ANEJO Nº 10: DISEÑO DE VENTOSAS Y DESAGÜES

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN 1

2 CLASIFICACIÓN DE LAS VENTOSAS A INSTALAR 2

3 LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN DE LAS VENTOSAS 3

4 DIMENSIONAMIENTO 5

4.1 DIMENSIONADO DE VENTOSAS DE GRAN ORIFICIO 6

4.1.1 Dimensionado de la ventosa para el llenado de la conducción (fase de expulsión) 6

4.1.2 Dimensionado de la ventosa para el vaciado de la conducción (fase de admisión) 8

4.1.3 Dimensionado de la ventosa por vaciado controlado de la conducción 8

4.1.4 Dimensionado de la ventosa por rotura de la conducción 10

5 INSTALACIÓN 13

6 MANTENIMIENTO 13

7 DISEÑO DE LOS DESAGÜES. VACIADO DE LA RED 15

8 GOLPE DE ARIETE 18

APÉNDICE Nº 1: LISTADO DE VENTOSAS DE LA RED DE RIEGO 20

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CAUDAL DE EXPULSIÓN 8
TABLA 2. CAUDAL DE ADMISIÓN 9
TABLA 3. SALIDA VERTICAL EN FUNCIÓN DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA 13
TABLA 4. DIÁMETRO Y UBICACIÓN DE LOS DESAGÜES EN LA RED 16

1 INTRODUCCIÓN

En toda instalación que conduce agua se da una interacción entre agua y aire, lo cual puede resultar perjudicial para el conjunto de la red y de las bombas si no se controla adecuadamente. Pero en ocasiones, la interacción entre ambos es necesaria. Cuando se realiza un llenado o se produce un vaciado, las tuberías tienen que ser capaces de que el agua que entra o sale del sistema, sea expulsado o sustituido por aire.

En toda red de distribución de agua es fácil la operación de vaciarla, pero se complica el llenado, sobre todo si, como exige el mejor servicio posible de los regantes tras alguna incidencia o inicio de operativa de riego, debe realizarse en el menor tiempo posible que puede dar lugar a vibraciones y golpes de ariete, que ocasionan cuando menos fatigas al material de las tuberías, y muy frecuentemente, roturas importantes.

Un exceso de aire en las conducciones provoca una reducción de la sección de paso del tubo, y esto deriva en una reducción de la capacidad de transporte con el consecuente incremento de las pérdidas de carga en la tubería. Este exceso de aire puede originar presiones muy elevadas, que llegan en algunas ocasiones a producir la rotura de la instalación.

También relacionado con la presencia de aire en las tuberías, en algunas ocasiones se pueden producir situaciones en los que el aire no pueda entrar en el sistema mientras se está produciendo el vaciado (situaciones controladas: limpieza, mantenimiento, reparaciones; situaciones incontroladas: roturas), lo que provoca un vacío cuyo resultado puede ser el colapso y aplastamiento de las tuberías.

El aire, tanto disuelto en el agua que se encuentra en el interior de la tubería como el que puede entrar en el sistema desde el exterior o quedar atrapado en el interior (procesos de llenado y vaciado de la conducción, puesta en funcionamiento o interrupción temporal, etc.) o accidentales (aspiración de las bombas, roturas, liberación de aire disuelto al reducirse la presión, etc.), conlleva una serie de problemas que deben de evitarse: roturas de tubería, consumo excesivo, ruidos y vibraciones en las conducciones, caudales más bajos que 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 elemento, malas mediciones, etc.

La minimización de estos efectos, o su eliminación total requiere el correcto control de acceso y la garantía de eliminación del aire de las tuberías, mediante la instalación en el sistema con dos objetivos claves:

- Ventilación del sistema

- Protección frente a un posible golpe de ariete.

Dentro de la ventilación del sistema, las ventosas tienen básicamente dos funciones:

- Permitir la salida del aire durante el llenado de la tubería
- Permitir la entrada de aire en la tubería durante el vaciado o ante una posible rotura de la misma
- Permitir la expulsión del aire liberado durante el funcionamiento normal del sistema, impidiendo que el mismo se acumule en determinadas zonas de la instalación

La ventosa como elemento de protección frente al golpe de ariete, la función principal de la ventosa es:

- Evitar las depresiones durante los transitorios que, en caso de ser muy importantes, pueden provocar el colapso de la tubería.

Un diseño erróneo, una selección incorrecta o un funcionamiento incorrecto pueden causar los problemas antes enumerados, y que con la disposición de las ventosas se daban por resueltos.

