Anejo 10. ESTACIONES DE BOMBEO

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN....1
2 DESCRIPCIÓN GENERAL....2
3 OBRA CIVIL....2
4 CÁLCULO HIDRÁULICO....5
5 GRUPOS DE BOMBEO....7
6 COLECTORES....12
7 VÁLVULERÍA Y ACCESORIOS....14
8 DESAGÜES....22
9 CONTROL Y REGULACIÓN....22

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.- CAUDAL DE SALIDA DE VENTOSAS 19

1 INTRODUCCIÓN

Para la modernización y puesta en riego de la zona objeto de este proyecto es necesario impulsar el agua del canal hasta dos balsas elevadas para asegurar la suficiente presión en los hidrantes para un riego eficiente. Por ello se ha diseñado, en el término municipal de Viana, dos estaciones de bombeo que abastecen a las balsas; la primera de ellas toma agua del canal existente en el punto de coordenadas ETRS89 huso 30 X=550.274, Y=4.702.960. Desde esta estación de bombeo se impulsa agua hasta la Balsa Baja, situada en el punto de coordenadas X=549.682, Y=4.708.367. La segunda estación de bombeo se sitúa en coordenadas X=550.476, Y= 4.708.113. La toma se realiza desde derivación de la tubería de impulsión baja en el punto X=550.096, Y=4.708.028. Esta estación de bombeo impulsa agua hasta la Balsa Alta, situada en coordenadas X= 553. 717, Y= 4.710.493.

Las estaciones de bombeo se diseñan a partir de los datos calculados para suministrar caudal necesario, que son función de la demanda de la red, que es a su vez la suma de las de cada uno de los hidrantes que sirven a sendas agrupaciones de riego en cada sector. La presión de servicio necesaria viene determinada por la altura a la que se sitúan las balsas.

Debido a que con el sistema de riego proyectado (a la demanda) los caudales y alturas manométricas necesarios en la cabecera de la red pueden variar en el tiempo, y para adaptarse a esta modularidad de la demanda, se instalarán en algunos grupos de bombeo variadores de velocidad, lo que les permite trabajar en un amplio margen de regímenes. Con esto se consigue un mejor ajuste entre las curvas de trabajo de la estación de bombeo y la demandada por el sistema de riego, aumentando así el rendimiento del conjunto de impulsión con el consiguiente ahorro energético.

Para conseguir un funcionamiento óptimo de los grupos motobomba de acuerdo con la demanda de presión y caudal de la red, será necesario automatizar el sistema. Mediante el cual, y la adecuada programación, se regulan las paradas, arranques y saltos sucesivos de las bombas, así como el régimen de trabajo de los variadores.

2 DESCRIPCIÓN GENERAL

Las estaciones de bombeo contempladas están diseñadas para dar servicio a 1.060 ha pertenecientes al término municipal de Viana, en Navarra.

La primera estación de bombeo, denominada Bombeo Bajo, toma agua del canal existente en el punto de coordenadas ETRS89 huso 30 X=550.274, Y=4.702.960. Desde esta estación de bombeo se impulsa agua hasta la Balsa Baja, situada en el punto de coordenadas X=549.682, Y=4.708.367.

La segunda estación de bombeo (Bombeo Alto) se sitúa en coordenadas X=550.476, Y= 4.708.113. La toma se realiza desde derivación de la tubería de impulsión baja en el punto X=550.096, Y=4.708.028. Esta estación de bombeo impulsa agua hasta la Balsa Alta, situada en coordenadas X= 553. 717, Y= 4.710.493.

3 OBRA CIVIL

BOMBEO BAJO

De la acequia con dimensiones 140 x 70 cm de sección, se realiza la obra de derivación a la estación de bombeo baja mediante un foso de captación.

Para ello, se realizará un corte de 8,0 m de longitud de la acequia, que asegura la derivación del caudal de bombeo al foso de captación, seguido de un aliviadero de 10 m de longitud y 42 cm de altura de vertido.

Las dimensiones del foso de captación son 7,9m de longitud, 1,95m de fondo y 1,9m de profundidad. Cuenta con una reja de desbaste.

A continuación del foso se construye una estación de bombeo prefabricada de dimensiones exteriores 16,0 x 10,35 m y 15,60 x 9,95 entre ejes, con orientación noroeste – sureste en su eje mayor, con cerramiento a base de paneles verticales tipo sándwich de poliestireno en hormigón prefabricado de 20 cm de espesor, incluidos los piñones delantero y trasero. La estructura se compone de 6 pilares de 40 x 40 cm x 5,42 m de altura, que componen tres pórticos (delantero, trasero e intermedio). En el pórtico intermedio se coloca una viga tipo delta. La altura de la estación es de 5 m desde la solera hasta el inicio de la cubierta, excepto bajo la viga tipo delta en que la altura libre se reduce a 4,17 m, suficiente para labores de operación, mantenimientos y reparaciones en la estación.

La cimentación de la estructura se realiza mediante zapatas en cada pilar y una viga riostra de unión entre zapatas de dimensiones 1,6 x 1,4 x 0,8m de hormigón armado unidas mediante vigas

riostras también de hormigón armado. En esta estructura de cimentación se ancla el cerramiento, y en el que se embuten a su vez los 6 pilares de la estructura.

La cubierta de la estación de bombeo se proyecta a dos aguas con pendiente del 10%, con paneles prefabricados de chapa de acero galvanizado y espuma de poliuretano expandida en su interior, y está sostenida por correas a base de viguetas de hormigón pretensado tipo T20 tubular con intereje 1,5m, apoyados en los piñones de paneles horizontales y en la viga delta del pórtico intermedio. Se colocarán tres ventiladores dinámicos de tejado.

La estación aloja los equipos hidráulicos, el centro de transformación y los armarios eléctricos correspondientes a los elementos de protección y maniobra de los motores eléctricos que accionan a las bombas.

