

---

## **ANEJO Nº 29: DISEÑO Y CÁLCULO DE HIDRÁULICO DEL BOMBEO**

---

## ÍNDICE

1	SECTOR I.....	8
1.1	INTRODUCCIÓN.....	8
1.2	CURVA DE DEMANDA DE LA RED.....	9
1.3	CURVA DE CONSIGNA.....	10
1.4	CÁLCULO HIDRÁULICO ESTACIÓN DE BOMBEO.....	14
1.4.1	CALCULO HIDRÁULICO.....	14
1.4.2	DETERMINACIÓN DEL NPSH.....	16
1.5	COMPOSICIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO.....	17
1.5.1	UBICACIÓN Y COTAS.....	17
1.5.2	OBRA DE TOMA DE Balsa DE REGULACIÓN.....	18
1.5.3	NIVEL DE LA LÁMINA DE AGUA EN LA Balsa DE REGULACIÓN.....	18
1.5.4	EQUIPOS DE IMPULSIÓN.....	19
1.5.4.1	ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO.....	20
1.5.4.2	CURVA DE CONSIGNA.....	20
1.5.4.3	CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA.....	20
1.5.4.4	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO.....	21
1.5.4.5	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO.....	21
1.5.4.6	CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES.....	21
1.5.5	CONTROL DE CALIDAD A APLICAR EN BOMBAS.....	22
1.5.6	FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO.....	24
1.5.6.1	COMPOSICIÓN GENERAL DEL BOMBEO.....	24
1.5.6.2	FUNCIONAMIENTO.....	24
1.5.6.3	SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO.....	24
1.5.6.4	PROGRAMACIÓN Y RENDIMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	25
1.5.6.5	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	26
1.6	FILTRADO.....	28
1.7	GRUPOS DE BOMBEO.....	31
1.8	COLECTORES DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO.....	34
1.9	ESPEORES DE LOS COLECTORES.....	35
1.10	VÁLVULERÍA Y ACCESORIOS.....	38

1.11	DESAGÜE .....	42
ANEXO 1. REGLAS DE FUNCIONAMIENTO DEL BOMBEO .....		45
ANEXO 2. ELEMENTOS DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO .....		48
	CALDERERÍA .....	48
	BOMBAS.....	49
2	SECTOR II.....	50
2.1	INTRODUCCIÓN .....	50
2.2	CURVA DE DEMANDA DE LA RED .....	51
2.3	CURVA DE CONSIGNA .....	52
2.4	CÁLCULO HIDRÁULICO ESTACIÓN DE BOMBEO .....	56
2.4.1	CALCULO HIDRÁULICO.....	56
2.4.2	DETERMINACIÓN DEL NPSH .....	58
2.5	COMPOSICIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO.....	59
2.5.1	UBICACIÓN Y COTAS.....	59
2.5.2	OBRA DE TOMA DE Balsa DE REGULACIÓN .....	60
2.5.3	NIVEL DE LA LÁMINA DE AGUA EN LA Balsa DE REGULACIÓN.....	60
2.5.4	EQUIPOS DE IMPULSIÓN .....	61
2.5.4.1	ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO.....	61
2.5.4.2	CURVA DE CONSIGNA .....	62
2.5.4.3	CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA .....	62
2.5.4.4	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO .....	63
2.5.4.5	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO .....	63
2.5.4.6	CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES.....	63
2.5.5	CONTROL DE CALIDAD A APLICAR EN BOMBAS .....	64
2.5.6	FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO .....	66
2.5.6.1	COMPOSICIÓN GENERAL DEL BOMBEO .....	66
2.5.6.2	FUNCIONAMIENTO .....	66
2.5.6.3	SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO .....	66
2.5.6.4	PROGRAMACIÓN Y RENDIMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO .....	67
2.5.6.5	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA .....	68
2.6	FILTRADO.....	70
2.7	GRUPOS DE BOMBEO .....	72
2.8	COLECTORES DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO.....	76

---

2.9	ESPEORES DE LOS COLECTORES .....	77
2.10	VÁLVULERÍA Y ACCESORIOS .....	80
2.11	DESAGÜE .....	84
ANEXO 3. REGLAS DE FUNCIONAMIENTO DEL BOMBEO .....		87
ANEXO 4. ELEMENTOS DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO .....		90
	CALDERERÍA .....	90
	BOMBAS.....	91

---

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. SELECCIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO .....	15
TABLA 2. UBICACIÓN ESTACIÓN DE BOMBEO.....	17
TABLA 3. CONTROL DE CALIDAD APLICABLE A LOS EQUIPOS DE BOMBEO .....	22
TABLA 4. ESPESORES ADOPTADOS PARA COLECTORES.....	37
TABLA 5. SELECCIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO .....	57
TABLA 6. UBICACIÓN ESTACIÓN DE BOMBEO.....	59
TABLA 7. CONTROL DE CALIDAD APLICABLE A LOS EQUIPOS DE BOMBEO .....	64
TABLA 8. ESPESORES ADOPTADOS PARA COLECTORES.....	79

---

## ÍNDICE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE DEMANDA .....	9
GRÁFICO 2 CURVA DE DEMANDA DE LA RED.....	10
GRÁFICO 3 CÁLCULO DE LA ALTURA DE BOMBEO.....	14
GRÁFICO 4 SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE DEMANDA .....	51
GRÁFICO 5 CURVA DE DEMANDA DE LA RED.....	52
GRÁFICO 6 CÁLCULO DE LA ALTURA DE BOMBEO.....	56

## ÍNDICE IMÁGENES

IMAGEN 1. REPRESENTACIÓN DE LAS CURVAS RESISTENTES DE LA RED Y LA CURVA DE CONSIGNA. ....	12
IMAGEN 2. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CONSIGNA. ....	13
.....	23
IMAGEN 3. SECCIÓN ARQUETA DE FILTRADO .....	30
IMAGEN 4. CURVA CARACTERÍSTICA BOMBA GRANDE O PRINCIPAL. CAUDAL 620 L/S A 55 MCA Y 500 kW.....	32
IMAGEN 5. CURVA CARACTERÍSTICA BOMBA AUXILIAR O PEQUEÑA. CAUDAL 310 L/S A 55 MCA Y 250 kW. ....	33
IMAGEN 6. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL ACERO .....	36
IMAGEN 7. EJEMPLO DE CÁLCULO/COMPROBACIÓN DE ESPESORES.....	36
IMAGEN 8. VÁLVULA HIDRÁULICA ANTICIPADORA DE ONDA. MODELO 106 PASO TOTAL, Y MODELO 206 PASO REDUCIDO. CATÁLOGO AVK.40	
IMAGEN 9. COMPROBACIÓN DE TUBERÍA DE DESAGÜE ESTACIÓN DE BOMBEO.....	44
IMAGEN 10. PLANTA DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO.....	48
IMAGEN 11. REPRESENTACIÓN DE LAS CURVAS RESISTENTES DE LA RED Y LA CURVA DE CONSIGNA. ....	54
IMAGEN 12. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CONSIGNA. ....	55
IMAGEN 13. SECCIÓN ARQUETA DE FILTRADO .....	71
IMAGEN 14. CURVA CARACTERÍSTICA BOMBA GRANDE O PRINCIPAL. CAUDAL 620 L/S A 55 MCA Y 500 kW.....	74
IMAGEN 15. CURVA CARACTERÍSTICA BOMBA AUXILIAR O PEQUEÑA. CAUDAL 310 L/S A 55 MCA Y 250 kW. ....	75
IMAGEN 16. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL ACERO .....	78
IMAGEN 17. EJEMPLO DE CÁLCULO/COMPROBACIÓN DE ESPESORES.....	78
IMAGEN 18. VÁLVULA HIDRÁULICA ANTICIPADORA DE ONDA. MODELO 106 PASO TOTAL, Y MODELO 206 PASO REDUCIDO. CATÁLOGO AVK.82	
IMAGEN 19. COMPROBACIÓN DE TUBERÍA DE DESAGÜE ESTACIÓN DE BOMBEO.....	86
IMAGEN 20. PLANTA DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO.....	90

## 1 SECTOR I

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Acorde al anejo “Cálculo hidráulico de la red”, para la Modernización del Regadío en la Comunidad de Regantes del Canal de Villadangos (León) se adopta como solución técnica para alimentación de la red de riego un bombeo directo desde balsa de regulación ubicada al pie del canal, mediante una estación de bombeo con una cota de eje de colector de aspiración de 865,3 m.s.n.m.

Para la modernización y puesta en riego de la zona objeto de este proyecto es necesario impulsar el agua desde la balsa de regulación, ubicada en la margen izquierda del canal para asegurar la suficiente presión en los hidrantes para un riego eficiente.

La obra de toma y la estación de bombeo se diseña a partir de los datos calculados en el dimensionado de la red hidráulica, capaces de abastecer del caudal y la presión manométrica necesaria en función de las demandas puntuales de las redes, establecidas en cada uno de los hidrantes que sirven a cada agrupación de riego.

Debido a que con el sistema de riego proyectado los caudales y alturas manométricas varían en el tiempo, es preciso dotar a algunos grupos de bombeo con variadores de velocidad, lo que les permite trabajar en un amplio margen de regímenes de velocidad, 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 de los equipos de impulsión con el consiguiente ahorro energético que esto conlleva.

Para que los grupos motobomba funcionen siempre en un óptimo de acuerdo a la de presión y caudal de la red, requiere la automatización del sistema. Se instalará un autómatas que regulará el arranque, la parada y el régimen de los diferentes grupos en función de las señales que reciba de los caudalímetros y de los transmisores de presión instalados.

Además, después de la arqueta de válvulas de la toma de fondo de la balsa, se dispone un sistema de filtrado que evite la entrada de sólidos en los rodets de las bombas y posteriormente se traslade al sistema de riego.

## 1.2 CURVA DE DEMANDA DE LA RED

Se adjunta la curva de demanda de la red, obtenida a partir de los cálculos hidráulicos de la red. Es necesaria para la obtención de la curva de rendimientos combinados del bombeo proyectado.

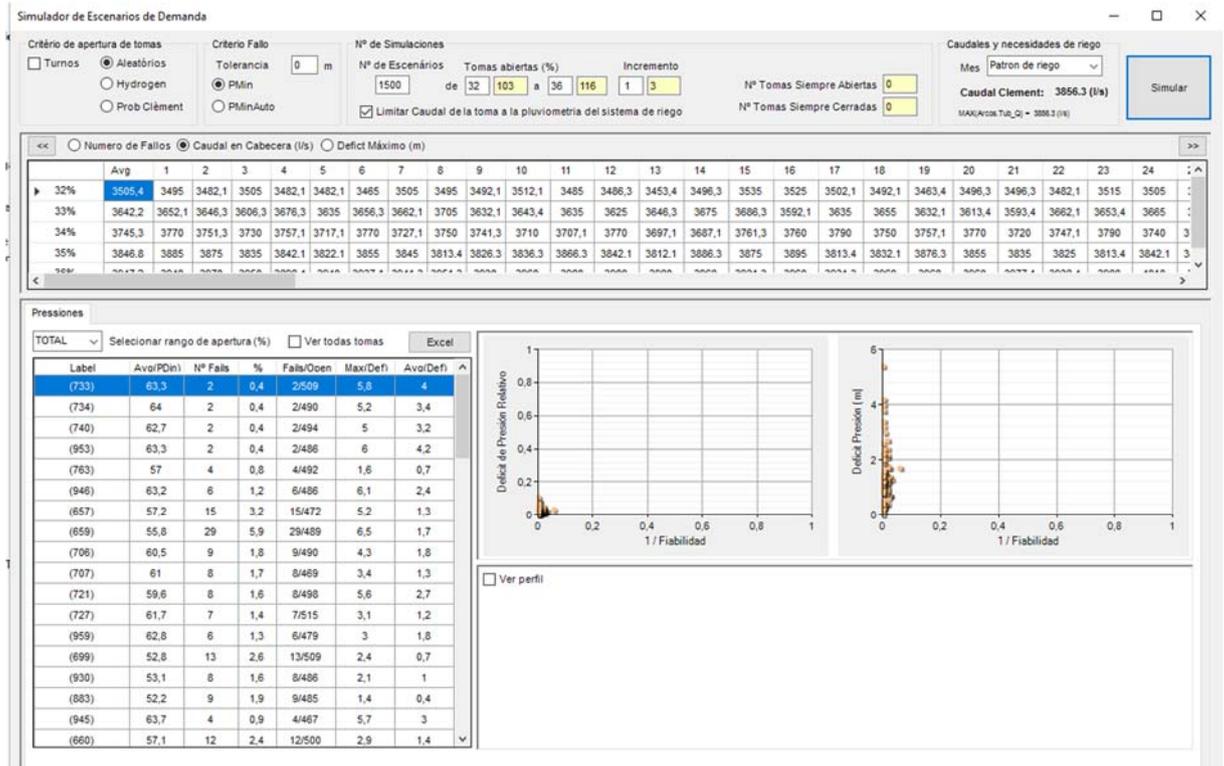


Gráfico 1 Simulación de escenarios de demanda

La curva resistente del sistema de riego de la Comunidad de Regantes del Canal de Villadangos está definida por una parábola:

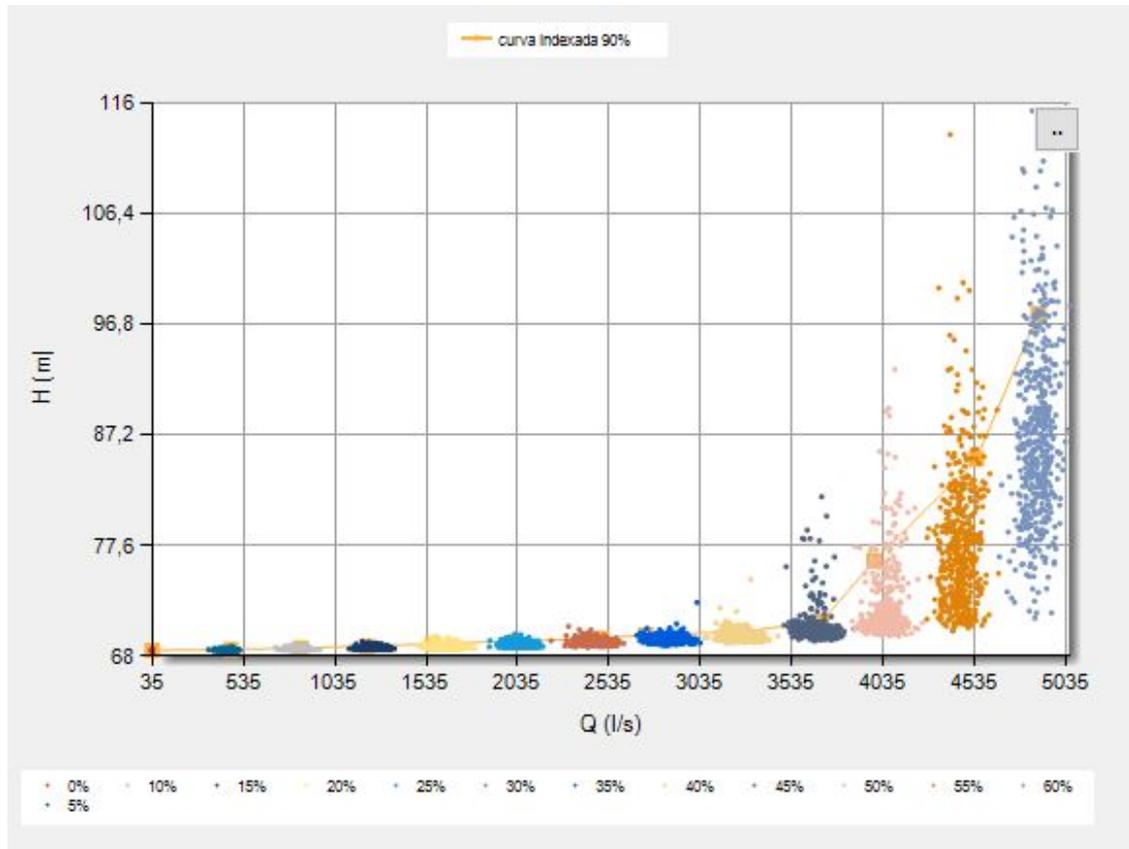


Gráfico 2 Curva de demanda de la red

### 1.3 CURVA DE CONSIGNA

Un concepto bastante utilizado, principalmente en el dimensionamiento de sistemas de bombeo, es la curva característica del sistema, que describe la relación entre el caudal en una tubería y la pérdida de carga producida por la circulación de este caudal.