2 CLASIFICACIÓN DE LAS VENTOSAS A INSTALAR

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 dos tipos:

Purgador, ventosa de efecto automático, de pequeño orificio o de alta presión

Los purgadores son sistemas hidromecánicos que evacuan de forma automática pequeñas bolsas de aire disuelto 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 1,5 y 12,5 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 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, de gran orificio, doble propósito, doble efecto, bifuncional o de baja presión

Las ventosas de gran orificio se caracterizan por tener orificios tanto de entrada como de salida para el aire de tamaño grande (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 de efecto automático y las de efecto cinético, actuando en tres momentos diferentes durante el funcionamiento de la instalación: evacuando el aire de las tuberías en el momento de llenado, purgando pequeñas cantidades de aire cuando la red está presurizada y permitiendo la entrada de aire en el momento de la descarga.

Tras esta exposición del tipo de ventosas existentes en el mercado, se adopta en este proyecto que las ventosas que se instalen en la red de riego o en la impulsión a fin de controlar tanto los procesos de entrada y salida del aire como la purga del sistema cuando esté en servicio sean trifuncionales.

3 LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN DE LAS VENTOSAS

La correcta ubicación de las ventosas es de fundamental importancia, pues repercutirá directamente en la eficiencia de operación de éstas y de la conducción en su conjunto. La localización de las ventosas se realiza en función del perfil longitudinal que presenta la instalación, donde se representa los puntos altos y bajos de la conducción.

Por ello, a los efectos de asegurar un transporte adecuado del aire y permitir la acumulación de éste en los puntos altos para su eliminación por medio de las ventosas, así como facilitar el arrastre de los sedimentos hacia los puntos bajos para su posterior eliminación por los desagües, los

perfiles longitudinales de los ramales se proyectan teniendo presente los problemas de la admisión y expulsión de aire ya comentados en el punto anterior.

De esta forma deben evitarse los tramos horizontales, adoptando en lo posible un perfil quebrado o en "diente de sierra" en aquellos ramales de longitud suficiente, con puntos altos y bajos, otorgando una pendiente más pronunciada a los tramos descendentes, a los efectos de facilitar el ascenso del aire hasta el punto alto, ya que dicho ascenso se ve dificultado debido a que debe hacerse en sentido opuesto a la dirección del flujo. Por este motivo se proyectan las pendientes ascendentes para que no sean menores del 0,2% y las descendentes no sean inferiores al 0,4%.

Se instalan ventosas trifuncionales en todos los puntos altos, mientras que en los puntos bajos se colocan los desagües.

Un error frecuente constituye el suponer que la ubicación de las ventosas debe limitarse a los puntos altos de la conducción, pudiendo conducir este criterio a la ruina de la instalación. Por ello, no se debe limitar a colocar ventosas sólo en los puntos altos, sino que también se estudia la necesidad de colocarlas en otros puntos del sistema, según 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 iguales, del orden de 500 a 700 metros entre ellas.
- 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 empiezan con pendiente descendente y tengan una longitud considerable.
- Al final de los ramales que terminan con pendiente ascendente y tengan una longitud considerable.
- 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.
- 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.

Resumiendo, en todos aquellos puntos de la instalación que sean susceptibles de almacenar aire se han colocado ventosas para su eliminación evitando así una potencial fuente de problemas.

4 DIMENSIONAMIENTO

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 la misma 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:

- 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.

Como puede deducirse, las prestaciones exigidas durante el transitorio a las ventosas pueden ser incompatibles con las exigidas durante el normal funcionamiento, por lo que se deberá estudiar cada caso para evitar consecuencias negativas por una inadecuada selección. Por este motivo a continuación se detalla cómo se dimensionan 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).

Se proyecta la instalación de ventosas trifuncionales de construcción simple y compacta de un solo cuerpo fabricada en fundición dúctil (ASTM A536 GR. 65-45-12/EN-GJS 450-10 DIN EN1563) y con un revestimiento de pintura epoxy endurecida al horno con un espesor mínimo de 250 micras y una protección exterior con una capa de poliéster adicional para su protección frente a los rayos

ultra violeta, para expulsar grandes cantidades de aire durante la fase de llenado de la tubería, aliviar eficazmente bolsas de aire que puedan acumularse cuando la tubería está presurizada y admitir un gran volumen de aire durante el drenaje controlado de la red o en situaciones accidentales que generen condiciones de vacío que pueden ocasionar el colapso de la conducción.

Las ventosas a instalar en el proyecto **cumplen con las siguientes normas**:

- Diseño en cumplimiento con la normativa UNE-EN-1074-4:2000 y AWWA C-512.
- Certificada para uso en agua potable por WRAS, NSF, AS 4956 y NSF/ANSI 60/ 61.

4.1 DIMENSIONADO DE VENTOSAS DE GRAN ORIFICIO

El llenado y vaciado de las conducciones son operaciones habituales que se repiten periódicamente y que deben estar previstas en la etapa del diseño de las ventosas para evitar problemas posteriores. Durante el proceso de llenado debe permitirse la salida del aire para evitar sobrepresiones y durante el vaciado debe dejarse entrar el aire para evitar depresiones.