El acceso a la estación se realiza a través de un portón de altura 3,5 m y anchura 3m situado en la fachada noroeste, fachada en la que se ubica un ventanal de dimensiones 2,5 horizontal y 1 m vertical, cerrado al igual que el resto de huecos de ventana, con baldosas de vidrio traslucido. En esta fachada existe también un hueco de 2 m horizontal y 0,5 m vertical que aloja una rejilla de ventilación a base de lamas con inclinación hacia el exterior. Las rejillas de lamas han de ser conformes con las prescripciones de la compañía suministradora de energía eléctrica. La fachada noroeste cuenta con dos huecos de ventana de dimensiones 2,5 m horizontal y 1 m vertical. La fachada suroeste cuenta con tres huecos de ventilación de 2 m horizontal x 0,5 m vertical. Finalmente, la fachada sureste dispone dos huecos de ventilación de 2 x 0,5 m y una puerta de acceso al transformador de 1,3 m horizontal y 2,5 m vertical.

Desde el pequeño foso de captación paralelo a la acequia antes descrito, se aspira el agua mediante tres bombas multicelulares de eje horizontal.

Cada bomba impulsa el caudal a un tramo inicial de tubería de acero galvanizado de Ø300 mm, las tres tuberías vierten a continuación a un colector de salida en acero galvanizado de Ø 500 mm con pendiente ascendente del 1% hacia la salida.

BOMBEO ALTO

En la impulsión entre el bombeo bajo y la balsa baja se inserta una derivación hacia la estación de bombeo alta.

La estación tiene unas dimensiones exteriores de 12,80 x 9,85 m, con orientación noreste – suroeste en su eje mayor, con cerramiento a base de paneles horizontales tipo sándwich de poliestireno en hormigón prefabricado de 20 cm de espesor, incluidos los piñones delantero y trasero.

La estructura se compone de 4 pilares prefabricados de hormigón de sección 40 x 40 cm y altura 5,42 m. La altura de la estación es de 5 m desde la solera hasta el inicio de la cubierta, con un máximo de 5,46 m bajo la cumbrera.

La cimentación de la estructura se realiza mediante zapatas de dimensiones 1,6x1,6x0,8 m de hormigón armado unidas mediante vigas riostras también de hormigón armado. En el perímetro de la solera de la estación se dispone un zócalo de hormigón de 40cm de altura sobre el que apoya el cerramiento, y en el que se embuten los 4 pilares de la estructura.

La cubierta de la estación de bombeo se proyecta a dos aguas con pendiente del 10%, con paneles prefabricados de chapa de acero galvanizado y espuma de poliuretano expandida en su interior, y está sostenida por correas a base de viguetas de hormigón pretensado tipo T25 tubular con intereje 1,5m, apoyados en los piñones de paneles horizontales. Así mismo, se colocarán tres ventiladores dinámicos de tejado.

La estación aloja los equipos hidráulicos, el centro de transformación y los armarios eléctricos correspondientes a los elementos de protección y maniobra de los motores eléctricos que accionan a las bombas.

El acceso a la estación se realiza a través de un portón de altura 3,5 m y anchura 3m situado en la fachada noreste, fachada en la que se ubica un ventanal de dimensiones 2,5 horizontal y 1m vertical, cerrado al igual que el resto de huecos de ventana, con baldosas de vidrio traslucido. En esta fachada existe también un hueco de 2 m horizontal y 0,5 m vertical que aloja una rejilla de ventilación a base de lamas con inclinación hacia el exterior. Las rejillas de lamas han de ser conformes con las prescripciones de la compañía suministradora de energía eléctrica. La fachada noroeste cuenta con dos huecos de ventana de dimensiones 2,5 m horizontal y 1 m vertical. La fachada sureste cuenta con tres huecos de ventilación de 2 m horizontal x 0,5 m vertical. Finalmente, la fachada suroeste dispone dos huecos de ventilación de 2 x 0,5 m y una puerta de acceso al transformador de 1,2 m horizontal y 2,5 m vertical.

En el interior de la estación se alojan dos bombas multicelulares de eje horizontal accionadas por motores eléctricos de 200 KW de potencia, situadas a la cota 456,5m.

Cada bomba impulsa el caudal a un tramo inicial de tubería de acero galvanizado de Ø250 mm que vierten a su vez a un colector de salida en acero galvanizado de Ø400 mm, con pendiente ascendente del 1% hacia la salida.

4 CÁLCULO HIDRÁULICO

BOMBEO BAJO

Se trata de bombeo de elevación a las balsas, aunque también está previsto que se pueda dar servicio de riego directamente desde la impulsión. Las necesidades de bombeo vienen dadas, como se comenta en el epígrafe anterior, por el cálculo de la red. El caudal máximo a impulsar es de 300 l/s, y la altura manométrica es de 169,2 m.c.a, con una altura de aspiración de 2m.

Para el cálculo de la potencia de bombeo se utiliza la siguiente expresión, para un rendimiento de bomba (η_b) del 79,5% y un rendimiento mecánico del motor eléctrico (η_m) del 90%:

$$\mathrm{P\,(kW)} = \frac{0{,}736 \times \mathrm{H\,(m)} \times Q\,(\mathrm{l/s})}{75 \times \eta_{motor} \times \eta_{bomba}}$$

Bombeo bajo:

$$P(KW) = \frac{0.736x169.2x300}{75x0.795x0.9} = 696{,}19KW$$

En consecuencia, se ha optado por proyectar el bombeo de esta zona mediante tres bombas de eje horizontal, multicelulares con cuatro rodetes centrífugos cerrados que aportan un caudal de 90,8 l/s cada una, accionadas con motores de 250 kw de potencia nominal (siendo 187,5 kw la potencia absorbida). La velocidad de giro es de 1.450 r.p.m. Cada motor está dotado de dos sondas térmicas PT100, una por cada rodamiento, y de tres sondas PT100 en los devanados. Dos motores montan sendos variadores de frecuencia de 250 kw, y el tercero un arrancador estático de 250 kw.

BOMBEO ALTO

En el caso del bombeo alto la altura manométrica es de 140,6 m.c.a. y el caudal a impulsa es de 200 l/s.