Para dimensionar la estación de bombeo necesaria para una red de riego a presión a la demanda hay que:

- Localizar los puntos de consumo de las parcelas buscando el trazado óptimo que minimice el coste total de la red, cumpliendo con los criterios de diseño y condicionantes de partida
- Calcular las dotaciones de los puntos de consumo según el tamaño de las unidades de riego a abastecer

- Determinar los caudales de diseño por línea (asociados a una determinada garantía de suministro)
- Dimensionar cada una de las líneas buscando el mínimo coste total para llegar a conocer las necesidades de altura piezométrica y caudal en cabecera de la red que debe garantizar la estación de bombeo.

A partir de estos puntos hay que analizar el funcionamiento de la red bajo distintas condiciones de trabajo, comprobando la presión existente en los puntos de demanda cuando se manejan diferentes hipótesis de demanda para distribuir el caudal de cabecera. Una regulación óptima de la estación de bombeo será aquella que, con alto rendimiento, se adapte lo más posible a la “*curva de demanda o de consigna*” de la red, que relaciona las necesidades de altura piezométrica y caudal en cabecera, minimizando los excesos de presión en la cabecera para cada caudal demandado.

La curva característica de una red de riego puede variar en función de la demanda de la red, existiendo momentos en los cuales muchos regantes requieren agua, siendo necesario abrir hidrantes acorde a lo establecido para el funcionamiento de la red en momento punta (simulaciones hidráulicas, experiencia de gestión de la red por parte de la Comunidad de Regantes), habrá momentos en los cuales los regantes vayan cerrando hidrantes porque no requieren agua en sus cultivos con lo que se produce una mayor pérdida de carga para reducir el caudal.

Si en lugar de esperar que los regantes generen la pérdida de energía a través de su consumo y la manipulación de los sistemas de riego, se regula la altura piezométrica de la fuente de suministro, con el fin de llegar a los puntos de demanda (consumo) con la presión mínima necesaria, se lograría reducir esta pérdida de energía [Martínez, F., Vidal, R., & Andrés, M. (2009). La regulación de los sistemas hidráulicos. E. Cabrera, V. Espert, J. García-Serra & F. Martínez, Ingeniería hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua (3ª ed., vol. II) Valencia, España: ITA-UPV]. De esta forma, se obtiene no una altura piezométrica o presión de consigna, sino una curva de consigna que asegure en cada escenario de la red la presión mínima estrictamente necesaria en los puntos de consumo.

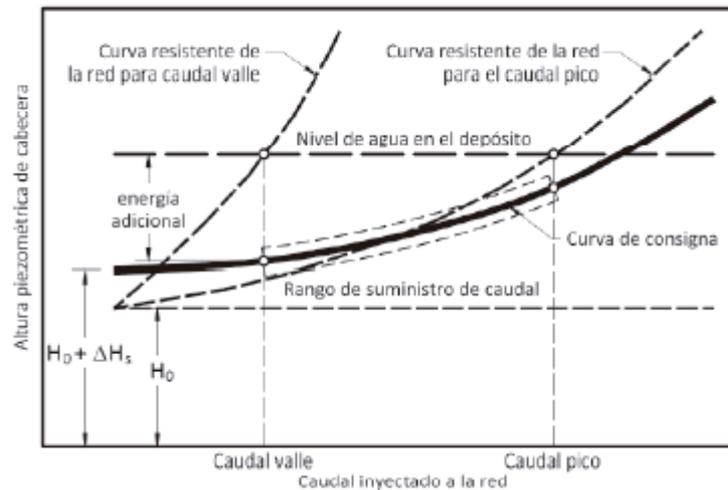


Imagen 1. Representación de las curvas resistentes de la red y la curva de consigna.

Fuente: La curva de consigna, una herramienta útil para la esquetización, sectorización y determinación de la capacidad de una red de suministro de agua. ISSN 0188-6266

Cuando una red que demanda un determinado caudal y logra valores de presión mínima en los nodos más desfavorables, configura un gradiente hidráulico que define una altura piezométrica y un caudal inyectado a la red desde el punto de suministro (garantía de las condiciones de servicio). Si este proceso es repetido para diferentes demandas, manteniendo la presión mínima de servicio, con la altura piezométrica en cabecera y el caudal inyectado a la red, es posible configurar la curva de consigna.

La curva de consigna es utilizada para regulación de sistemas de bombeo y en la optimización energética de sistemas de suministro de agua a zonas regables. Asimismo, una aproximación a la curva de consigna es la utilizada como curva de modulación del flujo o curva de consigna para algunas válvulas, etc.

El cálculo de la curva de consigna requiere de un modelo matemático fiable de la red, con el cual es posible evaluar la altura piezométrica en la fuente de suministro que permitirá satisfacer la demanda de la red con una presión de servicio mínima. El seguimiento de la curva de consigna asegura un ahorro energético en el suministro; asimismo, minimiza las fluctuaciones de las presiones en la red, reduciendo las implicaciones negativas de estas variaciones en la vida útil de la red (Martínez et al, 2009).

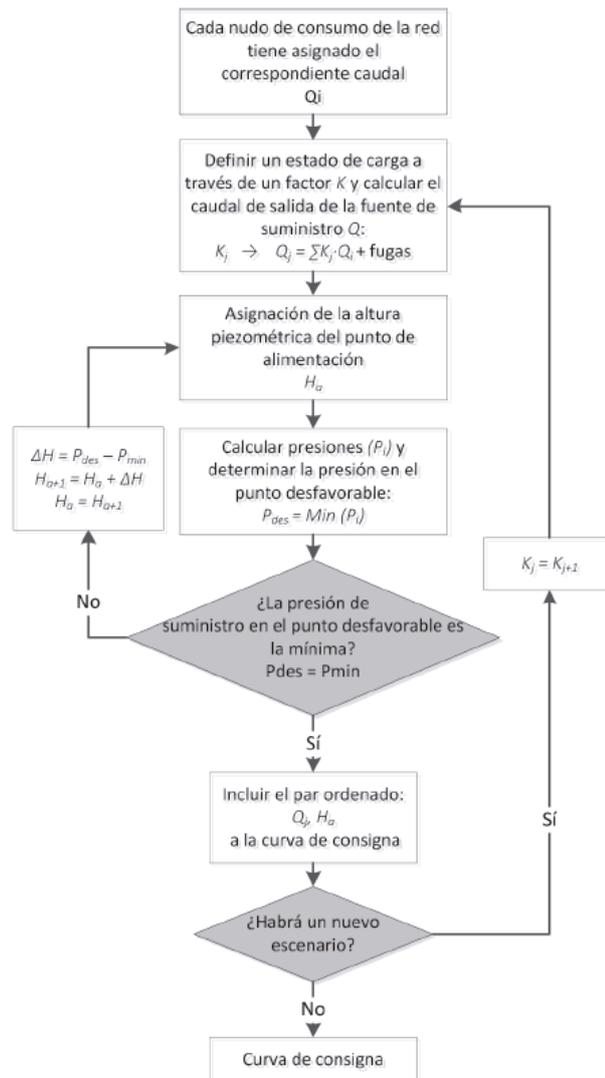


Imagen 2. Diagrama de flujo para la determinación de la curva de consigna.

Fuente: La curva de consigna, una herramienta útil para la esqueletización, sectorización y determinación de la capacidad de una red de suministro de agua. ISSN 0188-6266

La curva de consigna se calcula bajo un análisis dependiente de la demanda. Por otra parte, depende del grado de demanda entre los nudos de consumo, por lo que podría existir más de un nudo crítico en función del escenario analizado.

En el diagrama de flujo anterior, se resumen los pasos seguidos para la determinación de la curva de consigna cuando se tiene un solo punto de alimentación, como es el caso del bombeo de la Comunidad de Regantes del Canal de Villadangos (León). Una vez que se cuenta con el modelo matemático de la red, es necesario establecer la presión mínima de servicio en los nudos, pues este

definirá el grado de servicio que se quiere alcanzar; posteriormente, se deberán generar escenarios con un determinado estado de carga, el cual requerirá de una altura piezométrica en la cabecera que garantice la presión mínima en el nudo más desfavorable, esta altura es calculada iterativo; finalmente, cada uno de los pares ordenados (caudal inyectado, altura piezométrica de cabecera) configura un punto en la curva de consigna.

## 1.4 CÁLCULO HIDRÁULICO ESTACIÓN DE BOMBEO

### 1.4.1 CÁLCULO HIDRÁULICO

La determinación de las necesidades de bombeo viene determinada por el cálculo de la red, donde se refleja las necesidades de caudal punta y altura máxima de bombeo.

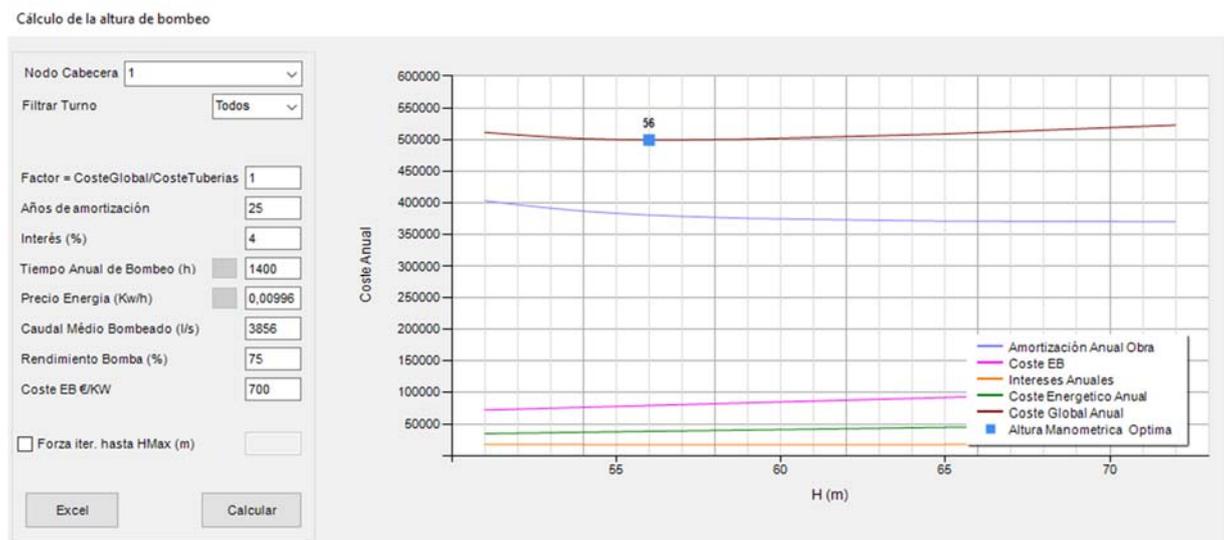


Gráfico 3 Cálculo de la altura de bombeo

Para el cálculo de la potencia de bombeo necesaria para el abastecimiento de la red proyectada se utiliza la siguiente expresión:

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

siendo

Q Caudal total a bombear (l/s)

- H Altura manométrica en metros (debe aportarse con los equipos de bombeo)
- $\eta$  Rendimientos de motor y bomba, tomándose 0,85 como valor de referencia

$$P_B = 2.880,57 \text{ kW}$$

La altura necesaria es de 55 mca. La potencia necesaria de los motores para el funcionamiento de las bombas se obtiene de la siguiente expresión:

$$P_M = \frac{P_B}{\eta_m}$$

siendo

- $P_B$  Potencia de equipos bombeo (kW)
- $\eta_m$  Rendimiento de los motores, tomándose el valor 0,90

$$P_M = 3.200,63 \text{ kW}$$

Para satisfacer estas demandas, se instarán **7 grupos de bombeo**, con las características que se exponen a continuación.

Tabla 1. Selección de equipos de bombeo

Caudal (l/s)								
TIPO BOMBA	Nº	Caudal (l/s)	Altura (m.c.a.)	$\eta$	Potencia (kW)	VDF	NSPH nec 3% (m)	P (kW)
Principal	5	620,0	55	85,50	500	2	7,81	2.500,0
Auxiliar	2	310,0	55	84,00	250	2	4,05	500,0

Esta selección permite disponer de una estación de bombeo flexible, capaz de responder a las variaciones diarias de demanda, regulando el número de bombas en marcha y su funcionamiento según las necesidades de la red en cada momento. El autómata, debidamente configurado y con la necesaria aprobación técnica antes de su puesta en servicio, gestionará la puesta en marcha escalonada de los equipos de bombeo, acorde a los parámetros y curvas de arranque que se le introduzcan.