Puesto que tanto el llenado de la tubería como el vaciado por los desagües es una acción controlada, la situación más peligrosa es un vaciado no controlado provocado por la rotura de la tubería. Por ello, se analizará 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

4.1.1 Dimensionado de la ventosa para el llenado de la conducción (fase de expulsión)

La operación de llenado de una conducción supone la expulsión del aire a la atmósfera y su sustitución por agua, produciéndose 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 (véase apartados anteriores).

El dimensionado correcto de la ventosa en la fase de expulsión de forma cualitativa es muy sencillo de entender. 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 controlada y eficazmente para evitar sobrepresiones y golpes de ariete, de forma que el agua pueda llenar completamente la conducción sin dejar aire atrapado.

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 dando lugar a

importantes sobrepresiones que pueden ser perjudiciales para la instalación. Por el contrario, si el orifico 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 cierra ésta bruscamente generando un golpe de ariete que puede ser muy peligroso.

En consecuencia, la elección del tamaño de la ventosa a colocar para que el funcionamiento durante el proceso de llenado sea el correcto se realizará con sumo cuidado, de forma que se permita la salida del aire, pero limitando la velocidad del agua a un valor que produzca un golpe de ariete aceptable cuando cierre.

Se trata, pues, de determinar el caudal máximo de agua de llenado tal que, al llegar el agua a la ventosa y cerrase ésta, el golpe de ariete producido por este cierre en la tubería de conexión, y que se transmite a la tubería principal a través de la columna de agua que la llena, no origine en esta última una sobrepresión que pueda llegar a romperla.

El caudal de llenado de la tubería (Q_{ll}) será el correspondiente al de una velocidad de llenado de 0,3 m/s y, por lo tanto, será el mismo que el caudal volumétrico de aire evacuado en las condiciones del interior de la tubería, o sea, a la presión P_{exp} del orden de 1,5 m.c.a. Este caudal de aire se deberá pasar a condiciones normales, $Q_{aire\ atm}$, evidentemente a presión atmosférica P_{atm}, que es el que se indica en las curvas de funcionamiento de las ventosas dadas por los fabricantes. Se utilizará la siguiente expresión:

$$Q_{aire\ atm} = \frac{P^*_{exp} \cdot Q_{ll}}{P^*_{atm}}$$

donde P* indica presión absoluta.

En los tubos hasta diámetro nominal 800 (inclusive) se instalará una única ventosa y para diámetros mayores, en los puntos donde está previsto instalar una ventosa en realidad se colocarán dos en paralelo por seguridad, cada una de ellas con una capacidad de expulsión de aire del 60% de la capacidad de expulsión ($Q_{aire\ atm}$) requerida en ese punto. De esta forma, el agarrotamiento de una de ellas no supone perder la totalidad de capacidad de admisión/expulsión.

Todo lo anterior está condicionado a mantener un caudal de agua de llenado (Q_{ll}) que nunca supere los valores considerados. Ello puede realizarse de forma controlada mediante la estrangulación del flujo del agua con una válvula manual situada al principio de la tubería (a la salida de la bomba o de la balsa).

Para determinar el diámetro nominal de la ventosa se deberá hacer uso de la información de catálogo dada por los fabricantes. Así, tomamos los siguientes valores de un fabricante para una presión interna de 1,5 m.c.a.

Tabla 1. Caudal de expulsión

DN Ventosa	Pulgadas	Caudal de expulsión min. a 1.5 m.c.a. de presión diferencial (Nm^3/h)
50 mm	2"	700
80 mm	3"	2.000
100 mm	4"	3.100
150 mm	6"	6.200
200 mm	8"	12.500

La ventosa seleccionada es capaz de expulsar 60 % de caudal de llenado de la tubería.

4.1.2 Dimensionado de la ventosa para el vaciado de la conducción (fase de admisión)

El problema de la admisión de aire en las ventosas es ligeramente más complejo que el de llenado. La razón radica en que dicho proceso de vaciado puede acontecer de manera programada, debido a una parada proyectada de la instalación, o de manera involuntaria al producirse una determinada rotura en el sistema.

En el caso de que la admisión de aire esté originada por una parada voluntaria de la instalación, el caudal de aire admitido está controlado por la velocidad a la que se produce el vaciado de la conducción, mediante los correspondientes desagües.

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

A continuación, se realiza el dimensionado de las ventosas en fase de admisión con dos hipótesis de trabajo: vaciado de la conducción por los desagües y rotura franca.

4.1.3 Dimensionado de la ventosa por vaciado controlado de la conducción

En cuanto a la operación de vaciado de una conducción, ésta se realiza mediante los desagües colocados en los puntos bajos del perfil junto con las ventosas de gran orificio localizadas en los puntos altos de la conducción.