Para el bombeo alto:

$$P(KW) = \frac{0.736x140{,}6x200}{75x0.804x0.9} = 381{,}36KW$$

En consecuencia, se ha optado por proyectar el bombeo de esta zona mediante dos bombas de eje horizontal, multicelulares con cuatro rodetes centrífugos cerrados que aportan un caudal de 100 l/s cada una, accionadas con motores de 200 kw de potencia nominal (siendo 190 kw la potencia absorbida). La velocidad de giro es de 1.450 r.p.m. Cada motor está dotado de dos sondas térmicas PT100, una por cada rodamiento, y de tres sondas PT100 en los devanados. El arranque se realiza mediante sendos arrancadores estáticos de 200 kw.

Otro de los condicionantes hidráulicos para la elección de los grupos de bombeo es el *Net Positive Suction Head* (NPSH), altura neta positiva en la aspiración, que indica la diferencia existente entre la presión en un punto y la presión de vapor del líquido. Si la presión existente en el punto es menor a la presión de vapor del líquido, el líquido bulle y se produce el fenómeno de la cavitación, provocando efectos indeseados tanto en los elementos existentes como en el funcionamiento de las bombas.

Todos los grupos motobomba tienen un NPSH requerido cuyo valor ha de ser proporcionado por el fabricante. Debe contrastarse este valor con el NPSH disponible en las tuberías justamente antes de la entrada del agua a la bomba, debiendo cumplirse el requisito:

NPSHdisponible > NPSHrequerido

Como ya se ha indicado, la estación de bombeo es alimentada a través de una conducción procedente de una balsa. El NPSH disponible es:

$$NPSHdispon\,ible = \frac{Patm}{\gamma} + H - h_t + \frac{Pvapor}{\gamma}$$

La presión atmosférica media sobre la lámina de agua en la balsa a su mínimo nivel (cota 504,65 m la baja y 606,50 m la alta) se calcula (teniendo en cuanta las pérdidas de carga) en **9,73 m para la baja y en 9,61 para la alta.**

La presión hidráulica en la entrada del colector de bombeo en la baja, en estática es de 504,65-365,55 =139,2 y según se calculó en el anejo 9, en dinámica es de 120 m.

En la alta, la presión hidráulica en la entrada del colector de bombeo, en estática es de 606,50-456,5 =150 y según se calculó en el anejo 9, en dinámica es de 80 m.

NSPHDisponible SII = 120+9,73= 129,73

NSPHDisponible SIII = 80+9,61= 89,61

Así, en la aspiración podemos considerar un NPSH disponible de **129,73 m en la baja y de 89,61 m en la alta,** que son unos valores lo suficientemente elevados como para no tener problemas con ningún tipo de bomba que se instale.

5 GRUPOS DE BOMBEO

Determinados todos los condicionantes hidráulicos de la red se procede a la selección de los grupos de bombeo.

El aporte del caudal se realiza mediante fraccionamiento del conjunto de bombas (número suficiente de ellas), tratando así de conseguir un aporte continuo en un amplio intervalo de demanda.

El primer paso es determinar el caudal máximo de bombeo por grupo; se determina que aproximadamente no supere el **20% del caudal total**, evitando ante una posible avería una caída elevada de las condiciones de suministro en momentos punta.

$Q_{principalBAJA} < 0{,}20 \times Q = 0{,}20 \times 300$ l/s = 60,00 l/s

$Q_{principalALTA} < 0{,}20 \times Q = 0{,}20 \times 200$ l/s = 40,00 l/s

Los caudales de bombeo deben ser progresivos, permitiendo de esta manera cubrir de forma continua las demandas en las distintas épocas y ante distintos caudales de demanda, como se observa en la curva de consigna de la red, y teniendo muy en cuenta que las condiciones de caudal punta y altura máxima no se corresponden con la situación más probable de funcionamiento en una campaña de riego, obligando por tanto a considerar una suficiente diversidad de grupos para escalonar los caudales.

Con este sistema forzamos a trabajar a todos los equipos al completo para el momento de máxima demanda, pero sabiendo, como ya se ha comentado, que esta situación sólo está prevista para días puntuales del mes de julio. Se prevé instalar una bomba con variador de reserva, ya que esta bomba, al ser en la que se apoyan todos los saltos de bombeo, es la que más hora de trabajo acumula.

Se opta para escalonar el bombeo por instalar grupos motobomba que fraccionen el caudal unitario de una bomba principal en un **50% aproximadamente** del mismo, permitiendo pasos progresivos en los caudales demandados.

$Q_{auxBAJA} = 0{,}50 \times Qp = 0{,}50 \times 300$ l/s = 150,00 l/s

$Q_{auxALTA} = 0{,}50 \times Qp = 0{,}50 \times 200$ l/s = 100,00 l/s

Otro aspecto a tener en cuenta es la necesidad de cubrir caudales bajos que se generan al inicio y final de campaña, no discriminar a regantes que opten por cultivos o variedades distintos a la

mayoría, y permitir en los inicios de campaña llenados progresivos, así como comprobaciones fuera de campaña.

Establecemos en al menos un **5% del caudal total (aproximadamente)** el mínimo a suministrar, teniendo en cuenta que este grupo para un mejor rendimiento del sistema se instalará con variador de frecuencia, que module la velocidad de giro del motor y permita desplazar la curva de funcionamiento en diferentes rangos de caudal, manteniendo las condiciones de rendimiento.

$Q_{menorBAJA}$ = 0,05 x Qp = 0,05 x 300 l/s = 15,00 l/s

$Q_{menorALTA}$ = 0,05 x Qp = 0,05 x 200 l/s = 10,00 l/s

Este grupo afinará los solapes entre los arranques y paradas de los distintos grupos de bombeo.

La elección del número de grupos estará en parte limitada por la obra civil, un fraccionamiento excesivo multiplica las necesidades de superficie para su instalación.