El funcionamiento de las 7 bombas garantiza el abastecimiento de la red para la máxima demanda, cuantificada debidamente en el anejo hidráulico de este proyecto.

#### 1.4.2 DETERMINACIÓN DEL NPSH

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, 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 entra en ebullición y provoca el conocido fenómeno de cavitación, provocando efectos indeseados tanto en los elementos existentes como en el funcionamiento.

Todos los grupos motobomba tienen un NPSH requerido, que depende de las características propias del grupo que son suministrados por el fabricante. Por lo tanto, es un dato condicionante en la elección de las bombas atendiendo al NPSH disponible en el sistema.

La estación de bombeo es alimentada a través de una conducción de abastecimiento de diámetro 1.829 y con una longitud de 445,67 metros, que aporta el caudal necesario desde la balsa de regulación. Resulta necesario determinar el NPSH disponible que siempre debe ser superior al NPSH requerido.

La presión atmosférica ( $P_{atm}$ ) para la cota 876,20 m con una temperatura de 20°C puede establecerse en 9,12 m.c.a.

La altura manométrica en aspiración (H) se determina considerando la cota mínima de fondo en la balsa, 868,45 m.

La cota de eje del colector de aspiración es de 865,3 m.

La presión manométrica en aspiración de bombas a caudal máximo es de:

$$868,45 - 865,3 = 3,15 \text{ mca}$$

La pérdida de carga en el colector se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$h = 10,674 \times \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} \times D^{4,78}} \times L$$

Siendo el caudal de bombeo de 3,856 m<sup>3</sup>/s, y aumentándose la longitud de la conducción de abastecimiento en un 50% para tener en cuenta las pérdidas de carga que se producen debido a los elementos singulares, la pérdida de carga resultante en el colector de 1 m.m.

Con ello, se tiene

$$[\text{NPSH}]_{\text{disponible}} = 9,12 \text{ m.c.a.} + 3,15 \text{ m} - 1 \text{ m} = 11,27 \text{ mca}$$

En la aspiración se considera un **NPSH mínimo disponible de 11,27 mca**, siempre en la situación más desfavorable que permite estar siempre del lado de la seguridad.

## 1.5 COMPOSICIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

La estación de bombeo está diseñada para dar servicio a 3.030 ha, correspondientes al Sector I de la superficie regable de la Comunidad de Regantes del Canal de Villadangos (León) con una altura manométrica requerida al inicio de la red de 55 m.c.a. y para un caudal de diseño en cabecera ( $Q_d$ ), evaluado según la formulación de Clément de 3.856 l/s. La potencia total demandada a instalar en cabecera (estación de bombeo) será de 3.000 kW. Se seleccionan bombas centrífugas horizontales de cámara partida, fundamentándose en lo siguiente:

- Obtención de rendimientos superiores a las bombas verticales
- Menor coste de las bombas horizontales, frente a las bombas verticales de potencia equivalente
- Menor coste de obra civil (ausencia de cántara de aspiración)
- Menor coste de explotación, y mayor facilidad de realización de operaciones
- Mayor vida útil

### 1.5.1 UBICACIÓN Y COTAS

La ubicación de la estación de bombeo se encuentra en las parcelas recogidas en la siguiente tabla.

Tabla 2. Ubicación estación de bombeo

<i>Provincia</i>	<i>T.M.</i>	<b>Polígono</b>	<b>Parcela</b>	<i>Referencia Catastral</i>	<i>Superficie catastral (m<sup>2</sup>)</i>
León	Villadangos del Páramo	107	00108	24209A10700108	11.662,00
León	Villadangos del Páramo	107	00109	24209A10700109	13.898,00

La toma se realiza directamente desde la tubería de abastecimiento, que comunica la balsa de regulación con la estación de bombeo, mediante una tubería de acero helicosoldado DN 1.829 mm, que garantiza la velocidad adecuada en el colector de aspiración de las bombas.

### 1.5.2 OBRA DE TOMA DE Balsa DE REGULACIÓN

Como se ha descrito detalladamente con anterioridad, la salida de la balsa se realiza con doble tubería de acero helicosoldado DN 1.219 mm hasta la arqueta de filtrado. Desde la salida de esta y hasta el colector de aspiración de la Estación de Bombeo, se realiza con acero helicosoldado de DN 1.829 mm; el colector de aspiración es también de este mismo material y diámetro (ASH 1.829).

Previamente, y tal y como recoge la planta y perfil de la tubería de abastecimiento de la estación de bombeo, se encuentra ubicada tras la salida del fondo de balsa la Arqueta filtrado que incorpora además de los dos filtros de cadenas, las válvulas de mariposa de DN 1.200 mm para cierre de las tuberías procedentes de la balsa y válvula de mariposa de DN 800 mm de cierre de la salida de la tubería de desagüe de la balsa.

Esta arqueta de filtrado se encuentra equipada con dos filtros de mallas autolimpiantes, y la correspondiente pieza tipo pantalón en calderería de acero helicosoldado a la salida para conducir el agua filtrado al segundo tramo de la tubería de abastecimiento, que une dicha arqueta de filtrado con el colector de aspiración de la estación de bombeo.

Uno de los puntos delicados es el diseño de las embocaduras de las tuberías en las entradas y salida de la arqueta de toma y arqueta de filtro. Es importante el abocinamiento del tubo para evitar fenómenos de cavitación, en los encuentros angulares en las entradas del agua.

El diámetro mayor de las campanas marca la sumergencia mínima necesaria, para evitar fenómenos de vórtices en las entradas, la profundidad mínima debe ser igual a 1,5 veces el diámetro de la tubería.

### 1.5.3 NIVEL DE LA LÁMINA DE AGUA EN LA Balsa DE REGULACIÓN

Para el diseño de la estación se han considerado los datos del nivel máximo y mínimo de la balsa de regulación:

- Nivel máximo de llenado: 876,00 msnm
- Nivel mínimo de explotación: 868,45 msnm

La variación del nivel de la balsa proporcionará una carga hidráulica en la estación de bombeo, que hará que las bombas trabajen aportando menos presión y más caudal, es decir, desplazándose el punto de funcionamiento de las bombas a la derecha de su curva.

Para que las bombas estén siempre en carga se ha ubicado la estación de bombeo a una cota determinada de la balsa y a profundidad suficiente por debajo de la cota del terreno para compensar las pérdidas de carga en el sistema de filtración, tubería de captación y elementos singulares.

#### 1.5.4 EQUIPOS DE IMPULSIÓN

Se analizan el conjunto de pérdidas de carga entre la balsa y la estación de bombeo, para calcular la carga hidráulica que aportará la balsa de regulación a la estación de bombeo, en función de su nivel de llenado y dependiendo en cada momento de la altura de funcionamiento de la estación.

- Cota geométrica nivel máximo de balsa
- Cota geométrica nivel mínimo de balsa
- Pérdidas de carga en salida de balsa, toma de fondo y filtrado
- Pérdidas en colector de aspiración de la estación de bombeo
- Cota geométrica de colector de aspiración
- Carga máxima disponible en el bombeo
- Carga mínima disponible en el bombeo

El aporte del total del caudal se realiza mediante el fraccionamiento en diferentes caudales atendiendo a la autonomía del diseño, y la capacidad de regulación.

Los caudales de bombeo deben ser progresivos.

Con este sistema de trabajo forzamos a trabajar a todas las principales al completo para el momento de máxima demanda, pero se asume que esta situación sólo está prevista para días puntuales del mes de julio.

#### 1.5.4.1 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO

El punto de funcionamiento, en función del nivel de llenado de la balsa de regulación, la altura a impulsar por el bombeo a caudal máximo para garantizar los requerimientos de presión de los puntos de demanda es:

- Caudal punta (l/s)
- Altura máxima (mca)
- Altura mínima (mca)

#### 1.5.4.2 CURVA DE CONSIGNA

Descrito en el punto 3 de este anejo.

#### 1.5.4.3 CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA

Se trata de un bombeo directo a red, con un dimensionamiento para abastecer la zona regable durante el período de máxima demanda para una jornada de riego de 16 horas.

La altura manométrica requerida al inicio de la red es de variable entre 55 m.c.a., para un caudal de diseño en cabecera ( $Q_d$ ), evaluado según la formulación de Clément de 3.856 l/s (según resultados del anejo Cálculo Hidráulico de la Red de Riego, realizada mediante el programa de cálculo, optimización y simulación SIGOPRAM).

Se define la curva resistente del sistema impulsión-red de riego como una parábola del tipo:

$$H = H_0 + KQ^2$$

siendo

- H: Altura de bombeo necesaria para el funcionamiento correcto de la red
- H<sub>0</sub>: Altura de bombeo necesaria si no hubiese pérdidas de carga en la red
- K: Coeficiente que relaciona la pérdida de carga con el caudal bombeado
- Q: Caudal demandado por la red de riego

La curva resistente del sistema se calcula para el punto más desfavorable de la red, que es aquel en que la diferencia entre la presión mínima dinámica obtenida, y la presión requerida en dicho nudo, sea MINIMA.

En función de estos datos, finalmente se seleccionan los siguientes equipos:

- **Grupo principal:** cinco equipos motobomba, todos ellos con variador de frecuencia.
- **Grupo auxiliar:** dos equipos motobomba, ambos con variador de frecuencia.

Las siete bombas serán capaces de suministrar el 100 % del caudal máximo, mientras que la bomba de reserva se deja para una reserva activa y poder afrontar una posible avería.

Las bombas auxiliares suministran el 50 % del caudal proporcionado por una bomba principal, de esta manera las dos bombas auxiliares pueden hacer las veces de bomba principal.

#### 1.5.4.4 CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO

Las bombas elegidas son horizontales de cámara partida de doble aspiración. Dentro del catálogo de distintos fabricantes se han analizado varias marcas comerciales, buscándose la fiabilidad, los mejores rendimientos y consecuentemente, el menor consumo eléctrico, así como la mayor calidad que garantice su duración con las pertinentes labores de mantenimiento y su funcionamiento en el punto para el que han sido diseñadas.

Se exige que, en cualquier situación de funcionamiento para las premisas establecidas de rango de presiones en función del estado de la balsa y la demanda de la red, esté por encima del 80 % de eficiencia.

Se aportan las gráficas comerciales suministradas por un fabricante y consideradas para el estudio de los fraccionamientos y atendiendo a que cumplan con los rendimientos exigidos a lo largo de la curva de consigna en los diferentes puntos de corte.

#### 1.5.4.5 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO

Los materiales de los componentes de las bombas serán acordes a la norma ASTM de aplicación.

#### 1.5.4.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES

Las bombas se accionarán con motores eléctricos trifásicos asíncronos de rotor de jaula, todos ellos con la construcción especial (aislamiento y rodamientos) para ser accionados mediante variador de velocidad, con características de funcionamiento según las normas internacionales IEC-34 y con ventilación forzada.

### 1.5.5 CONTROL DE CALIDAD A APLICAR EN BOMBAS

El control de calidad en bombas consistirá en:

- Las pruebas de funcionamiento de caudal, presión y rendimiento se realizarán a la velocidad real de régimen del equipo y deberán cumplir con la norma ISO 9906 GRADO 1 pero SIN tolerancia en RENDIMIENTO (tolerancia 0 %), ni ALTURA (tolerancia 0 %) ni CAUDAL (tolerancia 0 %). Se tomarán medidas de temperatura, revoluciones y vibraciones, que deberán cumplir con la norma ISO 10816 tabla A.3 tipo rígido, zona B/C a su velocidad nominal de régimen.
- Deberán suministrarse certificados de materiales de los componentes principales del equipo según EN 10204-3.1.B, en los que se indiquen las características químicas y mecánicas de los mismos. El fabricante aportará los procedimientos para las inspecciones y pruebas de todo el suministro, los cuales serán aprobados y discutidos con la Propiedad. Serán comprobados en fabricación por una empresa de control de calidad.

El procedimiento de control de calidad a comprobar en fábrica y ensayos a realizar será:

Tabla 3. Control de calidad aplicable a los equipos de bombeo

Nº	OPERACIÓN	CÓDIGO	Observación
1	Certificados de materiales para cuerpo, eje, tapa y rodete	EN 10204-3.1	Ver nota 1
2	Equilibrado rodetes	s/fabricante	
3	Mecanizado y montaje de la bomba	s/ planos	Ver nota 2
4	Prueba hidrostática cuerpo	s/especificación	
5	Pruebas de funcionamiento	EN 9906 / ISO 108016-3 / ISO 5199	Ver notas 3, 4 y 5
6	Acabado final, dimensiones de bridas y del anclaje, acoplamiento y eje y sistema de engrases	s/especificación y planos	Ver nota 6
7	Limpieza, calidad de pintura, espesores y adherencia	s/especificación EN2409	
8	Protocolo pruebas de rutina en fábrica del motor eléctrico	EN 10204-3.1 UNE/VDE/IEC	Ver nota 7
9	Comprobación de placas características bomba y motor	s/pedido	
10	Sellado de identificación LRE en todas las unidades	s/notas de guía	
11	Dossier de calidad del fabricantes		Ver nota 8
12	Nota de aceptación	Procedimiento LRE	

Notas:

1. Para cuerpos, tapas y rodetes en hierro fundido se aceptará certificado EN 10204-2.2 o 2.1, según disponibilidad en el proceso de acopios del fabricante comprobándose por parte del inspector la fiabilidad de dicho proceso.
2. En cuerpos multietapa se comprobará la correcta estanqueidad entre etapas del cuerpo y tipo de cojinetes de empuje
3. Se podrá aplicar cualquier otra norma internacionalmente reconocida tales como ISO, BS, HI o API. Cuando no se indique en el pedido la tolerancia de prueba según EN 9906, se aplicará el grado 2 de la tabla 10
4. Los valores de vibraciones se tomarán según figura 2 para motores no sumergidos, comparándose con los límites expresados en la tabla A4 (montaje flexible) zonas A/B de ISO 10816-3
5. Cuando la bomba incorpore un eje cuya longitud dificulta la prueba de funcionamiento en banco, se permitirá su eliminación para dichas pruebas, quedando sujeto a las pruebas definitivas en planta que permita comprobar vibraciones o esfuerzos anómalos.
6. Se comprobará el sistema o tipo de acoplamiento entre bomba y motor eléctrico no sumergido.
7. Los motores eléctricos superiores a 100 CV se inspeccionarán en origen, aplicando protocolo correspondiente. Para motores de 100 CV o inferiores, se podrá aceptar certificado EN10201-2.1 cuando el fabricante esté certificado según ISO 9000 o norma equivalente.
8. Cuando este material se utilice en un abastecimiento, línea de distribución o almacenamiento de agua potable, se requerirá el marcado CE según la Directiva 89/106/CE sobre productos de la construcción.

