de la ventosa y al tubería.

Finalmente, se realiza el tramo vertical en una pieza de reducción que discurre entre la salida vertical y con diámetro según el indicado en la tabla anterior hasta alcanzar la ventosa y que terminará con un diámetro de brida igual a ésta. El tramo vertical, de altura variable según cada caso en particular, se realizará en calderería de acero de calidad S-235-JR.

4.5 Mantenimiento

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

Puesto que las ventosas se consideran como equipo de funcionamiento automático, requieren un mantenimiento e inspección periódica.

Dicho mantenimiento consiste en:

- Limpieza de las partes internas
- comprobación del correcto estado del flotador y de las juntas de cierre
- Comprobación del estado de los orificios de entrada y salida
- Verificación de que los orificios no se encuentran obstruidos

La falta o ausencia total de mantenimiento puede originar problemas tales como la rigidez de las partes móviles o la adherencia del flotador en posición de cierre de la ventosa. Esto puede originar que la ventosa no abra tras un largo periodo de tiempo en el que haya permanecido cerrada o que, durante el proceso de llenado, la ventosa no cierre en el momento adecuado originando una importante salida de agua a través de esta.

5 DISEÑO DE LOS DESAGÜES. VACIADO DE LA RED

Los desagües se instalan en los puntos bajos de la red según los perfiles del trazado, vertiendo el agua a la red de avenimiento natural de la zona en aquellas situaciones en las que es necesario vaciar las conducciones.

Estos desagües permiten realizar el vaciado de la red en invierno para que no se quede el agua congelada en el interior de las conducciones y pueda producir daños en las instalaciones, así como permitir el drenaje de sólidos y sedimentos que se hayan introducido en su interior tras el montaje o la reparación de una rotura, evitando que pasen a la red de riego y dañen alguno de sus elementos.

En síntesis, un desagüe no es más que una derivación de la tubería principal situada en los puntos bajos de la red en donde se instalará una válvula de seccionamiento sobre la que se opera cuando se desea vaciar la tubería. La derivación de la tubería principal se realiza con una pieza en "T", siendo la válvula de cierre que acciona el desagüe de tipo compuerta, ya que, al ser una válvula de paso total, los sólidos de dimensiones importantes (piedras, troncos, etc.) podrán pasar con mayor facilidad.

En general, la instalación de este tipo de válvulas será enterrada, donde se accede al mecanismo de maniobra que acciona la válvula a través de un alargador o prolongador metálico. Éste queda protegido por una camisa de fundición o con funda de plástico, ubicando en la superficie una boca de llave en "T" de reducidas dimensiones que irá alojada en una arqueta prefabricada de hormigón.

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

El montaje de las válvulas de seccionamiento con el tubo se realiza intercalando un carrete liso de anclaje aguas abajo de esta, disponiendo de los correspondientes macizos de anclaje que soportan los esfuerzos transmitidos por la válvula cuando esté en posición cerrada. El cálculo del anclaje se ha realizado en su anejo correspondiente.

Aguas debajo de la válvula a maniobrar, se instala un tramo de tubo hasta el punto de vertido deseado, normalmente este se encontrará en la red de drenaje natural de la zona, donde el terreno que recibe el chorro de agua se protege con encachado de piedra u hormigón en masa. Este tramo de tubo genera un cierto grado de contrapresión a la salida de la válvula, antes de la descarga a la atmósfera, lo que hace que el funcionamiento de la válvula se aleje de las condiciones de cavitación.

Asimismo, el último tramo de la tubería de vertido también se protegerá con una camisa de tubo de hormigón o de fundición de mayor diámetro, con objeto de que no se dañe la tubería del desagüe por las quemas de maleza o las limpiezas que se suelen llevar a cabo en la red de drenaje natural.

Es necesario tener en cuenta que cuando una válvula está cerrada y la instalación se encuentra fuera de funcionamiento, aguas arriba de la válvula se tendrá la presión estática de la red, mientras que aguas debajo de esta se tendrá la presión atmosférica en el punto de descarga. Esta diferencia de presiones, si es elevada, puede impedir la apertura de la válvula y, si se aumenta el par de apertura aplicado, puede llegar incluso a romper el eje de accionamiento. Por este motivo, para poder abrir una determinada válvula de vaciado y con el fin de limitar el par de apertura a aplicar en el eje de accionamiento, se establece que la presión en el interior de la tubería aguas arriba de la válvula en el momento de abrirla no deberá ser mayor de 40 m.c.a. Así la diferencia de cota entre dos válvulas de vaciado contiguas se recomienda que no sea superior a los 40 m.

Para determinar el diámetro nominal (DN) de la válvula, será necesario tener en cuenta que la velocidad del agua no deberá ser superior a 6,00 m/s, valor de velocidad de referencia que los fabricantes aconsejan no superar para evitar vibraciones y problemas mecánicos. En el resto del sistema de desagüe (tubería de descarga para conducir el agua hasta su punto de vertido), la velocidad del agua debería estar limitada a un valor máximo del orden de 5,00 m/s, para evitar la proyección excesiva del agua por la boca de salida y poner en riesgo la estructura del punto de vertido.