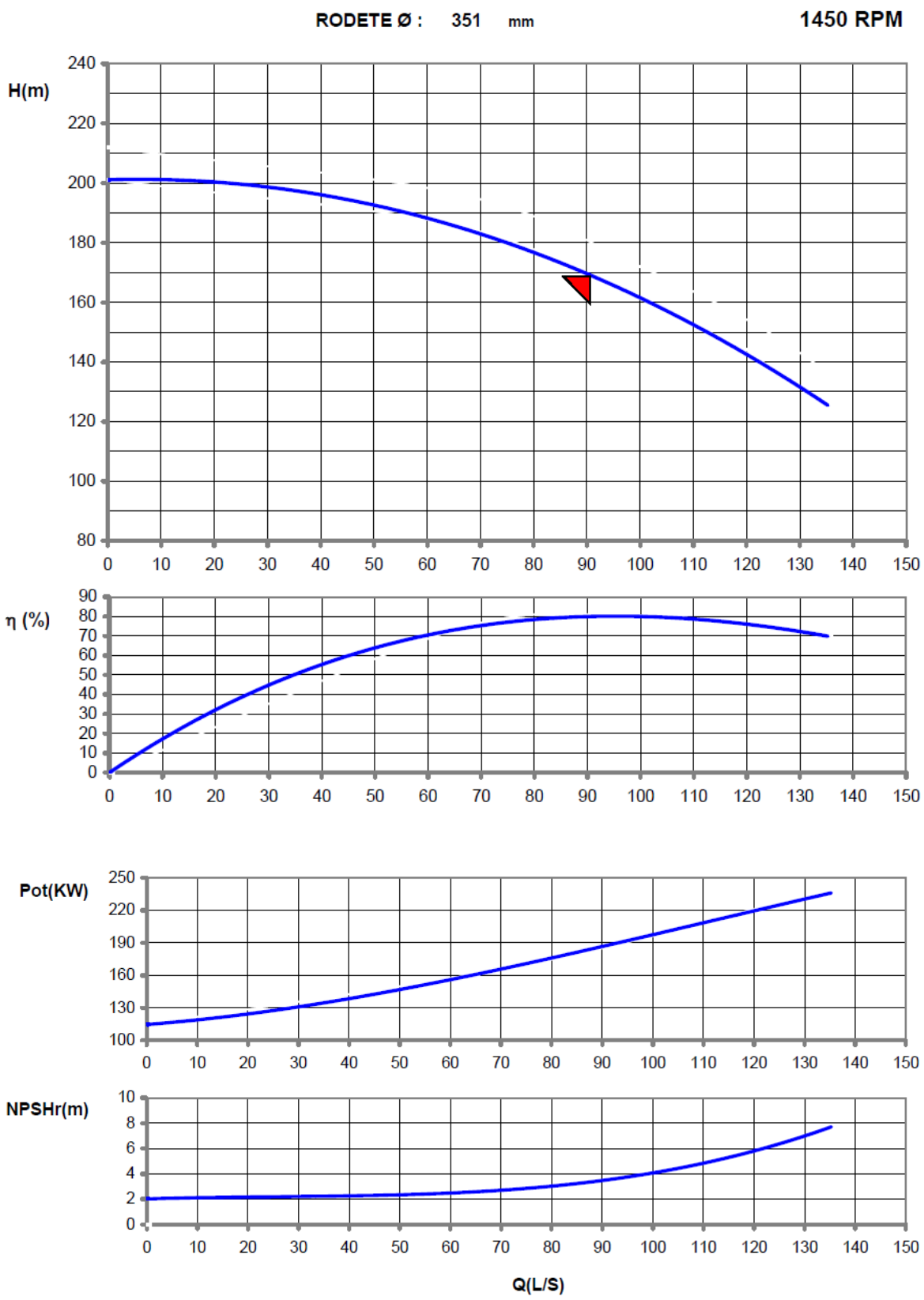
Teniendo en cuenta caudal y altura requeridos, se instalarán bombas centrífugas horizontales de cámara partida axialmente, para trabajar en el punto de funcionamiento calculado y para adaptarse a las condiciones de instalación dadas, puesto que presentan curvas características muy planas, con la ventaja añadida frente a las bombas verticales de evitar la construcción de un depósito o cántara para almacenar el agua en la aspiración.