## 1.5.6 FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO

### 1.5.6.1 COMPOSICIÓN GENERAL DEL BOMBEO

Las bombas siempre estarán en carga y la aspiración no conllevará riesgo de cavitación.

Las bombas principales y auxiliares funcionarán con una tensión de 690 V/50 Hz, y tendrán suministro desde el transformador dispuesto para ello (1 transformadores de 3.700 Kva). Además, se proyecta un 1 transformador de 100 kVA para servicios auxiliares).

### 1.5.6.2 FUNCIONAMIENTO

Tras el llenado y presurizado de la red mediante una de las bombas auxiliares, y cuando el caudal de la red sea suficientemente importante, arrancarán secuencialmente las bombas auxiliares tras el programa de llenado/presurizado y podrán, gracias a que disponen de variador de velocidad, funcionar las dos simultáneamente hasta llegar a suministrar el 110 % del caudal de uno de los equipos principales, momento en que entrará en funcionamiento la primera bomba principal, también con variador de velocidad, reduciendo la velocidad de las bombas auxiliares. Cuando el caudal sea superior al otorgado por las dos bombas auxiliares más la bomba principal, arrancará la segunda bomba principal, que puede ser con variador de velocidad o sin variador, en función de la demanda, y así hasta completar el caudal máximo a suministrar por la estación de bombeo a la red.

### 1.5.6.3 SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO

El bombeo proyectado está formado por **5 equipos motobomba principales y 2 equipos motobomba auxiliares.**

Los grupos motobomba equipados con variador de velocidad, así como los que no lo están alternarán su funcionamiento equilibrando sus horas de funcionamiento.

La regulación de la estación de bombeo corresponde a un modelo clásico de regulación manométrica, muy utilizado en estaciones de bombeo para riego en las cuales se bombea directamente a la red de distribución. En este modelo clásico, los arranques y paradas de los grupos principales se realizan mediante consignas de caudal-presión suministradas por un manómetro digital que con la lectura del caudalímetro principal instalado en el colector de impulsión se obtendrá en cada instante la presión de consigna de funcionamiento, según la fórmula ya expuesta con anterioridad. Por debajo del caudal de funcionamiento de un grupo principal, funciona el grupo auxiliar tratando de dar un valor de consigna de presión, cuyo valor real es suministrado por un transductor de presión situado asimismo en el colector de impulsión.

El motor de las bombas equipadas con variador de velocidad, aumenta ésta cuando la presión descende, procediendo a la inversa en caso de aumento de presión. Cuando se alcanza la velocidad nominal del motor, si la presión de consigna no se alcanza, se arranca el segundo grupo auxiliar hasta que pueda arrancar el primer grupo principal con variador si no es completo, o un grupo con arrancador si el caudal es suficiente para él, actuando los grupos con variador de frecuencia de apoyo al sistema.

El variador impone la velocidad de régimen de giro al motor accionado por éste, continuando el ciclo de vigilancia de presión hasta llegar a su máxima velocidad, en cuyo caso, nuevas caídas de presión significarían el arranque o bien de un grupo auxiliar o bien de un grupo principal. Con las cuatro bombas provistas de variador, se podrá ajustar a la curva característica de la red de riego perfectamente en cada momento. Del mismo modo, el aumento de presión por encima de la presión consigna cuando solo funcione el grupo auxiliar accionado por el variador a su mínima velocidad, significará la parada de este.

El arranque de los grupos de bombeo, tanto principales como auxiliares, irá rotando de tal forma que las horas de funcionamiento de todas ellas sea prácticamente igual y por tanto, el desgaste de los mismos sea homogéneo. Siempre funcionará una bomba auxiliar con variador con la del arrancador. Con los variadores de velocidad se consiguen puntos de corte múltiples a lo largo de la curva resistente, puesto que al reducir o aumentar la velocidad, estamos desplazando la curva de bombeo.

#### 1.5.6.4 PROGRAMACIÓN Y RENDIMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO

Se adjunta en el anexo a este anejo la HOJA DE EJEMPLO DE PROGRAMACIÓN de las bombas de acuerdo a la demanda de caudales y presiones que se van produciendo en la red hasta llegar a la máxima demanda de ésta, momento en el que entrarán todas las bombas en funcionamiento.

Las filas en color amarillo son “zonas límite” donde el sistema puede tomar la opción de arrancar una bomba principal o forzar el funcionamiento de las bombas con variador, en función del rendimiento global energético que se produzca en cada punto, en función de la programación realizada al sistema y de la lectura instantánea de parámetros que le permita al sistema determinar cuál es la opción energéticamente más eficiente. Evidentemente, esta situación varía en función del nivel de llenado de la balsa y, por tanto, el sistema de decisión es “dinámico” (función de lecturas instantáneas de parámetros, de ahí que el sistema deba de funcionar con una red rápida de comunicación Ethernet o superior), no es un sistema de decisión fijo.

#### 1.5.6.5 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Antes de la puesta en marcha se presentará un listado de parámetros de funcionamiento del sistema en función del caudal demandado y la presión de consigna de manera que se conozca para cada escalón de caudal de 10 l/s la bomba entrará en funcionamiento (tanto de manera individual por bomba como para el conjunto de la instalación) su:

- Presión
- Caudal
- Rendimiento
- Potencia
- Frecuencia

Previa a su inclusión en la programación del automatismo, se facilitará a la dirección de obra y a la Comunidad de Regantes para, si es correcta, proceder a su aprobación.

La forma de funcionamiento del sistema será el siguiente:

- Las bombas rotarán no por horas de funcionamiento, sino por potencia unitaria consumida (parámetro que indica las horas de funcionamiento al régimen determinado):
  - Cuando funcionen las bombas con variador: se pondrá en marcha una bomba acelerando hasta su 100 %, momento en el cual se quedará a esa velocidad para que arranque la segunda bomba del variador, que irá acelerando hasta conseguir el caudal demandada, y luego sustituirla arrancando bombas de arrancador, si debe bajar de vueltas a las de variador para alcanzar la consigna, la hará sobre la bomba variada de menor potencia consumida
  - Cuando funcione una bomba con variador y otra fija, funcionará acelerando la variada de menor potencia consumida hasta alcanzar el 100 %, momento en el cual arrancará la fija desacelerando previamente la del variador e ir acelerándola en función de la presión de consigna a alcanzar. Cuando llegue al 100 % deberá arrancar una segunda bomba de arrancador desacelerándola del variador (pero nunca parar esta para arrancar otra de variador).

Puede darse el caso que en un punto de funcionamiento sea más interesante, por menor consumo eléctrico tener arrancadas las bombas con variador (varias) en vez de una sola.

---

Con el fin de conseguir el mismo número de horas de funcionamiento para que el desgaste de bombas sea el mismo en todos los equipos, el sistema deberá ser capaz de rotar las bombas de manera que todas tengan un número similar de horas de funcionamiento al final del año.

## 1.6 FILTRADO

Se contempla la alimentación de los equipos que se describen a continuación y que permiten dotar de energía eléctrica a los dos filtros, las válvulas de la toma de fondo de la balsa, así como las compuertas de derivación de agua desde el canal a la balsa de regulación, tal y como recoge el esquema unifilar del cuadro “Servicios Auxiliares”. Además, los planos de planta nº 10 “Instalación eléctrica en baja tensión. Hoja 5 de 5” reflejan la distribución y trazado.

La toma de agua del canal es directa a la balsa lo que puede provocar la entrada de sólidos en la misma que puedan ocasionar daños en los rodetes de las bombas, o en los elementos de riego.

De los distintos sistemas existentes en el mercado y analizada (basándose en las experiencias previas) en la configuración general de otras comunidades de regantes en la zona, ya modernizadas, se opta por no disponer una combinación de reja de desbaste con un limpiarrejas automático, que evitaría la entrada de grandes sólidos. No existe problemática con las algas en la situación actual, desechándose la instalación de ambos elementos en esta fase de proyecto.

No obstante, se estudió la posibilidad de situar dicha reja, aunque se desechó su instalación en esta fase de proyecto. Sería necesaria una reja con paso útil entre barrotes de 50 mm de longitud 3,80 metros y 10 mm de anchura, que aportaría un área útil en zona de barrotes de 3,80 m<sup>2</sup>, con una inclinación de 75 °.

Se dispone en la arqueta de toma de fondo un sistema de aireación que evite la proliferación de algas en esta zona especialmente, que pudiesen entrar a la tubería de salida a riego.

La siguiente fase de filtrado consiste en la colocación de dos filtros de cadenas rotativos con una luz de malla de 1,5 mm, dispuestos en paralelo, con capacidad de filtrado cada uno de ellos de 3.100 l/s. Se justifica la instalación de dos filtros en previsión de posibles averías en campaña de riego, de forma que no se interrumpa el riego por averías. Se han dimensionado los filtros con capacidad del 80% de la máxima necesidad, para que en condiciones normales, si es necesario puedan trabajar de manera simultánea y que en caso de avería uno de ellos garantice el suministro necesario ampliando al máximo la jornada de riego.

En esta fase se interceptan los elementos menores y mediante una bomba de auto lavado permite limpiar de manera continua los paneles filtrantes. Cada uno de los filtros, que son de las mismas características, posee dos sondas de nivel a cada lado de la arqueta que detecta la diferencia

de cota y mediante un autómatas, realizada los lavados si este desnivel es superior a 0,3 m (la máxima pérdida de carga admisible es de 0,5 m).

Las características de los filtros a instalar son:

- Capacidad de filtrado: 3.100 l/s
- Luz de malla: 1,5 mm
- Cota nivel mínimo de agua: 869,60 msnm
- Cota nivel máximo de agua: 876,10 msnm
- Nivel plataforma de servicio: 876,75 msnm
- Turbiedad del agua: 100 ppm aprox
- pH mínimo: 6,5
- Procedencia del agua a tratar: balsa de regulación
- Peso total del equipo: 5.421 kg aprox.

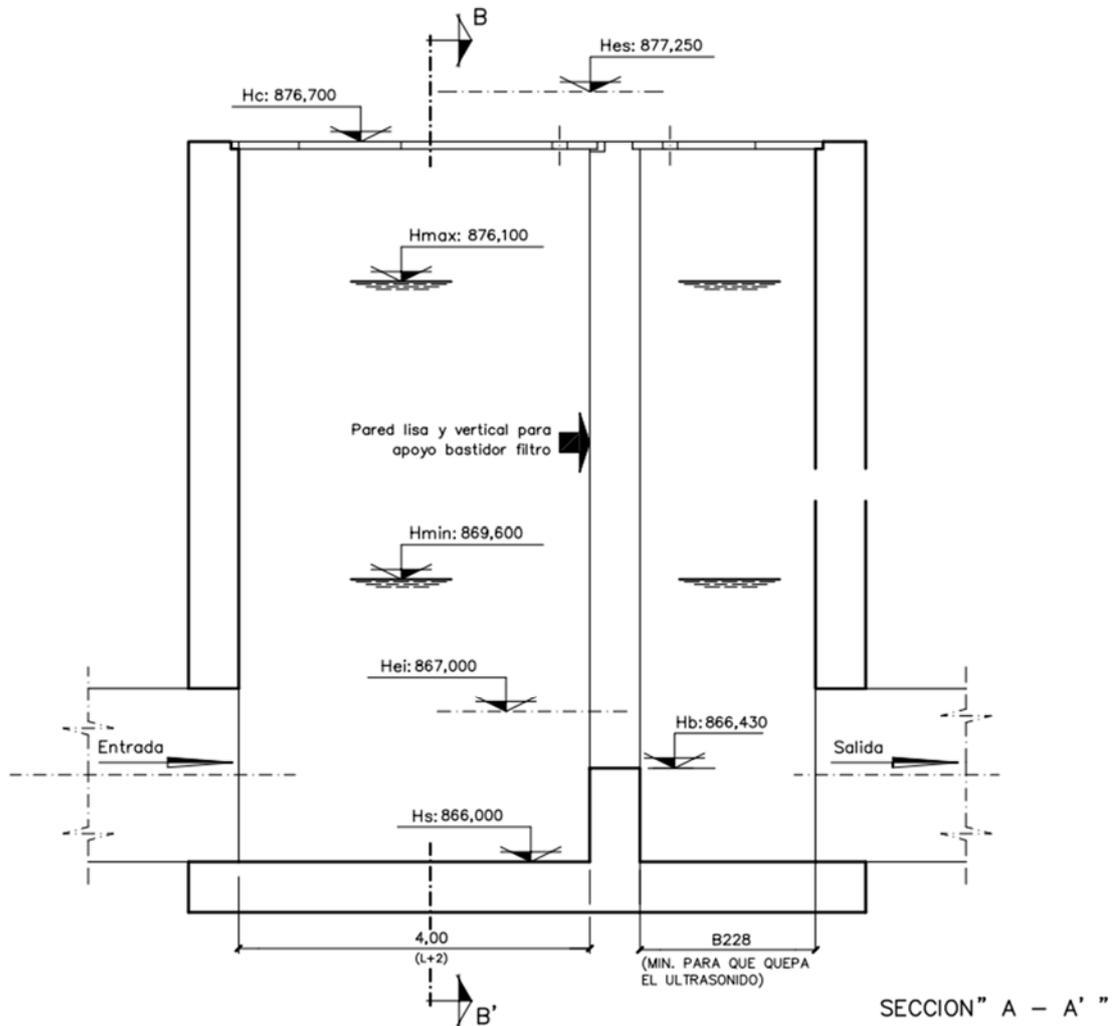


Imagen 3. Sección arqueta de filtrado

La instalación de estos filtros de cadenas exige la realización de una arqueta para su ubicación, en función del caudal a tratar y los niveles de agua, así como las condiciones del equipo. En este caso la altura de la arqueta viene condicionado por la sumergencia en la boca de la tubería de aspiración, la cota de solera está establecida en la cota 866,00 m.s.n.m. y los niveles máximos en el canal y su resguardo, 876,10 m.s.n.m.; la cota de coronación de los muros de la arqueta se fija en 876,70 m, y la altura total es de 10,65 m.

El ancho de la arqueta debe cumplir según los condicionantes de aspiración, un mínimo de 4,50 m por cada filtro, mientras que las necesidades de ancho del filtro son 2,38 m, y se debe de considerar la anchura de una compuerta lateral de 0,8x1,5 m, que permita el paso de agua en caso de avería del filtro, y la ubicación de una escalera de acceso protegida. En cuanto a la longitud, debemos considerar que la arqueta viene dividida en dos cámaras, la primera de ubicación de los filtros, y la

segunda donde ya se ha realizado el filtrado del agua y se ubica la boca de aspiración de la tubería de abastecimiento a la estación de bombeo.