Al abrirse una válvula de vaciado, aguas abajo de la misma se tiene la presión atmosférica y, si en la tubería no se admitiese aire atmosférico, ésta, no sólo no se vaciaría completamente, sino que se generarían depresiones en la tubería que podrían ocasionar el colapso de la misma.

Por este motivo, la operación de vaciado de la conducción exige la colocación de ventosas que permita la entrada del aire para llenar el vacío dejado por el agua y evitar la separación de la columna líquida, la cual puede dar lugar a la formación de depresiones que podrían ser tan dañina como la sobrepresión, produciendo el colapso de la tubería. Lógicamente, el caudal de agua que sale por las válvulas de vaciado debe ser repuesto con idéntico caudal de aire entrando a través de las ventosas de gran orificio.

Así pues, el dimensionado de la ventosa de gran orificio para el vaciado de la conducción deberá realizarse de tal forma que el orificio permita la entrada suficiente de aire para que no se produzca una depresión importante en el interior de la tubería.

Para dimensionar las ventosas de admisión de aire es necesario conocer cuáles son las depresiones máximas que puede soportar la tubería afectada por el vaciado en cada tramo. Como dato razonable, a priori, se elige 3,5 m.c.a. de depresión máxima admisible.

Respecto al caudal de diseño en la operación de vaciado, es conveniente calcular el caudal máximo que, por gravedad, puede fluir hacia la correspondiente válvula de vaciado completamente abierta. Este caudal máximo de agua deberá ser igual al caudal de aire que entra por todas las válvulas de admisión de aire que trabajen simultáneamente en el tramo en cuestión.

El caudal de vaciado de la conducción principal se obtiene con una velocidad de vaciado máxima de 0,6 m/s.

Este caudal hay que pasarlo a condiciones normales para determinar el diámetro de la ventosa, mediante la siguiente expresión:

$$Q_{\text{aire atm}} = \frac{P^*_{\text{adm}} \cdot Q_{adm}}{P^*_{atm}}$$

donde P* indica presión absoluta. Respecto a la presión de admisión (P^*_{adm}), se estima una máxima depresión de 3,5 m.c.a. que puede aguantar la tubería, resultando un valor absoluto de:

P^*_{adm} = -3,5 + 10 = 6,5 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 válvula de vaciado, se selecciona la ventosa más adecuada respecto a los datos que suministra los fabricantes.

De esta forma, haciendo uso de la información de un catálogo facilitada por un fabricante de ventosas para una presión interna de -3,5 m.c.a., se obtiene el diámetro nominal de ventosa correspondiente.

Tabla 2. Caudal de admisión

DN Ventosa	Pulgadas	Caudal de admisión min. a 3.5 m.c.a. de presión diferencial (Nm^3/h)
50 mm	2"	850
80 mm	3"	1.950
100 mm	4"	3.100
150 mm	6"	6.900
200 mm	8"	12.300

Naturalmente, la propia válvula de vaciado debe dimensionarse de acuerdo con la carga hidrostática que actúa sobre ella, pero de tal forma que no descargue caudales demasiados elevados, lo cual obligaría a disponer de ventosas con una capacidad de admisión desmesurada.

4.1.4 Dimensionado de la ventosa por rotura de la conducción

En el caso de suponer una rotura franca de la instalación, se dispone de la totalidad de carga entre la ventosa y el punto de la rotura como energía disponible. En este caso, a partir de la pendiente hidráulica disponible y de las características de la instalación puede determinarse el caudal máximo que puede salir por rotura utilizando cualquiera de las fórmulas comunes.

Se emplea la fórmula de Hazen-Williams, con un coeficiente C del material de 140 y mayorando las pérdidas continuas un 5% para tener en cuenta las singularidades.

$$\Delta H = 1{,}05 \times \frac{10{,}62 \times L \times Q^{1{,}85}}{140^{1{,}85} \times D^{4{,}87}} \Rightarrow \quad Q_{aire}(m^3/s) = 38 \times \sqrt[1{,}85]{\frac{\Delta H}{L} \times D(m)^{4{,}87}}$$

$$Q_{aire}(l/s) = 38.000 \cdot \sqrt[1{,}85]{Pendiente \times D(m)^{4{,}87}}$$

Dicho caudal máximo es el que se adopta como caudal máximo de aire admitido (Q_{adm}) por la ventosa por encima del punto de rotura.

El principal inconveniente que se presenta a la hora de realizar el cálculo del caudal de rotura es, establecer la pendiente hidráulica que hay que fijar en la fórmula, pues si asumimos la máxima pendiente existente en toda la instalación, estaríamos sobredimensionando todas las ventosas para todos los diámetros de tuberías y en todos los tramos de la red.