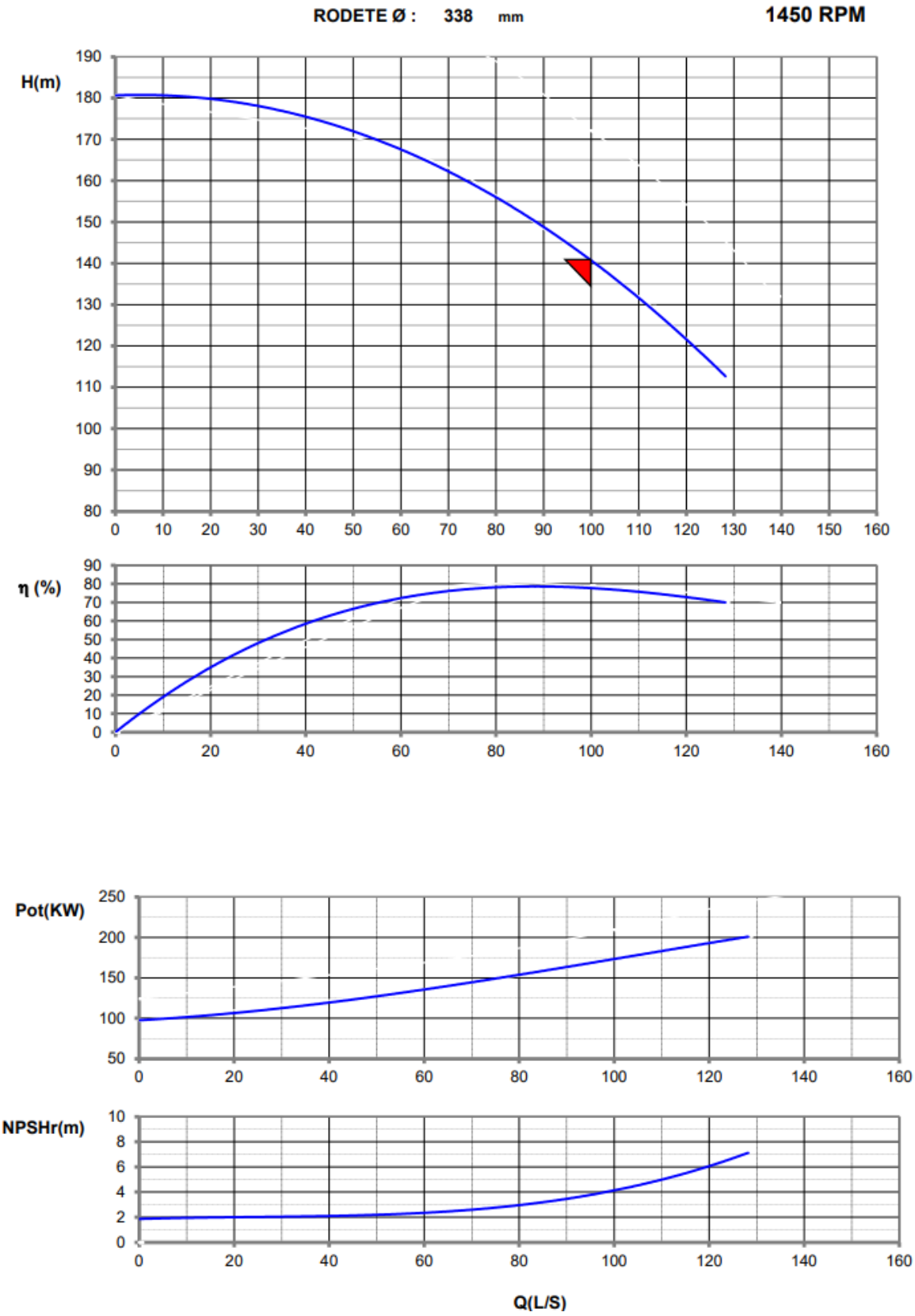
Tienen el inconveniente de que deben estar siempre en carga, pero en nuestro caso atendiendo al NPSH disponible no existe tal problema, salvo en la puesta en marcha, para la cual es importante realizar la purga de la bomba.

Otra de las ventajas consiste en la simplificación del mantenimiento de la instalación al encontrarse las bombas a nivel del suelo, a la vista y “en seco”.

Se aportan a modo orientativo gráficas de bombas compatibles con las demandas consideradas para el estudio de los fraccionamientos. En las curvas pueden observarse rendimientos cercanos al 80% en el entorno del punto nominal de funcionamiento y un NPSH requerido de 4,0 m como máximo, inferior al disponible.

Se acompañan a continuación las curvas correspondientes a esta bomba a diferentes regímenes de giro:


RODETE Ø : 351 mm
1450 RPM
H(m)
240
220
200
180
160
140
120
100
80
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150
η (%)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150
Pot(KW)
250
220
190
160
130
100
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150
NPSHr(m)
10
8
6
4
2
0
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150
Q(L/S)


RODETE Ø : 338 mm
1450 RPM
H(m)
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160
η (%)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0 20 40 60 80 100 120 140 160
Pot(KW)
250
200
150
100
50
0 20 40 60 80 100 120 140 160
NPSHr(m)
10
8
6
4
2
0
0 20 40 60 80 100 120 140 160
Q(L/S)

Las características generales de los equipos de bombeo serán las siguientes:

ESTACIÓN DE BOMBEO SECTOR BAJA

GRUPOS 250 kW Arrancador (1 ud.) – Variador (2 uds.)

BOMBA TIPO:	Centrífuga horizontal
CAUDAL NOMINAL:	90,8 l/s
ALTURA MANOM.:	169,2 m.c.a.
NPSH requerido:	3,6 m.c.a.
MOTOR TIPO:	Eléctrico trifásico
POTENCIA:	250 kW
VELOCIDAD:	1.450 rpm
FRECUENCIA:	50 Hz
TENSIÓN:	400/690 V
PROTECCION:	IP-55
Ø RODETE:	351 mm
Ø ASPIRACION:	200 mm
Ø IMPULSION:	150 mm

ESTACIÓN DE BOMBEO SECTOR ALTA

GRUPOS 200 kW Arrancador (2 ud.)

BOMBA TIPO:	Centrífuga horizontal
CAUDAL NOMINAL:	100,0 l/s
ALTURA MANOM.:	140,6 m.c.a.
NPSH requerido:	4,0 m.c.a.
MOTOR TIPO:	Eléctrico trifásico
POTENCIA:	200 kW
VELOCIDAD:	1.450 rpm
FRECUENCIA:	50 Hz
TENSIÓN:	400/690 V
PROTECCION:	IP-55
Ø RODETE:	360 mm
Ø ASPIRACION:	200 mm
Ø IMPULSION:	150 mm

6 COLECTORES

En el diseño de los colectores tendremos en cuenta los condicionantes de trabajo, en nuestro caso, caudal, velocidad y presión.

Es necesario determinar primeramente los diámetros de los colectores atendiendo a unas velocidades de funcionamiento; el hecho de mantener las velocidades por debajo de unos valores mínimos recomendados se hace con el fin de evitar turbulencias y disminuir las pérdidas energéticas.