## 1.7 GRUPOS DE BOMBEO

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

Como ya se ha visto la altura en la red generada en el cálculo hidráulico, no tiene en cuenta la presión disponible en aspiración. Hay que remarcar que esta presión en aspiración será variable en función de la altura de la lámina de agua de la balsa de regulación y del caudal demandado en la estación de bombeo. En diseño de los grupos de bombeo, se considera la presión mínima disponible en aspiración considerando la cota mínima y las pérdidas intermedias ocasionadas para un caudal de diseño en cabecera ( $Q_d$ ), evaluado según la formulación de Clément es de 3.856 l/s.

La altura manométrica en aspiración ( $H_{asp}$ ), tenemos en cuenta la cota mínima del canal, del fondo de balsa, tomada en la depresión de la toma de fondo de la misma y que se establece en 868,55 msnm y la cota a eje en el colector de aspiración en la estación de bombeo 865,30 msnm, por lo tanto y como ya se ha desarrollado anteriormente la presión disponible en para la totalidad del caudal en la cota mínima de la balsa (el agua entraría directamente del canal, a través de la balsa pero sin acumularse):

$$H_{aspiración} = Z_{canal} - Z_{eje\_aspiración} - \Delta H = 868,45m.c.a - 865,30m.c.a - 1m.c.a = 2,15m.ca.$$

Los grupos de bombeo deben ser capaces de dar una presión de 55 m.c.a, para las condiciones generales de funcionamiento, teniendo la carga en aspiración en función de la lámina de agua en la balsa de regulación, y desestimando la carga en aspiración debido a la cota establecida en el nodo de impulsión.

El aporte del total del caudal se realiza mediante el fraccionamiento en diferentes caudales atendiendo a la autonomía del diseño, y la capacidad de regulación.

Se opta por un de fraccionamiento escalonando el caudal, con un total de 7 bombas, divididas en 5 grupos principales y 2 bombas auxiliares que distribuyen el 50% del caudal de las principales.

Como se acaba de mencionar, para evitar posibles inconvenientes que pueda generar la paralización de un grupo de bombeo en plena campaña de riego en período punta, se proyecta instalar una bomba de las denominadas grandes o principales como reserva.

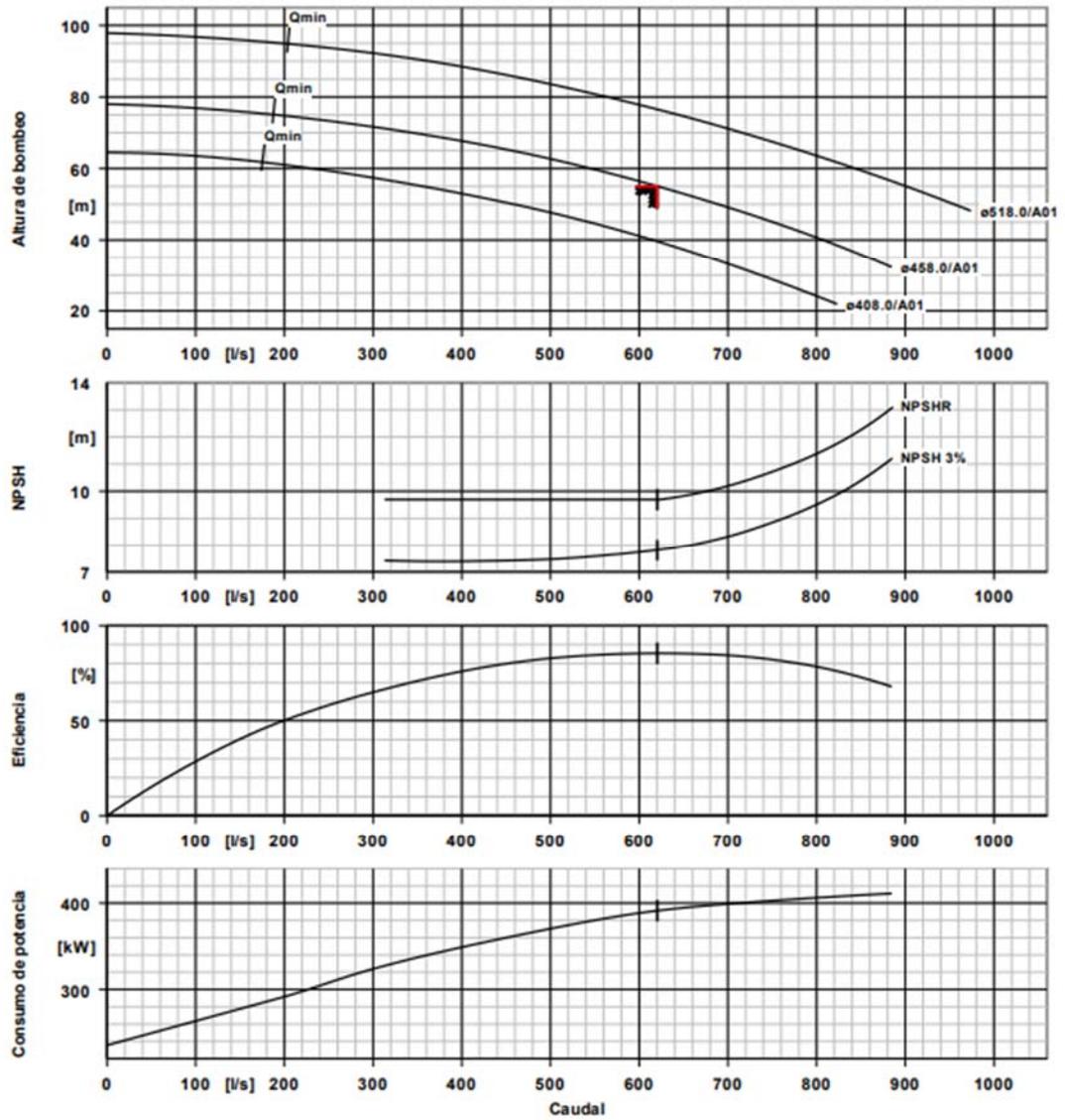


Imagen 4. Curva característica bomba grande o principal. Caudal 620 l/s a 55 mca y 500 kW.

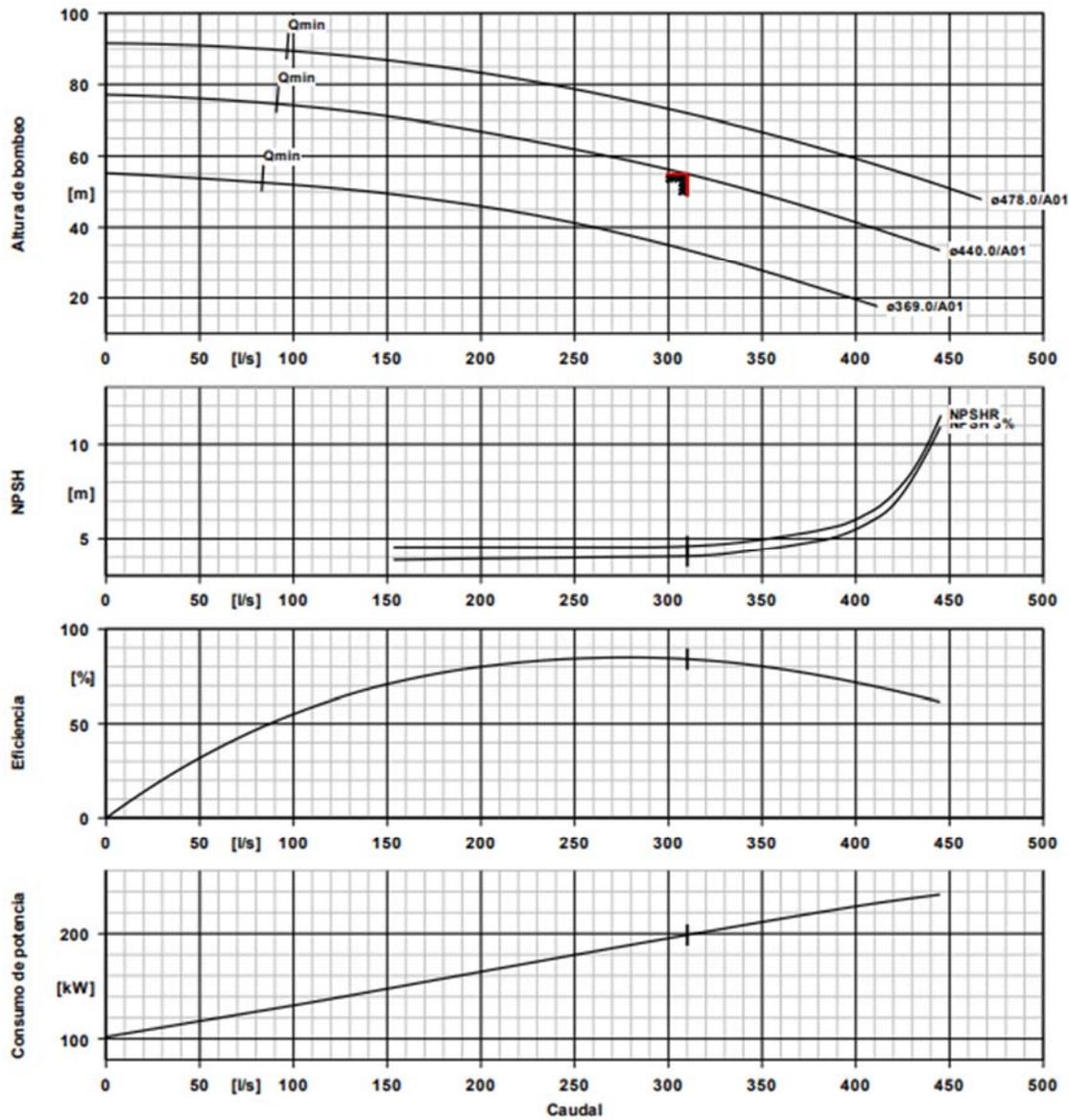


Imagen 5. Curva característica bomba auxiliar o pequeña. Caudal 310 l/s a 55 mca y 250 kW.

## 1.8 COLECTORES DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

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 1,5 m/s.

$$Q = V \times S_{colector}$$

Los colectores de la estación de bombeo serán de acero al carbono S-275-JR conforme a la norma EN10025-1-2:2006. Las dimensiones y masas de los tubos cumplirán la norma UNE-EN 10220:2004.

Las uniones entre tramos serán con brida de acero al carbono S-275-JR conforme la norma EN 10025-1-2:2006 y las dimensiones de las bridas cumplirán la norma UNE-EN-ISO 1092-1:2008+A1:2015. Los tornillos cumplirán calidad 8.8, zincados, conformes con la norma UNE-EN ISO 898-1:2015. El proceso de pintado comprenderá las siguientes fases: granallado de la superficie hasta rugosidad SA 2 ½, conforme la norma UNE-EN ISO 8501-1:2008, pintura en polvo epoxi-poliéster de 120 micras de espesor, segunda capa de pintura en polvo de espesor mínimo 80 micras.

La tubería de aspiración llega a la estación mediante un diámetro 1.829 mm, y la salida a la red de riego se hace con un diámetro 1.626 mm. Los grupos de bombeo se conectan a los colectores mediante otros secundarios de las mismas características.

- COLECTOR DE ASPIRACIÓN (3.100 l/s): DN 1829
- TUBERÍA DE ASPIRACIÓN BOMBA 500 kW (620 l/s): DN 800
- TUBERÍA DE ASPIRACIÓN BOMBA 250 kW (310 l/s): DN 600
- COLECTOR DE IMPULSIÓN (3.100 l/s): DN 1626
- TUBERÍA DE IMPULSIÓN BOMBA 500 kW (620 l/s): DN 600
- TUBERÍA DE IMPULSIÓN BOMBA 250 kW (310 l/s): DN 400

Para la determinación del **colector de by-pass**, se tiene en cuenta la posibilidad de su uso para el llenado de la red principal, aunque esta posibilidad solo es factible en las zonas con cota favorable.

Tenemos en cuenta la totalidad de la red, para unas velocidades de llenado inferior a 0,4 m/s, con un tiempo de llenado entre 16- 24 horas, el diámetro necesario es **800 mm**.

Se comprueba la posibilidad de dar turnos con riego por gravedad, a través de dicho by-pass.

Una vez determinados los diámetros de los colectores, se tendrán 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 colector individual aspiración**, a cualquier elemento que ocasione cambios en el flujo, y una separación entre colectores individuales superior **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 **10 °**, se diseñan excéntricos para evitar concentraciones de burbujas de aire.

## 1.9 ESPEORES DE LOS COLECTORES

Los colectores deberán resistir la presión hidrostática que se genera, sobre todo en la impulsión. Se diseñan en acero electrosoldado, sometido a un 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 un tratamiento anticorrosivo exterior e interior con pintura epoxi.

Los tubos de acero tienen la condición de metálicos. El acero empleado en su fabricación debe ser del tipo no aleado y completamente calmado, según lo indicado en la norma UNE-EN 10020:2001, pudiendo ser sometido a tratamiento térmico.

El acero de estos tubos debe tener una aptitud garantizada al soldeo, según lo indicado en la norma UNE-EN 10025:2006.

Las características mecánicas del acero a emplear son las contempladas en la tabla 20, apartado 3.3.3 Características técnicas de la Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión del CEDEX.