Además, el caudal de rotura depende en dónde se produzca la rotura y del tipo de rotura (franca o parcial), ya que el caudal que arroja un tubo de un mismo diámetro varía si desde el punto

de carga de la instalación (la balsa o el bombeo) hasta el punto de rotura existe mucha o poca distancia.

Dicho esto, se ha establecido una pendiente media para todas las tuberías del 1% (0,01 m/m).

Otro inconveniente que presenta la estimación del caudal máximo admitido mediante la expresión anterior es que los valores que se obtienen normalmente son muy elevados.

Este caudal hay que pasarlo a condiciones normales para determinar el diámetro de la ventosa, mediante la siguiente expresión:

$$Q_{\text{aire atm}} = \frac{P^*_{\text{adm}} \cdot Q_{adm}}{P^*_{atm}}$$

donde P* indica presión absoluta. Respecto a la presión de admisión (P*adm), se estima una máxima depresión de -3,5 m.c.a. que puede aguantar la tubería, resultando un valor absoluto de:

P^*_{adm} = -3,5 + 10 = 6,5 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 suministran los fabricantes.

A continuación elaboramos una tabla donde se indica, para cada diámetro de tubo y con las pendientes establecidas, el caudal por rotura franca del tubo que le corresponde con esta pendiente, el caudal adoptado como el 40 % del caudal de rotura franca para las tuberías de diámetro mayor o igual que 900 mm, el caudal de admisión que le correspondería a la ventosa (60 % del caudal de vaciado para tubos mayores o iguales de 900 mm) y la transformación a caudal a admitir por la ventosa para la presión de -3,5 m.c.a. Finalmente y conforme a los datos suministrados por el fabricante (misma tabla que para el vaciado por desagüe), se indica el diámetro de ventosa que le corresponde a cada tubo.

Como resumen de lo expuesto anteriormente, la metodología de cálculo a seguir es:

- Determinar el diámetro de las ventosas a colocar para expulsar el aire durante el llenado de la conducción. El caudal de llenado es el valor que hace que la velocidad del agua en la conducción principal sea de 0,3 m/s; y elegir la ventosa más adecuada para que expulse el caudal necesario con la restricción de tener una presión máxima del aire en el interior de la tubería (en contacto con la ventosa) de 1,5 m.c.a.

- Determinar el diámetro de la ventosa para el vaciado controlado de la conducción mediante los correspondientes desagües, para un caudal de vaciado de la conducción principal obtenido con una velocidad de vaciado máxima de 0,6 m/s y una depresión en el interior de la tubería de -3,5 m.c.a.
- Determinar el tamaño de la ventosa para el vaciado por rotura y una depresión de -3,5 m.c.a. en el interior de la tubería.
- Calculados los caudales de vaciado y llenado se dimensiona la ventosa en cada caso y se escoge el diámetro nominal de la ventosa en el caso más desfavorable.

A continuación, se presenta un listado de la tipología de ventosas propuestas, recogidas e identificada en la partida presupuestaria correspondiente (Capítulo CR CV FS1 Red de Riego SEIASA, Subcapítulo CV FS1.4 Ventosas):

- IR-1"-C30-00-C-S-BP-PG-WD o similar
- IR-2"-C30-00-C-S-BP-PG-WD o similar
- IR-2"-C30-SP-C-S-BP-PG-WD o similar
- WW-2"-C70-00-C-M-16-PG o similar
- WW-2"-C70-SP-C-M-16-PG o similar
- WW-3"-C70-00-C-M-16-PG o similar
- WW-4"-C70-00-C-M-16-PG o similar
- WW-4"-C70-SP-C-M-16-PG o similar
- WW-6"-C70-00-C-M-16-PG o similar
- WW-6"-C70-SP-C-M-16-PG o similar
- WW-8"-C70-00-C-M-16-PG o similar
- WW-8"-C70-SP-C-M-16-PG o similar

5 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 (mariposa o compuerta) antes de las mismas y de diámetro nominal igual al de la ventosa, para poder realizar labores de mantenimiento o revisión con la instalación en servicio o por si se produjese una avería con la consiguiente fuga de agua.

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 instalará 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 para evitar así problemas de contrapresiones (es decir, depresiones o sobrepresiones cuando se encuentre, respectivamente, admitiendo o expulsando aire).

En relación a la conexión de la ventosa con la conducción donde va insertada, la ventosa deberá conectarse a la tubería a través de una derivación en té del mismo diámetro que la tubería principal y con diámetro de salida vertical igual al indicado en la siguiente tabla.

Tabla 3. Salida vertical en función del diámetro de la tubería

DN tubería	DN salida vertical
DN ≤ 450	100
500 ≤ DN ≤ 700	150
800 ≤ DN ≤ 1.000	200
1.100 ≤ DN ≤ 1.600	400

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.