En aspiración se establece como límite para la entrada en el grupo motobomba una velocidad (***V***) de ***2 m/s***.

$$Q = V \; x \; S \; colector$$

ESTACIÓN DE BOMBEO SECTOR BAJA

- **COLECTOR GENERAL ASPIRACIÓN (300 l/s):** CÁNTARA ASPIRACIÓN
- **RAMAL COLECTOR ASPIRACIÓN BOMBA 250 kW (90,8 l/s):** DN 300

En los colectores de impulsión se establece una velocidad límite de ***2,5 m/s.***

- **COLECTOR GENERAL IMPULSIÓN (300 l/s):** DN 500
- **RAMAL COLECTOR IMPULSIÓN BOMBA 250 kW (90,8 l/s):** DN 300

ESTACIÓN DE BOMBEO SECTOR ALTA

- **COLECTOR GENERAL ASPIRACIÓN (200 l/s):** DN 400
- **RAMAL COLECTOR ASPIRACIÓN BOMBA 250 kW (100 l/s):** DN 250

En los colectores de impulsión se establece una velocidad límite de ***2,5 m/s.***

- **COLECTOR GENERAL IMPULSIÓN (200 l/s):** DN 400
- **RAMAL COLECTOR IMPULSIÓN BOMBA 250 kW (100 l/s):** DN 250

Una vez determinados los diámetros de los colectores, se tendrá en cuenta la separación de los mismos atendiendo a las recomendaciones de la *American National Standard for Pump Intake Design,* donde se establece una longitud del colector de aspiración individual de cada bomba no menor a **5 veces el diámetro del mismo**, y una separación entre colectores individuales superior a **2 veces el diámetro del colector de aspiración** para evitar perturbaciones en el flujo de aspiración.

De la misma manera se establecen los conos de transición de los colectores a las bridas de aspiración e impulsión, con un ángulo no superior a ***10º***; se diseñan excéntricos para evitar concentraciones de burbujas de aire.

Los colectores deberán resistir la presión que se genera, mayor en la impulsión. Se diseñan en acero electrosoldado, sometido a tratamiento anticorrosivo exterior e interior, y se define el espesor que permita resistir la tracción mínima a la que estará sometido.

Ambos serán de acero al carbono con soldadura helicoidal, calidad mínima S-235-JR, sometido a tratamiento anticorrosivo exterior e interior, conforme a lo establecido en el pliego de condiciones para piezas metálicas.

El espesor que deberá tener el tubo viene determinado por la siguiente expresión:

$$e \geq \frac{MDP \times D}{2 \times \sigma_{adm}}$$

siendo:

e = espesor mínimo teórico, en mm

MDP = Presión máxima de diseño, en MPa

D = diámetro del tubo, en metros

$Ø_{adm}$ = tensión a tracción admisible del acero, en MPa

Se ha previsto una MDP de 0,8506 MPa (estimación de la sobrepresión del golpe de ariete).

Si consideramos una resistencia mínima a la tracción de 340 MPa para el acero elegido y adoptamos un coeficiente de seguridad de 2, los espesores mínimos de estos resultan ser para la gama de diámetros y tubos a instalar en ambos colectores de:

DN = 250 mm

$$e \geq \frac{MDP \times D}{2 \times \sigma_{adm}} = \frac{0{,}8506 \times 250}{2 \times 170} = 0{,}61 \text{ mm}$$

DN = 300 mm

$$e \geq \frac{MDP \times D}{2 \times \sigma_{adm}} = \frac{0{,}8506 \times 300}{2 \times 170} = 0{,}75 \text{ mm}$$

DN = 400 mm

$$e \geq \frac{\text{MDP x D}}{2\,x\,\sigma_{adm}} = \frac{0{,}8506\,x\,400}{2\,x\,170} = 1{,}00mm$$

DN = 500 mm

$$e \geq \frac{MDP \times D}{2 \times \sigma_{adm}} = \frac{0{,}8506 \times 500}{2 \times 170} = 1{,}3\,\text{mm}$$

A pesar de los distintos valores obtenidos en el cálculo y para tener unos espesores homogéneos, se recomienda espesores mínimos conforme a lo dispuesto en la norma UNE-EN 10224, UNE-EN 10025 o API 5L.

Por ello se adoptan los siguientes espesores de tubo, valores consideramos del todo admisibles, cubriendo con seguridad las tensiones previstas. Y la propia rigidez circunferencial necesaria para la correcta estanqueidad de las uniones de los tubos.

DN-250: e = 4 mm

DN-300: e = 4 mm

DN-350: e = 6,3 mm

DN-400: e = 6,3 mm

DN-450: e = 6,3 mm

DN-500: e = 6,3 mm

7 VÁLVULERÍA Y ACCESORIOS

Una vez vistas las cuestiones en cuanto al diseño de los equipos de impulsión y colectores, se hace una breve descripción de los elementos hidráulicos que se deben colocar para el buen funcionamiento de la instalación, y que no forman parte de la bomba como tal.

En la aspiración, aguas arriba del grupo motobomba distinguimos los siguientes elementos:

BOMBEO BAJO

- Cántara de aspiración.

La estación de bombeo se sitúa al lado del canal, se ejecutará un foso paralelo al canal que constituirá el foso de aspiración de las bombas, sin necesidad de ejecutar un colector.

La obra consiste en el corte en una longitud de 8,3 m de un cajero de la acequia y posterior aliviadero de 10 m longitud y 42 cm de altura de vertido, dimensiones que aseguran, por un lado, la derivación del caudal de bombeo al foso de captación y, por otro, la continuidad del caudal de riego hacia la zona de Viana I.

Las dimensiones del foso de captación son 7,9 m de longitud, 1,95m de fondo y 1,9m de profundidad. Cuenta con una reja de desbaste sobre la que se dispone una pasarela de tramex para el acceso de operarios en el caso de limpiezas manuales de dicha reja.

- Colector de aspiración individual, con los siguientes elementos:
  - Colector individual con una longitud igual o superior a 5 veces el diámetro Ø 300.
  - Un cono recto de ampliación excéntrico para enlazar la brida de salida de la bomba a la valvulería, con un ángulo igual o inferior a 10º Ø 300-200.