Tabla 20. Características mecánicas del acero (UNE EN 10025:1994 y UNE 36080:1992)

Tipo de acero		Resistencia mín. a la tracción Rm (N/mm <sup>2</sup> )		Limite elástico mínimo Le <sub>min</sub> (N/mm <sup>2</sup> )		Alargamiento en la rotura A <sub>min</sub> (%) L (longitudinal) y T (transversal)					
UNE 36080	UNE EN 10025	e<3	3<e<40	e<16	16<e<40	e<1	1<e<1,5	1,5<e<2	2<e<2,5	2,5<e<3	3<e<40
A 310	S 185	310 a 540	290 a 510	185	175	10 (L)8 (T)	11 (L)9 (T)	12 (L)10 (T)	13 (L)11 (T)	14 (L)12 (T)	18 (L)16 (T)
AE 235	S 235	360 a 510	340 a 470	235	225	17 (L)18 (T)	18 (L)16 (T)	19 (L)17 (T)	20 (L)18 (T)	21 (L)19 (T)	26 (L)24 (T)
AE 275	S 275	430 a 580	410 a 560	275	265	14 (L)12 (T)	15 (L)13 (T)	16 (L)14 (T)	17 (L)15 (T)	18 (L)16 (T)	22 (L)20 (T)
AE 355	S 355	510 a 680	490 a 630	355	345	14 (L)12 (T)	15 (L)13 (T)	16 (L)14 (T)	17 (L)15 (T)	18 (L)16 (T)	22 (L)20 (T)
A 490	E 295	490 a 660	470 a 610	295	285	12 (L)10 (T)	13 (L)11 (T)	14 (L)12 (T)	15 (L)13 (T)	16 (L)14 (T)	20 (L)18 (T)
A 590	E 335	590 a 770	570 a 710	335	325	8 (L)6 (T)	9 (L)7 (T)	10 (L)8 (T)	11 (L)9 (T)	12 (L)10 (T)	16 (L)14 (T)
A 690	E 360	690 a 900	670 a 830	360	355	4 (L)3 (T)	5 (L)4 (T)	6 (L)5 (T)	7 (L)6 (T)	8 (L)7 (T)	11 (L)10 (T)

Imagen 6. Características mecánicas del acero

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 (mm)
- MDP: Presión máxima de diseño (MPa)
- D: Diámetro del tubo (m)
- σ<sub>adm</sub>: Tensión a tracción admisible del acero (MPa)

Se ha previsto una MDP debido a la estimación de la sobrepresión del golpe de ariete.

Igualmente, se considera un sobre espesor para compensar la corrosión de 2,50 mm.

El Acero S-275 tiene un límite elástico de 275 N/mm<sup>2</sup>, y se adopta un coeficiente de seguridad en los cálculos de 2.

DATOS CÁLCULO ESPESOR COLECTOR DE ASPIRACIÓN					
e (mm)	11	D (mm)	1829		
		P <sub>TRABAJO SISTEMA</sub> (mca)	55	P <sub>SEGURIDAD</sub> (mca)	82,5
Las velocidades en la tubería de impulsión recomendadas están entre 2,5 m/s y 3,5 m/s (velocidad por encima de la cual si todas las bombas están funcionando podrían provocar problemas de durabilidad). Para la presión a considerar se estima un coeficiente de seguridad de 1,50.					
					σ: Tensión Traccial del material (Kp/mm <sup>2</sup> )
					e: Espesor Teórico (mm)
					P: Presión de Cálculo (kg/mm <sup>2</sup> )
					D: Diámetro (mm)
		σ (Kp/mm <sup>2</sup> )	6,86		

Imagen 7. Ejemplo de cálculo/comprobación de espesores

A pesar de los distintos valores obtenidos en el cálculo y por 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 adopta los siguientes espesores de tubo, valores consideramos del todo admisible, cubriendo con seguridad las tensiones previstas.

Tabla 4. Espesores adoptados para colectores

	DN (mm)	Espesor Mínimo de cálculo (mm)	Espesor mínimo a instalar (mm)
COLECTOR DE ASPIRACIÓN (mm)	1829	6,55	11
COLECTOR DE IMPULSIÓN (mm)	1600	5,82	11
TUBERÍA DE ASPIRACIÓN BG (mm)	800	2,86	10
TUBERÍA DE IMPULSIÓN BG (mm)	600	2,15	10
TUBERÍA DE ASPIRACIÓN BP (mm)	600	2,15	10
TUBERÍA DE IMPULSIÓN BP (mm)	400	1,43	6,3

## 1.10 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:

- Colector general de aspiración general de acero helicoidal de DN 1.829 mm (espesor mínimo 11 mm).
- Colector de aspiración individual, compuesta por los siguientes elementos:
  - Ventosas trifuncionales intercaladas, de cierre de baja presión y antigolpe de ariete
  - Válvula de mariposa embridada o ranurada, atendiendo al diámetro
  - Colector individual con una longitud igual o superior a 5 veces el diámetro

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 10°.

De esta forma, 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 formado por una 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 10°
  - Una válvula antirretorno de doble clapeta o bola (según diámetro) ranurada
  - Válvula de mariposa ranurada actuador-reductor
  - Codo de 45° de enlace con colector general
- Colector general de impulsión general de acero helicoidal y diámetro nominal 1.626 mm (espesor 11 mm), en el colector se dispone:
  - Ventosas trifuncionales intercaladas, de cierre de baja presión y antigolpe de ariete
  - Colector aguas arriba del caudalímetro, de longitud igual o superior a 5 veces el diámetro nominal

- Caudalímetro electromagnético
- Colector aguas arriba del caudalímetro, de longitud igual o superior a 3 veces el diámetro nominal.
- Colector by-pass, donde se dispondrán elementos de seguridad contra sobrepresiones y depresiones, además de permitir el llenado de la red por gravedad sin el uso de las bombas.
  - Válvula antirretorno de doble clapeta ranurada
  - Válvulas de mariposa ranuradas
  - Válvula anticipadora de onda

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 la misma en sentido contrario al de trabajo (y por igual al motor eléctrico de arrastre acoplado a ella), lo que produce un embalamiento pernicioso de la máquina. Además, evita el vaciado de la tubería de impulsión a través de la bomba cuando ésta está parada y se protege así a la bomba contra el exceso de presión.
- Válvula de mariposa 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.
- Carrete telescópico de desmontaje. Facilita el montaje y desmontaje de la cadena de elementos asociada entre bridas.
- Válvula anticipadora de onda: Válvula de control diseñada para anticipar ondas y evitar el golpe de ariete, derivado muchas veces de fallos eléctricos. Es una válvula pilotada, con dos pilotos que detectan la presión a través de una conexión con el cabezal de impulsión. Existe un piloto de alta presión, para abrir la válvula y aliviar el exceso de presión; y un piloto de baja presión que abre rápidamente por debajo de las presiones normales de trabajo antes del retorno de una onda. Se proyecta la instalación de una **válvula hidráulica anticipadora de onda DN300**.

106-RPS-L&H	Capacidad de Caudal 45 pies / s o 14 m / s (Ver 106-PG en la sección de Válvulas Principales para otros datos de la válvula)								
Diámetro (pulgadas)	6"	8"	10"	12"	14"	16"	20"	24"	36"
Diámetro (mm)	150 mm	200 mm	250 mm	300 mm	350 mm	400 mm	500 mm	600 mm	900 mm
Momentáneo (USGPM)	4000	7000	11000	16000	19000	25000	39000	56200	124700
Momentáneo (L/s)	252	442	694	1009	1199	1577	2461	3546	7868

206-RPS-L&H	Capacidad de Caudal 45 pies / s o 14 m / s (Ver 206-PG en la sección de Válvulas Principales para otros datos de la válvula)								
Diámetro (pulgadas)	3"	4"	6"	8"	10"	12"	16"	18"	20"
Diámetro (mm)	80 mm	100 mm	150 mm	200 mm	250 mm	300 mm	400 mm	450 mm	500 mm
Momentáneo (USGPM)	564	1236	2160	4800	8400	13200	19200	30000	30050
Momentáneo (L/s)	36	78	136	303	530	833	1211	1893	1896

Imagen 8. Válvula hidráulica anticipadora de onda. Modelo 106 paso total, y modelo 206 paso reducido. Catálogo AVK.

La operación de llenado de una conducción supone la expulsión del aire a la atmósfera y su sustitución por agua, siendo fundamental el correcto funcionamiento de las ventosas dispuestas en los colectores, tanto aspiración como impulsión.

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 es demasiado pequeño, no se podrá 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.

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  $P_{exp}$  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  $P_{atm}$ . Se utilizará la siguiente expresión:

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

donde  $P_{exp}^*$  indica presión absoluta 11,5 m.c.a.

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 la compuerta manual situada al principio del colector de aspiración.

Con la velocidad de llenado de 0,4 m/s, el caudal de llenado del tubo que le corresponde con esta velocidad, el caudal de salida que le correspondería y la transformación a caudal a evacuar para la presión de 1,5 m.c.a.

**Colector Aspiración DN1829:**

$$Q_{\text{aire atm}} = \frac{11,5 \text{ m.c.a} \cdot 0,4 \text{ m/s} \cdot \pi \cdot 0,9^2 \cdot \text{m}^2}{10 \text{ m.c.a}} = 1,17 \text{ m}^3 / \text{s} = 1.170 \text{ l/s} .$$

Ventosa trifuncional: 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
- 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.

Ahora determinamos las ventosas necesarias ante el vaciado de la red. 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.

## 1.11 DESAGÜE

En la 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.

Se determina el caudal de desagüe y se establece el diámetro de la tubería que permita evacuar el agua.

Se considera, mediante la ecuación de Bernoulli, la sección de la tubería de desagüe fijando dentro de la estación de bombeo como cota de solera 864 m existente en solera y añadiendo sólo medio metro por encima de la misma como límite para permitir la subida del nivel de agua por encima de la cota de la solera.

Para establecer el punto de desagüe se proyectó una rasante (plano nº8.11: perfil longitudinal del desagüe de la Estación de Bombeo) con una pendiente constante del 2,26 ‰, que permita el desagüe natural de las pequeñas fugas o prensaestopas, hasta el punto de conexión de dicho desagüe con desagüe mediante cuneta en tierra contemplada en el proyecto de concentración parcelaria, que reconduce a su vez el caudal de desagüe al punto de vertido.

La conducción proyectada como desagüe aflorará en la cuneta abierta a la atmósfera en la cota 858,85 metros (generatriz superior de la tubería), atendiendo a la profundidad mínima exigida. Para evitar la afección a la cuneta, se diseñó un frente para el tubo de hormigón armado de diámetro 800 mm, y la protección del cauce en el punto de vertido con escollera (plano nº8.11 – Conducción de desagüe).

$$z_0 + \frac{P_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + \Delta H$$

Donde tenemos que  $\frac{P_0}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma}$  y  $v_0=0$ , por lo tanto:

$$z_0 = z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \Delta H$$

Por lo tanto, la diferencia de cota entre ambos puntos, ( $H_a$ ), debe permitir vencer el conjunto de pérdidas existentes y en la creación de velocidad.

$$H_a = z_0 - z_1$$

En el análisis de las pérdidas de carga, en este caso analizamos las pérdidas continuas en la conducción ( $h_r$ ) y las singulares ( $h_s$ ) propia del diseño del desagüe.

$$\Delta H = h_r + h_s$$

En este caso para la determinación de las perdidas en la conducción hacemos uso de la ecuación de Mannig:

$$h_r = L \times n^2 \times \frac{v_1^2}{R_h^{4/3}}$$

siendo los parámetros:

- L: Longitud, en este caso **1.820 m**
- N: Coeficiente de Manning (para tubería plástica de PVC; 0,008)
- R<sub>h</sub>: Radio hidráulico definido según la fórmula siguiente:

$$R_h = \frac{\pi \times r^2}{2\pi \times r} = \frac{r}{2}$$

Las pérdidas singulares atienden corresponden al pozo de registro de la estación de bombeo, y las pérdidas de carga en régimen turbulento se expresan:

$$h_s = k \times \frac{v_1^2}{2g}$$

k = coeficiente de perdidas singulares:

- K<sub>codo 40°</sub> = 0,20
- K<sub>codo 20°</sub> = 0,05
- K<sub>embocadura</sub> = 2 x 0,1

$$Q_{desagüe} = \sqrt{\frac{H_a \times D^{5,333}}{(0,08268(1+k) \times D^{1,333} + 10,3 \times L \times n^2)}}$$

El caudal a desaguar se corresponderá con 40 % del caudal bombeado:

$$Q_{desagüe} = 0,40 \times Q_{bombeo} = 1,54 m^3 / s$$

Tras la exposición conceptual, se emplea la herramienta HCANALES versión 3.0 para realizar la comprobación.

Para dicho caudal se opta por una tubería de hormigón armado DN 800 mm (nivel de llenado del 70 %), que aporta una capacidad de desagüe de 0,64 m<sup>3</sup>/s con una velocidad en la tubería adecuada, manteniendo el nivel en una seguridad para que no afecte a los motores eléctricos.

Si analizamos el funcionamiento del colector en lámina libre y teniendo en cuenta la pendiente mínima disponible en el perfil, 2,26 %, se observa que, con un tirante de 0,80 m, es capaz de llevarse el caudal 0,64 m<sup>3</sup>/s, lo que aporta garantía de funcionamiento frente a eventualidades.



Imagen 9. Comprobación de tubería de desagüe estación de bombeo.

## ANEXO 1. REGLAS DE FUNCIONAMIENTO DEL BOMBEO

Las reglas que pueden ilustrar el funcionamiento de la estación de bombeo con los diferentes equipos es:

### RULE 1

IF LINK L2 FLOW > 0  
AND LINK L2 FLOW <= 311  
THEN PUMP P1 STATUS IS OPEN  
ELSE PUMP P1 STATUS IS CLOSED

### RULE 2

IF LINK L2 FLOW > 310  
AND LINK L2 FLOW <= 601  
THEN PUMP P2 STATUS IS OPEN  
ELSE PUMP P2 STATUS IS CLOSED

### RULE 3

IF LINK L2 FLOW > 600  
AND LINK L2 FLOW <= 911  
THEN PUMP P3 STATUS IS OPEN  
ELSE PUMP P3 STATUS IS CLOSED

### RULE 4

IF LINK L2 FLOW > 600  
AND LINK L2 FLOW <= 911  
THEN PUMP P4 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P4 SETTING IS 0

### RULE 5

IF LINK L2 FLOW > 920  
AND LINK L2 FLOW <= 1211  
THEN PUMP P5 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P5 SETTING IS 0

RULE 6

IF LINK L2 FLOW > 920  
AND LINK L2 FLOW <= 1212  
THEN PUMP P6 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P6 SETTING IS 0

RULE 7

IF LINK L2 FLOW > 1220  
AND LINK L2 FLOW <= 1531  
THEN PUMP P7 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P7 SETTING IS 0

RULE 8

IF LINK L2 FLOW > 1220  
AND LINK L2 FLOW <= 1531  
THEN PUMP P8 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P8 SETTING IS 0

RULE 9

IF LINK L2 FLOW > 1220  
AND LINK L2 FLOW <= 1531  
THEN PUMP P9 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P9 SETTING IS 0

RULE 10

IF LINK L2 FLOW > 1530  
AND LINK L2 FLOW <= 1821  
THEN PUMP P10 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P10 SETTING IS 0

RULE 11

IF LINK L2 FLOW > 1530

---

AND LINK L2 FLOW <= 1821  
THEN PUMP P11 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P11 SETTING IS 0

RULE 12  
IF LINK L2 FLOW > 1530  
AND LINK L2 FLOW <= 1831  
THEN PUMP P12 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P12 SETTING IS 0

RULE 13  
IF LINK L2 FLOW > 1830  
AND LINK L2 FLOW <= 2441  
THEN PUMP P13 STATUS IS OPEN  
ELSE PUMP P13 STATUS IS CLOSED

RULE 14  
IF LINK L2 FLOW > 1839  
AND LINK L2 FLOW <= 2441  
THEN PUMP P14 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P14 SETTING IS 0

RULE 15  
IF LINK L2 FLOW > 1830  
AND LINK L2 FLOW <= 2441  
THEN PUMP P15 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P15 SETTING IS 0

RULE 16  
IF LINK L2 FLOW > 1830  
AND LINK L2 FLOW <= 2441  
THEN PUMP P16 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P16 SETTING IS 0

## ANEXO 2. ELEMENTOS DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

En este anexo se detallan los elementos que compondrán la Estación de Bombeo.