6 MANTENIMIENTO

Puesto que las ventosas se consideran como equipo de funcionamiento automático, requieren un mantenimiento e inspección periódicos. Dicho mantenimiento consiste básicamente en

la limpieza de las partes internas y comprobación del correcto estado del flotador y juntas de cierre, así como de los orificios de entrada y salida asegurándose que no estén obstruidos en el más mínimo grado.

La falta o ausencia total de mantenimiento puede originar problemas como la rigidez de sus partes móviles o la adherencia del flotador cuando se encuentra cerrado. Esto puede originar que la ventosa no abra tras un largo periodo 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 la misma.

En definitiva, todas las características y prestaciones de las ventosas como elemento de control del aire en las conducciones se pierden si el mantenimiento de las mismas no es el adecuado.

7 DISEÑO DE LOS DESAGÜES. VACIADO DE LA RED

Con el fin de poder desaguar las tuberías tanto en la prueba de presión como para poder realizar la reparación de alguna avería, se colocarán los correspondientes desagües en los puntos bajos relativos de la red (véase los planos de los perfiles longitudinales) y conectadas a la red de avenamiento natural de la zona. Los desagües permitirán 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 indeseables, así como la evacuación de los 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 compuerta, dado 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, accediendo 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, existiendo en superficie una simple boca de llave en T de reducidas dimensiones que irá alojada en una arqueta prefabricada de hormigón.

El montaje de las válvulas de seccionamiento con el tubo se realiza intercalando un carrete liso de anclaje aguas abajo de la misma, disponiéndose 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.

A continuación, se coloca un tramo de tubo aguas abajo de la válvula a maniobrar hasta que llegue al punto de vertido deseado, normalmente la red de drenaje natural, en donde el terreno que recibe el chorro de agua se protege con encachado de piedra u hormigón en masa. Este tramo de tubo genera algo 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 rastrojo o las limpiezas que se suele hacer en la red de drenaje natural.

Por el contrario, si el vaciado de agua no puede realizarse a la red natural de drenaje por problemas de cota o de inexistencia de punto de desagüe, el vertido se hará mediante una bomba de sólidos. Se realiza la operación de retirada y limpieza de los sólidos, introduciendo ésta a través de un tubo metálico vertical que finaliza en una válvula de bola de 2”, y vertiendo el agua de vaciado de la red directamente al terreno colindante.

Por otro lado, cualquiera de las válvulas de vaciado, cuando está cerrada y la instalación parada, tendrá por un extremo la presión del interior de la tubería y por el otro extremo la presión atmosférica en el punto de descarga. Esta diferencia de presiones, si es elevada, puede impedir la apertura de la válvula y, si aumenta el par de apertura aplicado, puede llegar incluso a romper el eje de accionamiento.

Por ello, 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, en el momento de abrirla la presión interior de la tubería en el punto donde dicha válvula está instalada no deberá ser mayor de unos 40 m.c.a. Así la diferencia de cotas entre dos válvulas de vaciado contiguas no deberá ser mayor de 40 m siempre que sea posible.

Para elegir el DN de la válvula, habrá que tener en cuenta que la velocidad en la misma no deberá ser superior a 6 m/s, velocidad 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 m/s, para evitar la proyección excesiva del agua por la boca de salida.

El siguiente paso es 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 0,4 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 de 4.

Tabla 4. Diámetro y ubicación de los desagües en la red

TUBERÍA	DIÁMETRO TUBERÍA	PK	X (m)	Y (m)	Ø (mm)
T-1	700	980	270042,794	4718051,127	200
T-1	315	2748,3	269300,398	4719272,959	200
T-1-1	160	540	269486,348	4717998,176	160
T-1-11	200	181,72	269133,905	4719331,08	160
T-1-2	315	1029,38	269771,333	4720042,614	200

TUBERÍA	DIÁMETRO TUBERÍA	PK	X (m)	Y (m)	Ø (mm)
T-1-3	160	280	269572,024	4718258,3	160
T-1-9	250	751,29	269022,878	4718564,264	200
T-2	315	2705,44	269238,472	4715010,158	200
T-2-10	160	1806,46	268114,271	4714519,085	160
T-2-10-1	200	677,26	268647,719	4714662,115	160
T-2-5	250	1830,22	270259,832	4714972,926	200
T-2-7	400	961,73	269886,052	4714861,524	200
T-2-7	200	3880	271242,904	4712814,316	160

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 que se encuentra la válvula de desagüe.

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

$$Q_{drenaje} = C_d \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

Donde:

D es el diámetro de la válvula de desagüe

Cd es el coeficiente de descarga, de valor 0,6.

g es la aceleración de la gravedad (9,81 m/s).

Δh es la diferencia de alturas entre los dos puntos entre los cuales se efectúa el vaciado (m).

Si adoptamos la velocidad máxima de 6 m/s en la válvula del desagüe por las razones anteriormente expuestas, podemos calcular el desnivel máximo que podemos tener con válvula totalmente abierta, resultando un valor de 5 m.