En el lado de la impulsión, los equipamientos que se colocarán a la salida de cada bomba y ordenados en el sentido del flujo de líquido son los siguientes:

- Colector de impulsión individual Ø250 formado por calderería de acero compuesta por los siguientes elementos:
  - Un cono recto de ampliación excéntrico para enlazar la brida de salida de la bomba a la valvulería, con un ángulo igual o inferior a 10º Ø 150-300.
  - Válvula antirretorno de doble clapeta o bola (según diámetro) ranurada Ø 300.
  - Válvula de compuerta embridada, atendiendo al diámetro, Ø 300 y carrete de desmontaje Ø 300.
  - Colector individual con una longitud igual o superior a 5 veces el diámetro Ø 300.
  - Codo de 45º de enlace con colector general.
- Colector general de impulsión Ø500 de acero helicoidal en el que se dispone de:
  - Ventosa antiariete Ø 50 PN25.
  - Cono recto de reducción para caudalímetro Ø 500-300.
  - Caudalímetro electromagnético Ø 300.

- Válvula de compuerta embridada o ranurada, atendiendo al diámetro y carrete de desmontaje Ø 300.
- Cono recto de ampliación VC - Colector Ø 300-450.
- Ventosa antiariete Ø 50 PN25.
- Trasductor de presión y manómetro.

Elementos de seguridad contra depresiones .

- Válvula de compuerta ranurada y carrete de desmontaje Ø 150.
- Válvula de alivio Ø 150.
- Bypass Desagüe Ø 100.
- Calderín vertical 4,50 m^3.

- Para evitar el golpe de ariete se colocará un calderín conectado a la tubería de impulsión mediante una válvula de compuerta Ø 200, en la parte exterior de la estación.

<u>BOMBEO ALTO</u>

- Colector general de aspiración Ø 400. En el mismo colector se dispone:
  - Válvula de mariposa embridada y carrete de desmontaje Ø 400.
  - Dos ventosas trifuncionales de baja presión Ø 50.
- Colector de aspiración individual, con los siguientes elementos:
  - Codo de 45º de enlace con colector general.
  - Colector individual con una longitud igual o superior a 5 veces el diámetro Ø 250.
  - Un cono recto de ampliación excéntrico para enlazar la brida de salida de la bomba a la valvulería, con un ángulo igual o inferior a 10º Ø 250-200.

En el lado de la impulsión, los equipamientos que se colocarán a la salida de cada bomba y ordenados en el sentido del flujo de líquido son los siguientes:

- Colector de impulsión individual Ø250 formado por calderería de acero compuesta por los siguientes elementos:
  - Un cono recto de ampliación excéntrico para enlazar la brida de salida de la bomba a la valvulería, con un ángulo igual o inferior a 10º Ø 150-250.

- Válvula antirretorno de doble clapeta (según diámetro) ranurada Ø 250.
- Válvula de compuerta embridada, atendiendo al diámetro, Ø 250 y carrete de desmontaje Ø 250.
- Colector individual con una longitud igual o superior a 5 veces el diámetro Ø 250.
- Codo de 45º de enlace con colector general.

• Colector general de impulsión Ø400 de acero helicoidal en el que se dispone de:

- Dos ventosas antiariete intercaladas Ø 50.
- Cono recto de reducción para caudalímetro Ø 400-300.
- Caudalímetro electromagnético Ø 300.
- Válvula de compuerta embridada, atendiendo al diámetro y carrete de desmontaje Ø 300.
- Cono recto de ampliación VC - Colector Ø 300-400.
- Trasductor de presión y manómetro.

• Colector *by-pass* Ø 200, donde se dispondrán elementos de seguridad contra depresiones y con el que se permitirá el llenado de la red por gravedad sin el uso de las bombas.

- Válvula de compuerta y carrete de desmontaje Ø 200.
- Válvula de alivio Ø 150.
- Calderín vertical 5,0 m^3.

• Para evitar el golpe de ariete se colocará un calderín conectado a la tubería de impulsión mediante una válvula de compuerta Ø 200, en la parte exterior de la estación.

Todos los equipos y accesorios anteriormente descritos se disponen como se indica en los planos correspondientes. La función de los elementos singulares es la siguiente:

Válvula antirretorno. El cometido de esta válvula es permitir el flujo de agua en un sentido e impedirlo en el otro, mediante el cierre mecánico automático de la misma cuando la bomba deja de funcionar, evitando que el agua retorne a la bomba y que haga girar el rodete de esta en sentido contrario al de trabajo (y por igual al motor eléctrico de arrastre acoplado a ella), lo que produce una

aceleración perniciosa de la máquina. Además, evita el vaciado de la tubería de impulsión a través de la bomba cuando ésta está parada y protege a la bomba contra el exceso de presión.

Válvula de compuerta manual. Posibilita el aislamiento de la bomba y de la válvula de retención del colector de impulsión para cualquier reparación, inspección y desarmes, pudiendo mantener el resto de la estación en funcionamiento.

Ventosa trifuncional y antiariete: Combina, en un solo cuerpo o en dos cuerpos separados, las funciones 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. 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.

En el proceso de llenado, como se ha comentado, existe el condicionante en el colector de aspiración de la presión de trabajo, correspondiente en este caso a la altura manométrica generada por la lámina de agua de la balsa. Esta presión en muchos casos puede ser insuficiente para el cierre correcto de las ventosas provocando la salida del agua. Por ello, en el colector de aspiración se debe disponer ventosas capaces de trabajar a presiones inferiores a 5 m.

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.

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 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 cierra ésta bruscamente generando un golpe de ariete que puede ser muy peligroso.

El caudal de llenado de la tubería (Q_{ll}) será el correspondiente al de una velocidad de llenado de 0,4 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 Pexp, del orden de 1,5 m. Este caudal de aire se deberá

pasar a condiciones normales, Qaire atm, evidentemente a presión atmosférica Patm, 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_{exp}* indica presión absoluta en el interior de la tubería: 11,7 m.

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.

DN Ventosa	Q_{salida} (l/s)
25 mm	42
50 mm	152
80 mm	424
100 mm	877
150 mm	1.414
200 mm	2.829

Tabla 1.- Caudal de salida de ventosas

Conociendo la velocidad de llenado de 0,4 m/s, el caudal de llenado del tubo que le corresponde a esta velocidad, el caudal de salida que le correspondería a la ventosa y la tabla anterior, se puede determinar el diámetro de ventosa que le corresponde a cada tubo.