En la siguiente tabla se muestra el caudal máximo de vaciado condicionado por la velocidad máxima en la válvula del desagüe:

DN válvula desagüe	v	A desagüe	Q desagüe
mm	m/s	m ²	l/s
50	6,00	0,00196	11,78
80	6,00	0,00503	30,16
100	6,00	0,00785	47,12
150	6,00	0,01767	106,03
200	6,00	0,03142	188,50
250	6,00	0,04909	294,52
400	6,00	0,12566	753,98
450	6,00	0,15904	954,26
500	6,00	0,19635	1.178,10

Tabla 11.- Caudal de desagüe para cada DN.

Hay que tener en cuenta que las válvulas de desagüe de tamaño 400 y 500 mm arrojan un caudal considerable según la tabla anterior, por lo que habrá que estudiar si este caudal es capaz de absorberlo el sistema de drenaje natural al cual va destinado. Si el sistema no es capaz de recibir estos caudales, se colocará una válvula de diámetro menor, con lo que el tiempo de desagüe del tramo considerado será mayor.

El siguiente paso consiste en establecer el rango de diámetros de la tubería principal que abarca cada válvula de desagüe. Las recomendaciones usuales suelen orientarse a limitar la velocidad máxima en la tubería principal a un valor de 0,40 m/s en la operación de vaciado controlado (el dimensionado de las ventosas en el caso de desagüe se ha realizado con esta velocidad), resultando una relación entre el diámetro de la tubería principal y el diámetro de la válvula de desagüe aproximado de 4.

De esta manera establecemos una relación de diámetros entre ambos elementos (diámetro del tubo y del desagüe), teniendo en cuenta las limitaciones de velocidad tanto en la válvula de desagüe como en la principal.

DN tubería	v vaciado	Q vaciado tubería	DN desagüe
mm	m/s	l/s	mm
160	0,40	8,04	50
200	0,40	12,57	50
250	0,40	19,63	80
315	0,40	31,17	100
400	0,40	50,27	150
450	0,40	63,62	150
500	0,40	78,54	150

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

DN tubería	v vaciado	Q vaciado tubería	DN desagüe
mm	m/s	l/s	mm
600	0,40	113,10	200
700	0,40	153,94	200
800	0,40	201,06	250
900	0,40	254,47	250
1000	0,40	314,16	400
1100	0,40	380,13	400
1200	0,40	452,39	400
1300	0,40	530,93	400
1400	0,40	615,75	400
1600	0,40	804,25	400

Tabla 12.- Dimensionamiento del DN del desagüe para cada DN de tubería.

Al limitar el caudal del desagüe para no tener una velocidad excesiva en la válvula de desagüe, la velocidad en la tubería principal, de mucho mayor diámetro, es muy pequeña, con lo que las pérdidas de carga en ésta son prácticamente despreciables. Así pues, prácticamente disponemos a la entrada de la válvula de desagüe, de la presión estática en ese punto, diferencia entre la cota de la lámina de agua en los ramales y la del punto en el que se encuentra la válvula de desagüe.

Para conocer el rango de caudales que se vierten por el desagüe, empleamos la fórmula de salida de agua por un orificio, que viene dada por la siguiente expresión:

$$Q_{drenaje} = C_d \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

Donde:

- D: diámetro de la válvula de desagüe (m)
- C_d : coeficiente de descarga ideal, de valor 0,6
- g: aceleración de la gravedad (9,81 m/s)
- Δh : diferencia de cota entre los dos puntos entre los cuales se efectúa el vaciado (m)

Si adoptamos la velocidad máxima de 6,00 m/s en la válvula del desagüe por las razones anteriormente expuestas, podemos calcular el desnivel máximo que podemos tener con la válvula totalmente abierta, resultando un valor de 5,10 m tal y como se muestra en la siguiente tabla:

ANEJO 08.- CÁLCULO DE VENTOSAS

DN válvula	v	A desagüe	Q desagüe	Δh
mm	m/s	m ²	l/s	m
50	6,00	0,00196	11,78	5,10
80	6,00	0,00503	30,16	5,10
100	6,00	0,00785	47,12	5,10
150	6,00	0,01767	106,03	5,10
200	6,00	0,03142	188,50	5,10
250	6,00	0,04909	294,52	5,10
400	6,00	0,12566	753,98	5,10
450	6,00	0,15904	954,26	5,10
500	6,00	0,19635	1178,10	5,10

Tabla 13.- Máximo desnivel de la conducción con la válvula de desagüe totalmente abierta.

Para alturas mayores de carga hidráulica se recomienda estrangular la válvula de vaciado para que no esté totalmente abierta, puesto que el caudal será mucho mayor al diseñado en la admisión de aire de la ventosa durante el proceso de vaciado controlado.

Los desagües carentes de salida a cauce o desagüe, por no disponer de diferencia de cota sufriente o carecer de un punto perteneciente a una red de desagües naturales, así como los finales de ramal, se diseña a tal fin un desagüe que evacua a un pozo de registro, tal como se refleja en el plano correspondiente.