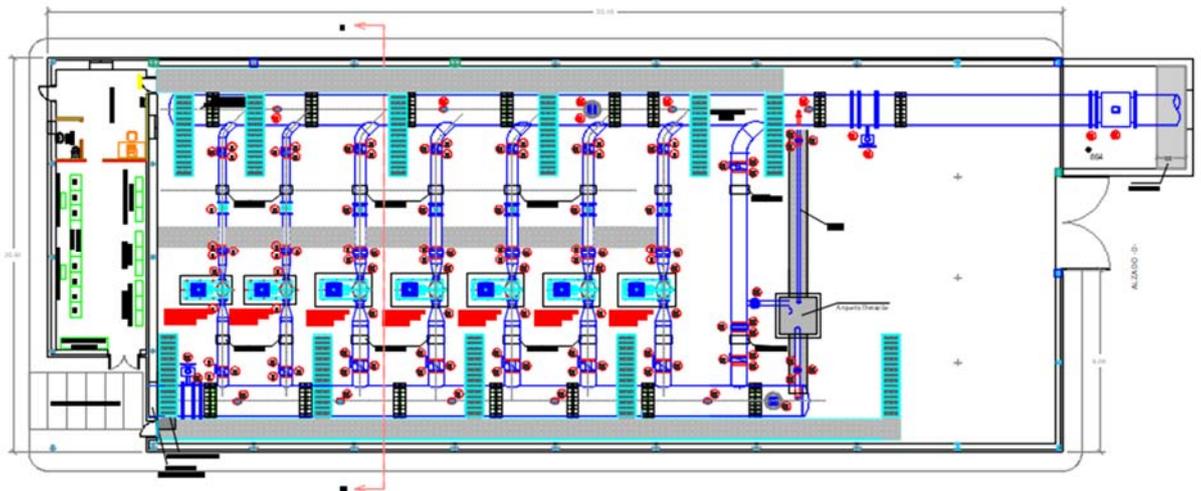


Imagen 10. Planta de la estación de bombeo.

### CALDERERÍA

La Estación de Bombeo se compondrá de dos colectores, uno de aspiración de DN 1.829 mm y otro de impulsión de DN 1.626 mm. Cada una de las 7 bombas dispondrán de una tubería de aspiración y otra de impulsión que las unirá a los colectores, de modo que se instalarán 7 tuberías de aspiración, 5 de DN 800 mm y 2 de DN 600 mm, y 7 tuberías de impulsión, 5 de DN 600 mm y 2 de DN 400 mm.

Dichos colectores, junto con las tuberías de admisión e impulsión de las bombas serán de acero al carbono S-275-JR conforme a norma EN 10025-1-2:2006 y sus dimensiones y masas cumplirán la norma UNE-EN 10220:2004. Ambos colectores dispondrán de un carrete de desmontaje, elemento 12 y 31 en el plano 8.2, y de boca de hombre DN 800 mm, elemento 13 en el plano 8.2.

Las bridas se realizarán en acero al carbono S-275-JR conforme a norma EN 10025-1-2:2006 y sus dimensiones cumplirán la norma UNE 1092-1:2008. Serán necesarias 2 para el colector de aspiración, 4 para el colector de impulsión, 6 para tubería de DN 500 mm, 4 para tubería de 400 mm y dos para las bocas de hombre de DN 800 mm. Toda la tornillería asociada será zincada y cumplirá la norma UNE-EN ISO 898-1:2015.

## BOMBAS

Las bombas de las cuales se compondrá la estación de bombeo son 5 bombas de 500 kW con un caudal de 620 l/s y 2 bombas de 250 kW con un caudal de 310 l/s. Las bombas serán bombas centrífugas horizontal de cámara partida y doble aspiración modelo SCP 250.450 HA o similar, con posibilidad de trabajar bajo el control de un arrancador progresivo o variador de frecuencia.

Los motores serán ABB, SIEMENS o equivalente de 500 kW (+-15%) a 1480 rpm IP 55 a 690/400 V 50 Hz especial para trabajar con variador de frecuencia, montado sobre bancada y con manguito de acoplamiento. El rendimiento a caudal mínimo debe ser superior al 50% y a régimen nominal debe superar el 85% (rendimiento mínimo garantizado 85% con tolerancia ISO 9906 1U). Los motores incorporarán resistencias de caldeo y sondas PT-100 en rodamientos (2 uds) y devanados (3 uds), las bombas llevarán sondas PT-100 en rodamientos (2 uds).

El cuerpo de bomba será monoescalonado, del tipo voluta espiral y partido axialmente a lo largo del eje, con anillos de desgaste del cuerpo intercambiables. El rodete será de doble entrada, cerado, con palas helicoidales.

Las calidades de los materiales de los distintos componentes serán las siguientes, cuerpo de la bomba de hierro fundido GG 25, rodete impulsor de bronce C 311, anillo desgaste de la carcasa de bronce C 352, anillo desgaste del rodete de bronce C 352, eje de 13 % cromo, camisa de eje de AISI 316 O 13 % Cromo, cojinetes con rodamientos, lubricación con aceite y empaquetadura con algodón grafitado, todo ello según norma ASTM y junta del cuerpo de klingerit, acoplamiento tipo flender n-eupex y placa base de perfiles laminados de acero al carbono S 275 JR, según norma EN 10025.

## 2 SECTOR II

### 2.1 INTRODUCCIÓN

Acorde al anejo “Cálculo hidráulico de la red”, para la Modernización del Regadío en la Comunidad de Regantes del Canal de Villadangos (León) se adopta como solución técnica para alimentación de la red de riego un bombeo directo desde balsa de regulación ubicada al pie del canal, mediante una estación de bombeo con una cota de eje de colector de aspiración de 876,52 m.s.n.m.

Para la modernización y puesta en riego de la zona objeto de este proyecto es necesario impulsar el agua desde la balsa de regulación, ubicada en la margen izquierda del canal para asegurar la suficiente presión en los hidrantes para un riego eficiente.

La obra de toma y la estación de bombeo se diseña a partir de los datos calculados en el dimensionado de la red hidráulica, capaces de abastecer del caudal y la presión manométrica necesaria en función de las demandas puntuales de las redes, establecidas en cada uno de los hidrantes que sirven a cada agrupación de riego.

Debido a que con el sistema de riego proyectado los caudales y alturas manométricas varían en el tiempo, es preciso dotar a algunos grupos de bombeo con variadores de velocidad, lo que les permite trabajar en un amplio margen de regímenes de velocidad, 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 de los equipos de impulsión con el consiguiente ahorro energético que esto conlleva.

Para que los grupos motobomba funcionen siempre en un óptimo de acuerdo a la de presión y caudal de la red, requiere la automatización del sistema. Se instalará un autómatas que regulará el arranque, la parada y el régimen de los diferentes grupos en función de las señales que reciba de los caudalímetros y de los transmisores de presión instalados.

Además, después de la arqueta de válvulas de la toma de fondo de la balsa, se dispone un sistema de filtrado que evite la entrada de sólidos en los rodets de las bombas y posteriormente se traslade al sistema de riego.

## 2.2 CURVA DE DEMANDA DE LA RED

Se adjunta la curva de demanda de la red, obtenida a partir de los cálculos hidráulicos de la red. Es necesaria para la obtención de la curva de rendimientos combinados del bombeo proyectado.

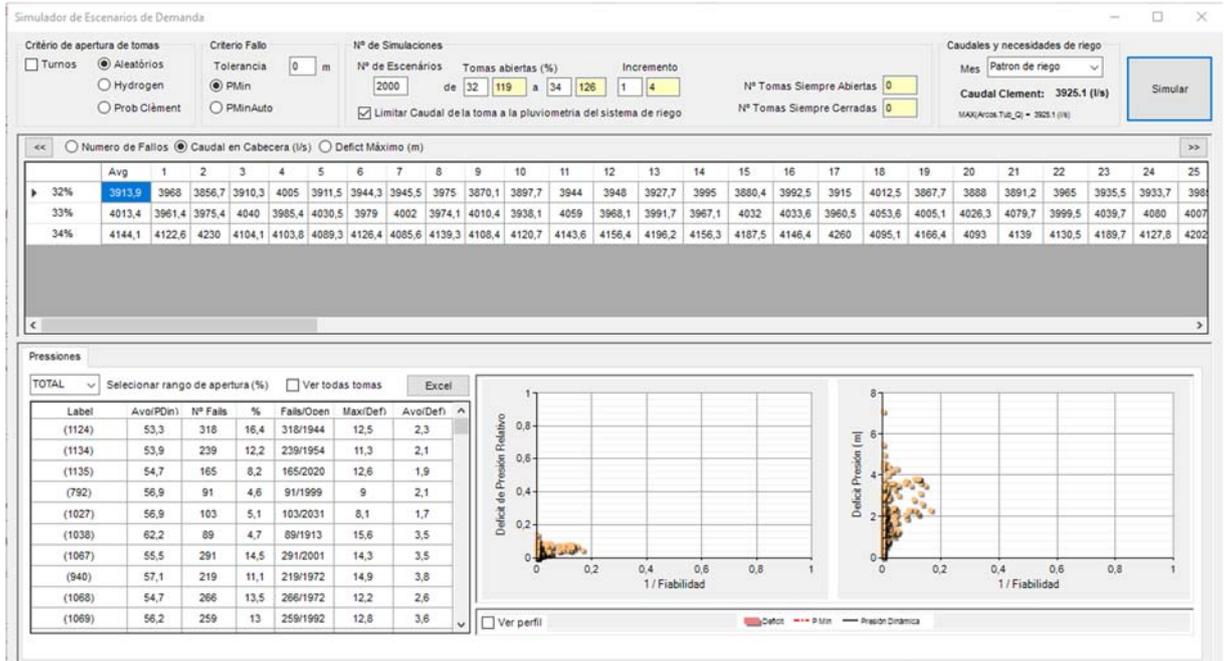


Gráfico 4 Simulación de escenarios de demanda

La curva resistente del sistema de riego de la Comunidad de Regantes del Canal de Villadangos está definida por una parábola:

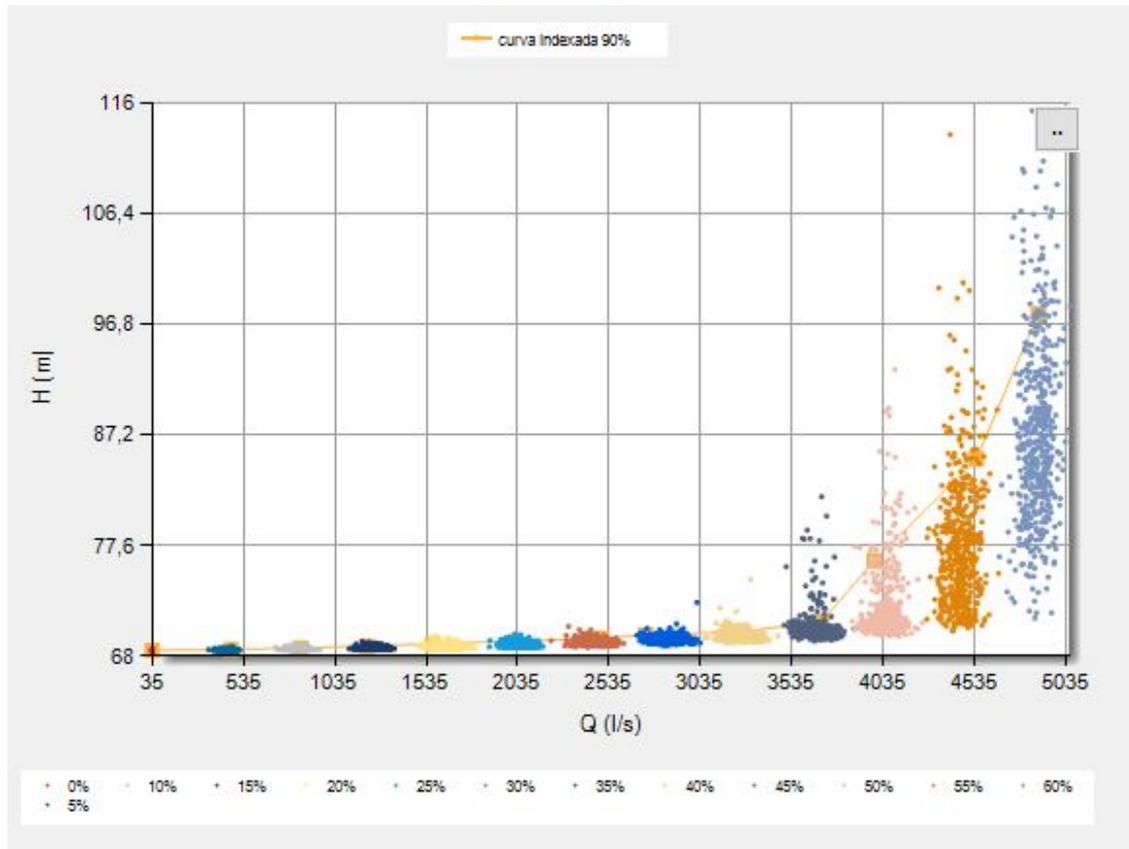


Gráfico 5 Curva de demanda de la red

## 2.3 CURVA DE CONSIGNA

Un concepto bastante utilizado, principalmente en el dimensionamiento de sistemas de bombeo, es la curva característica del sistema, que describe la relación entre el caudal en una tubería y la pérdida de carga producida por la circulación de este caudal.