Colector DN450:

$$Qaireatm = \frac{11{,}7\ \text{m.c.a.} \times 0{,}4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \pi \times 0{,}2{,}3^2}{10\ \text{m.c.a.}} =$$

0,0777 m^3/s = 78 l/s

Colector DN400:

$$Qaireatm = \frac{11{,}7\ \text{m.c.a.} \times 0{,}4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \pi \times 0{,}2\ ^2}{10\ \text{m.c.a.}} =$$

0,0588 m^3/s = 59 l/s

Colector DN500:

$$Qaireatm = \frac{11{,}7\ \text{m.c.a.} \times 0{,}4\frac{\text{m}}{\text{s}} \times \pi \times 0{,}25^2}{10\ \text{m.c.a.}} =$$ 0,092 m^3/s = 92 l/s

En conclusión, en el colector de aspiración se dispondrá de dos ventosas de 50 mm que permitan la evacuación del aire en el proceso de llenado, con un caudal de expulsión de aire mínimo de 304 l/s cada una.

En el colector de impulsión, como puede verse más adelante, será el proceso de vaciado el que determine la cantidad y tamaño de ventosas a instalar. Efectivamente, ahora determinamos las ventosas necesarias para el vaciado de la red. Al abrirse una válvula de vaciado en un punto bajo de la tubería, en la salida se tiene la presión atmosférica, y si no se admite aire, no sólo no se vaciará completamente, sino que se generarán depresiones que podrían ocasionar el colapso.

Por este motivo, la operación de vaciado de la conducción exige la existencia de ventosas que permitan la entrada del aire para llenar el vacío dejado por el agua y evitar la separación de la columna líquida. 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.

Se considera como criterio para la instalación de las ventosas en el colector de impulsión la posibilidad de una rotura de la tubería principal tras la salida de la estación de bombeo. Las ventosas en este caso tendrán como misión principal cubrir la posibilidad de un vaciado descontrolado entre dicho punto y la propia estación.

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 salida a causa de la rotura.

Se emplea la fórmula de Hazen-Williams, con un coeficiente $C_{H\text{-}W}$ en función del material de la tubería, siendo para el caso del PVC-O de 160. 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 (m^3/s)

- L: es la longitud de la tubería (m)
- $C_{H\text{-}W}$: coeficiente de Hazen-William en función del tipo de material (PVC-O = 150)
- D: diámetro de la tubería (m)

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.
- 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:

$$Q_{aireatm} = \frac{P^*_{exp} \cdot Q_{llenado}}{P^*_{atm}}$$

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.

El caudal estimado debido a una rotura franca del tubo correspondiente con la pendiente establecida.

Q = √ (P D5)1000

- P: pendiente (0,01 m/m).
-D: diámetro de la tubería

8 DESAGÜES

Cada estación de bombeo se dispondrá de un colector de desagüe que evacue una posible inundación interior de la estación por fallo en las uniones o rotura de algún elemento.

En el bombeo bajo se fija como cota del agua dentro de la estación de bombeo bajo la cota 366,55m, que es la cota del eje del colector del by-pass y salida del desagüe que vierte a una arqueta interior.

De la arqueta interior, una tubería conduce directamente al foso de aspiración que, anteriormente al proceso de desagüe, se puede mantener vacío mediante el cierre de compuertas.

De esta forma, el desagüe tiene capacidad suficiente para el vaciado del agua de los colectores de la estación.

En la estación de bombeo alto se fija la cota de agua en 450,0 m, y por otro lado el punto de desagüe, ubicado tal como refleja el perfil longitudinal en la cota 445,00 m, a 1380 m de la estación. Se tiene por tanto una carga disponible de 5,0 m.

Se supone que el caudal a desaguar se corresponderá con el 25% del caudal bombeado:

$$Q_{desagüeALTA} = 0{,}25 \times Q_{bombeo} = 0{,}25 \times 200 \text{ l/s} = 50{,}00 \text{ l/s}$$

Para dicho caudal, en cada estación, se opta por una tubería de **PVC DN 300 mm** que nos da una capacidad de desagüe de 60 l/s a 0,9 m/s de velocidad y una pérdida de carga de 2m.

9 CONTROL Y REGULACIÓN

Como es sabido, la regulación del caudal en sistemas dotados con bombas con velocidad variada (BVV) se basa en la modificación “continua” de la velocidad de giro de las bombas, a fin de mantener unas consignas hidráulicas del sistema (por ejemplo, mantener una presión constante, seguir una curva de consigna de presiones crecientes en función de la demanda, etc.), al contrario que en el caso de sistemas con grupos motobomba de velocidad fija (BVF), en los que la regulación se lleva a cabo de modo “discreto”, ya que se realiza por sucesivos arranques y paradas de los grupos cuando las variables hidráulicas alcanzan determinados valores discretos de consigna.

La posibilidad de variar la velocidad permite trasladar arriba y abajo las curvas H-Q de la bomba buscando siempre el punto óptimo de funcionamiento, aportando la altura y caudal necesarios con el mejor rendimiento posible.

En las estaciones de redes colectivas diseñadas para funcionar a la demanda existe la necesidad de automatizar el funcionamiento de los equipos de bombeo, puesto que la demanda, variable, puede producirse en cualquier momento tanto del día como de la noche, siempre que esté dentro de la jornada efectiva de riego.

Bajo estas premisas y dada la importancia que tiene la operación del control de la regulación que hay que efectuar en la estación de bombeo, y de cara a simplificar y mejorar dicho proceso, esta función será automatizada mediante un dispositivo inteligente externo de control del tipo autómata programable o PLC (controlador lógico programable).

Dicho PLC recibe señales de transductores de presión en el colector de impulsión y del caudalímetro. En función de este, adecúa el número de bombas que están arrancadas y el régimen de las bombas con variador para cumplir con los requisitos especificados en el apartado 4 del presente Anejo. Todo ello mediante la adecuada programación de este.