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.

No obstante, los diámetros calculados para los desagües, parece recomendable unificarlos todos a DN160 mm. Esto es debido a que la mayoría de desagües se emplean para la limpieza de la red en finales de ramal, donde el diámetro de tubería que prevalece es 160 mm.

8 GOLPE DE ARIETE

Se han analizado los efectos derivados de una parada repentina de bombas en la estación de bombeo. Tal y como recoge la bibliografía, y la práctica ratifica, la parada brusca de los equipos de bombeo puede originar dos efectos en las tuberías:

- Tuberías situadas aguas abajo de los grupos de bombeo: se produce en ellas un efecto de succión o depresión. Para mitigar este efecto y evitar que se produzca una implosión en las conducciones, se han instalado **ventosas de triple efecto** que permiten introducir grandes volúmenes de aire y así evitar el colapso.
- Tuberías situadas aguas arriba de los grupos motobombas: se produce un efecto contrario, una sobrepresión producida por la inercia de la masa de agua que circula por la tubería de abastecimiento. Para mitigar este efecto se proyecta la tubería de abastecimiento a la estación de bombeo con un timbraje capaz de soportar estos picos de presión.

Las condiciones de funcionamiento que se analizan son las más desfavorables desde el punto de vista del transitorio que se generará en la instalación. Se trata de una parada simultánea de todos los grupos de bombeo como consecuencia de un fallo de la energía eléctrica. Se trata de una maniobra incontrolada y que exige una garantía de que la instalación resiste, no siendo necesario la colocación de un sistema de protección automático mediante calderines, siendo el sistema de protección el empleo de ventosas.

Se ha simulado mediante el empleo del software Allievi (simula y/o analiza los efectos transitorios en un sistema hidráulico a presión), que permite calcular tanto el funcionamiento de la instalación en régimen permanente como en régimen transitorio, pudiendo analizarse el funcionamiento de la instalación con diferentes elementos de protección y que permite el análisis del efecto del golpe de ariete ante una parada de bombas de bombeo por corte de suministro eléctrico.

La estación de bombeo proyectada (Fase ITACYL), con el objetivo de proteger al sistema de posibles sobrepresiones por errores eléctricos, se equipa una válvula anticipadora de onda.

Las válvulas de retención que colocan una a la salida de cada una de las bombas, recomendándose que sean de baja inercia, a fin de lograr que el flujo de retorno hacia las bombas en el momento de parada de las mismas originado desde el colector sea el menor posible. Es decir, la válvula de retención debe de cerrar de manera ideal casi instantánea, en el momento que se detecte una caída de presión como consecuencia de la parada de las bombas, siendo en este caso el flujo de retorno nulo o casi nulo. Si la válvula tardase mucho en cerrar, el flujo se aceleraría en el sentido hacia la bomba, siendo bruscamente detenido en el instante de cierre de la válvula de retención. Ello provocaría un golpe de ariete con sobrepresiones aguas debajo de la válvula de retención y depresiones aguas arriba de la misma.

Se recomienda compactar bien la tubería a la entrada y salida de la estación de bombeo, para evitar que las depresiones que se puedan originar generen ovalación y colapso de la conducción. En este tramo se recomienda la instalación de ventosas de gran orificio.

APÉNDICE Nº 1: LISTADO DE VENTOSAS DE LA RED DE RIEGO

LISTADO DE VENTOSAS DE LA RED DE RIEGO FASE SEIASA

Ramal	Distancia al origen	Modelo
T-0	10,00	WW-6"-C70-SP-C-M-16-PG
T-1	5,00	WW-6"-C70-SP-C-M-16-PG
T-1	575,00	WW-6"-C70-SP-C-M-16-PG
T-1	648,30	WW-8"-C70-00-C-M-16-PG
T-1	1.245,00	WW-8"-C70-00-C-M-16-PG
T-1	1.880,00	IR-1"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-1	2.080,00	IR-1"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-1	2.415,00	WW-4"-C70-00-C-M-16-PG
T-1	2.780,00	WW-2"-C70-SP-C-M-16-PG
T-1	3.315,23	WW-6"-C70-00-C-M-16-PG
T-1	3.630,04	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-1	4.100,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-1	4.620,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-1-1	5,00	WW-2"-C70-SP-C-M-16-PG
T-1-1	280,00	IR-2"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-1-2	15,00	WW-2"-C70-SP-C-M-16-PG
T-1-2	300,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-1-2	906,27	WW-3"-C70-00-C-M-16-PG
T-1-2	1.341,78	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-1-2	1.860,00	IR-1"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-1-3	8,00	IR-2"-C30-SP-C-S-BP-PG-WD
T-1-5	8,00	IR-2"-C30-SP-C-S-BP-PG-WD
T-1-7	5,00	WW-3"-C70-SP-C-M-16-PG
T-1-7	40,00	WW-3"-C70-00-C-M-16-PG
T-1-7	540,00	IR-1"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-1-7	952,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-1-9	5,00	WW-3"-C70-SP-C-M-16-PG
T-1-9	40,00	WW-3"-C70-00-C-M-16-PG
T-1-9	600,00	WW-3"-C70-00-C-M-16-PG
T-1-9	1.250,63	IR-2"-C30-SP-C-S-BP-PG-WD
T-1-11	5,00	IR-2"-C30-SP-C-S-BP-PG-WD
T-1-11	140,00	WW-2"-C70-SP-C-M-16-PG
T-1-11	620,00	IR-2"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-1-11	1.060,00	IR-2"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-1-11-1	5,00	IR-2"-C30-SP-C-S-BP-PG-WD
T-1-11-1	60,00	IR-1"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-2	8,00	WW-8"-C70-SP-C-M-16-PG
T-2	500,00	WW-6"-C70-SP-C-M-16-PG
T-2	792,00	WW-6"-C70-SP-C-M-16-PG
T-2	920,00	WW-6"-C70-00-C-M-16-PG
T-2	1.640,00	WW-6"-C70-00-C-M-16-PG
T-2	1.940,00	WW-6"-C70-00-C-M-16-PG
T-2	2.135,00	WW-6"-C70-SP-C-M-16-PG
T-2	2.200,00	WW-4"-C70-00-C-M-16-PG

Ramal	Distancia al origen	Modelo
T-2	2.840,00	WW-3"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-1	28,00	IR-2"-C30-SP-C-S-BP-PG-WD
T-2-1	175,00	IR-2"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-2-2	5,00	WW-6"-C70-SP-C-M-16-PG
T-2-2	300,00	WW-6"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-2	440,00	WW-3"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-2	990,00	WW-4"-C70-SP-C-M-16-PG
T-2-2	1.400,00	WW-3"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-2	1.720,00	WW-3"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-2-2	15,00	WW-2"-C70-SP-C-M-16-PG
T-2-2-2	160,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-3	23,00	WW-3"-C70-SP-C-M-16-PG
T-2-3	338,00	IR-2"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-2-4	5,00	IR-2"-C30-SP-C-S-BP-PG-WD
T-2-4	476,00	IR-2"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-2-5	5,00	WW-2"-C70-SP-C-M-16-PG
T-2-5	140,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-5	500,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-5	712,00	WW-2"-C70-SP-C-M-16-PG
T-2-5	1.375,00	IR-2"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-2-5	1.580,00	IR-2"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-2-5	2.130,00	IR-2"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-2-6	40,00	IR-2"-C30-SP-C-S-BP-PG-WD
T-2-6	379,00	IR-2"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-2-7	5,00	WW-2"-C70-SP-C-M-16-PG
T-2-7	40,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-7	350,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-7	520,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-7	1.080,00	IR-2"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-2-7	1.570,40	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-7	1.880,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-7	2.480,00	WW-6"-C70-SP-C-M-16-PG
T-2-7	2.760,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-7	3.080,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-7	3.240,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-7	3.380,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-7	3.540,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-7	3.720,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-7	3.918,72	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-7-2	8,00	WW-2"-C70-SP-C-M-16-PG
T-2-7-2	220,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-7-2	432,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-7-4	5,00	WW-2"-C70-SP-C-M-16-PG
T-2-7-4	100,00	IR-2"-C30-00-C-S-BP-PG-WD

LISTADO DE VENTOSAS DE LA RED DE RIEGO FASE SEIASA

Ramal	Distancia al origen	Modelo
T-2-8	22,00	WW-6"-C70-SP-C-M-16-PG
T-2-8	440,00	WW-4"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-8	1.038,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-9	30,00	IR-2"-C30-SP-C-S-BP-PG-WD
T-2-9	327,00	IR-2"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-2-10	10,00	WW-3"-C70-SP-C-M-16-PG
T-2-10	240,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-10	420,00	WW-3"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-10	720,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-10	960,00	IR-2"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-2-10	1.140,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-10	1.400,00	IR-2"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-2-10	1.562,00	IR-2"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-2-10	2.000,00	IR-2"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-2-10-1	5,00	WW-2"-C70-SP-C-M-16-PG
T-2-10-1	40,00	IR-2"-C30-00-C-S-BP-PG-WD
T-2-10-1	200,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-10-1	740,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-10-2	23,00	WW-3"-C70-SP-C-M-16-PG
T-2-10-2	380,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-10-2	928,00	WW-2"-C70-00-C-M-16-PG
T-2-10-2-1	5,00	IR-2"-C30-SP-C-S-BP-PG-WD
T-2-10-2-1	40,00	IR-1"-C30-00-C-S-BP-PG-WD