Para dimensionar la estación de bombeo necesaria para una red de riego a presión a la demanda hay que:

- Localizar los puntos de consumo de las parcelas buscando el trazado óptimo que minimice el coste total de la red, cumpliendo con los criterios de diseño y condicionantes de partida
- Calcular las dotaciones de los puntos de consumo según el tamaño de las unidades de riego a abastecer

- Determinar los caudales de diseño por línea (asociados a una determinada garantía de suministro)
- Dimensionar cada una de las líneas buscando el mínimo coste total para llegar a conocer las necesidades de altura piezométrica y caudal en cabecera de la red que debe garantizar la estación de bombeo.

A partir de estos puntos hay que analizar el funcionamiento de la red bajo distintas condiciones de trabajo, comprobando la presión existente en los puntos de demanda cuando se manejan diferentes hipótesis de demanda para distribuir el caudal de cabecera. Una regulación óptima de la estación de bombeo será aquella que, con alto rendimiento, se adapte lo más posible a la “*curva de demanda o de consigna*” de la red, que relaciona las necesidades de altura piezométrica y caudal en cabecera, minimizando los excesos de presión en la cabecera para cada caudal demandado.

La curva característica de una red de riego puede variar en función de la demanda de la red, existiendo momentos en los cuales muchos regantes requieren agua, siendo necesario abrir hidrantes acorde a lo establecido para el funcionamiento de la red en momento punta (simulaciones hidráulicas, experiencia de gestión de la red por parte de la Comunidad de Regantes), habrá momentos en los cuales los regantes vayan cerrando hidrantes porque no requieren agua en sus cultivos con lo que se produce una mayor pérdida de carga para reducir el caudal.

Si en lugar de esperar que los regantes generen la pérdida de energía a través de su consumo y la manipulación de los sistemas de riego, se regula la altura piezométrica de la fuente de suministro, con el fin de llegar a los puntos de demanda (consumo) con la presión mínima necesaria, se lograría reducir esta pérdida de energía [Martínez, F., Vidal, R., & Andrés, M. (2009). La regulación de los sistemas hidráulicos. E. Cabrera, V. Espert, J. García-Serra & F. Martínez, Ingeniería hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua (3ª ed., vol. II) Valencia, España: ITA-UPV]. De esta forma, se obtiene no una altura piezométrica o presión de consigna, sino una curva de consigna que asegure en cada escenario de la red la presión mínima estrictamente necesaria en los puntos de consumo.

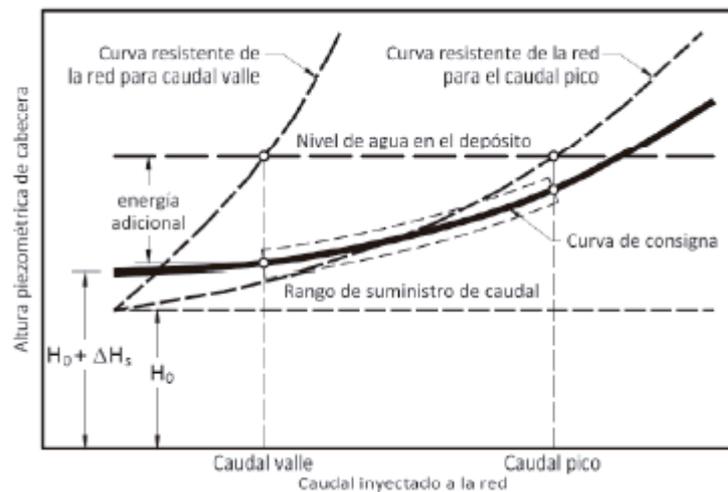


Imagen 11. Representación de las curvas resistentes de la red y la curva de consigna.

Fuente: La curva de consigna, una herramienta útil para la esqueletización, sectorización y determinación de la capacidad de una red de suministro de agua. ISSN 0188-6266

Cuando una red que demanda un determinado caudal y logra valores de presión mínima en los nodos más desfavorables, configura un gradiente hidráulico que define una altura piezométrica y un caudal inyectado a la red desde el punto de suministro (garantía de las condiciones de servicio). Si este proceso es repetido para diferentes demandas, manteniendo la presión mínima de servicio, con la altura piezométrica en cabecera y el caudal inyectado a la red, es posible configurar la curva de consigna.

La curva de consigna es utilizada para regulación de sistemas de bombeo y en la optimización energética de sistemas de suministro de agua a zonas regables. Asimismo, una aproximación a la curva de consigna es la utilizada como curva de modulación del flujo o curva de consigna para algunas válvulas, etc.

El cálculo de la curva de consigna requiere de un modelo matemático fiable de la red, con el cual es posible evaluar la altura piezométrica en la fuente de suministro que permitirá satisfacer la demanda de la red con una presión de servicio mínima. El seguimiento de la curva de consigna asegura un ahorro energético en el suministro; asimismo, minimiza las fluctuaciones de las presiones en la red, reduciendo las implicaciones negativas de estas variaciones en la vida útil de la red (Martínez et al, 2009).

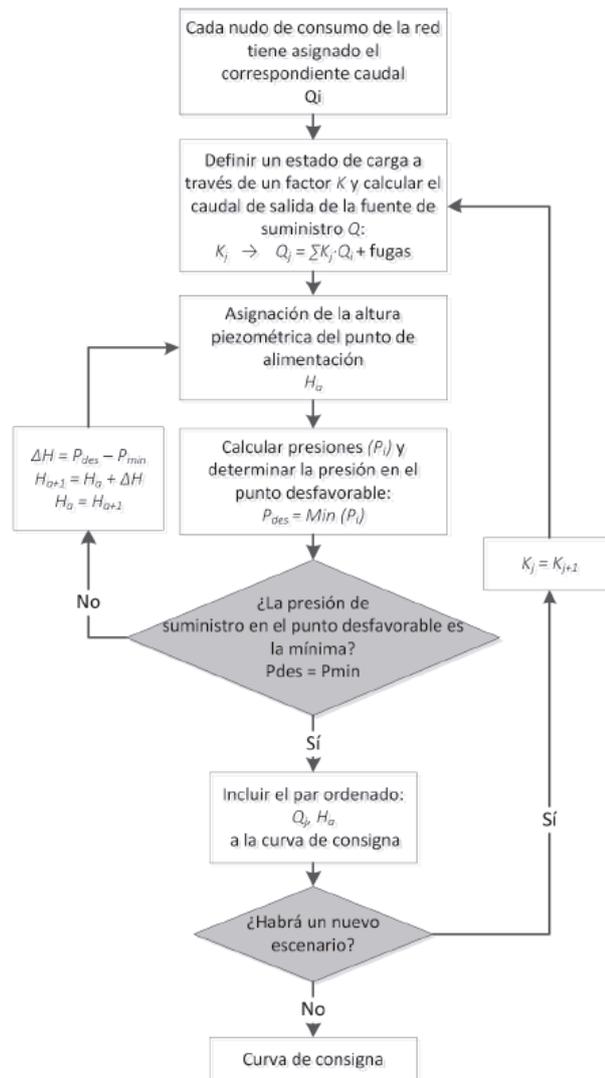


Imagen 12. Diagrama de flujo para la determinación de la curva de consigna.

Fuente: La curva de consigna, una herramienta útil para la esqueletización, sectorización y determinación de la capacidad de una red de suministro de agua. ISSN 0188-6266

La curva de consigna se calcula bajo un análisis dependiente de la demanda. Por otra parte, depende del grado de demanda entre los nudos de consumo, por lo que podría existir más de un nudo crítico en función del escenario analizado.

En el diagrama de flujo anterior, se resumen los pasos seguidos para la determinación de la curva de consigna cuando se tiene un solo punto de alimentación, como es el caso del bombeo de la Comunidad de Regantes del Canal de Villadangos (León). Una vez que se cuenta con el modelo matemático de la red, es necesario establecer la presión mínima de servicio en los nudos, pues este

definirá el grado de servicio que se quiere alcanzar; posteriormente, se deberán generar escenarios con un determinado estado de carga, el cual requerirá de una altura piezométrica en la cabecera que garantice la presión mínima en el nudo más desfavorable, esta altura es calculada iterativo; finalmente, cada uno de los pares ordenados (caudal inyectado, altura piezométrica de cabecera) configura un punto en la curva de consigna.

## 2.4 CÁLCULO HIDRÁULICO ESTACIÓN DE BOMBEO

### 2.4.1 CÁLCULO HIDRÁULICO

La determinación de las necesidades de bombeo viene determinada por el cálculo de la red, donde se refleja las necesidades de caudal punta y altura máxima de bombeo.

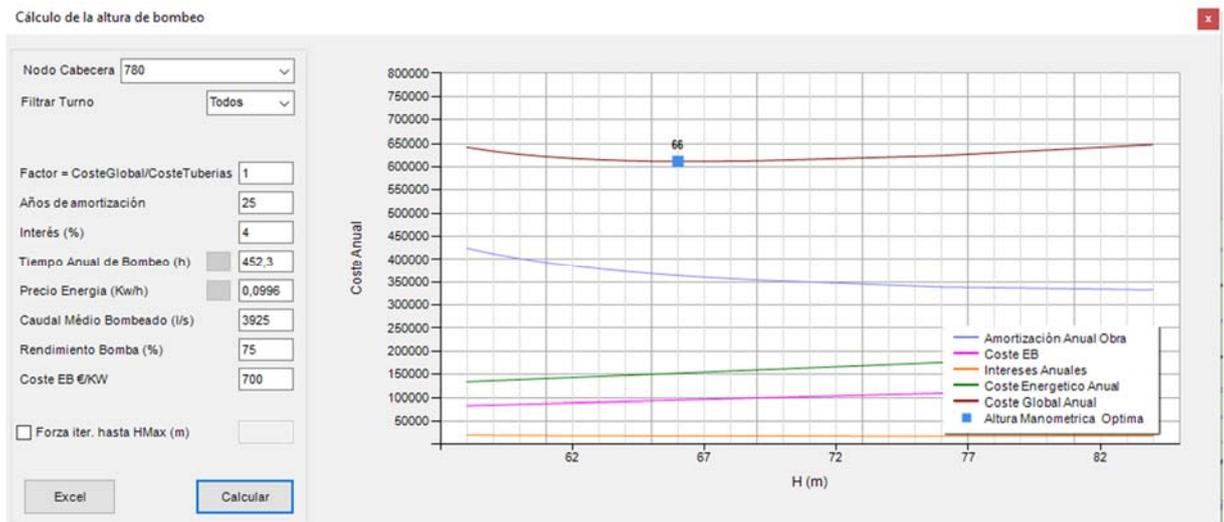


Gráfico 6 Cálculo de la altura de bombeo

Para el cálculo de la potencia de bombeo necesaria para el abastecimiento de la red proyectada se utiliza la siguiente expresión:

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

siendo

Q Caudal total a bombear (l/s)

- H Altura manométrica en metros (debe aportarse con los equipos de bombeo)  
 $\eta$  Rendimientos de motor y bomba, tomándose 0,85 como valor de referencia

$$P_B = 3.465,23 \text{ kW}$$

La altura necesaria es de 65 mca. La potencia necesaria de los motores para el funcionamiento de las bombas se obtiene de la siguiente expresión:

$$P_M = \frac{P_B}{\eta_m}$$

siendo

- $P_B$  Potencia de equipos bombeo (kW)  
 $\eta_m$  Rendimiento de los motores, tomándose el valor 0,90

$$P_M = 3.850,25 \text{ kW}$$

Para satisfacer estas demandas, se instarán **7 grupos de bombeo**, con las características que se exponen a continuación.

Tabla 5. Selección de equipos de bombeo

Caudal (l/s)								
TIPO BOMBA	Nº	Caudal (l/s)	Altura (m.c.a.)	$\eta$	Potencia (kW)	VDF	NSPH nec 3% (m)	P (kW)
Principal	5	620,0	55	85,50	500	2	7,81	2.500,0
Auxiliar	2	310,0	55	84,00	250	2	4,05	500,0

Esta selección permite disponer de una estación de bombeo flexible, capaz de responder a las variaciones diarias de demanda, regulando el número de bombas en marcha y su funcionamiento según las necesidades de la red en cada momento. El autómata, debidamente configurado y con la necesaria aprobación técnica antes de su puesta en servicio, gestionará la puesta en marcha escalonada de los equipos de bombeo, acorde a los parámetros y curvas de arranque que se le introduzcan.

El funcionamiento de las 7 bombas garantiza el abastecimiento de la red para la máxima demanda, cuantificada debidamente en el anejo hidráulico de este proyecto.

## 2.4.2 DETERMINACIÓN DEL NPSH

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, 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 entra en ebullición y provoca el conocido fenómeno de cavitación, provocando efectos indeseados tanto en los elementos existentes como en el funcionamiento.

Todos los grupos motobomba tienen un NPSH requerido, que depende de las características propias del grupo que son suministrados por el fabricante. Por lo tanto, es un dato condicionante en la elección de las bombas atendiendo al NPSH disponible en el sistema.

La estación de bombeo es alimentada a través de una conducción de abastecimiento de diámetro 1.829 y con una longitud de 1.459 metros, que aporta el caudal necesario desde la balsa de regulación. Resulta necesario determinar el NPSH disponible que siempre debe ser superior al NPSH requerido.

La presión atmosférica ( $P_{atm}$ ) para la cota 884 m con una temperatura de 20°C puede establecerse en 9,30 m.c.a.

La altura manométrica en aspiración (H) se determina considerando la cota mínima de fondo en la balsa, 879 m.

La cota de eje del colector de aspiración es de 876,52 m.

La presión manométrica en aspiración de bombas a caudal máximo es de:

$$879 - 876,52 = 2,48 \text{ mca}$$

La pérdida de carga en el colector se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$h = 10,674 \times \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} \times D^{4,78}} \times L$$

Siendo el caudal de bombeo de 3,925 m<sup>3</sup>/s y aumentándose la longitud de la conducción de abastecimiento en un 50% para tener en cuenta las pérdidas de carga que se producen debido a los elementos singulares, la pérdida de carga resultante en el colector de 2,15 m.

Con ello, se tiene

$$[\text{NPSH}]_{\text{disponible}} = 9,30 \text{ m.c.a.} + 2,48 \text{ m} - 2,15 \text{ m} = 9,63 \text{ mca}$$

En la aspiración se considera un **NPSH mínimo disponible de 9,63 mca**, siempre en la situación más desfavorable que permite estar siempre del lado de la seguridad.

## 2.5 COMPOSICIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

La estación de bombeo está diseñada para dar servicio a 3.188 ha, correspondientes al Sector II de la superficie regable de la Comunidad de Regantes del Canal de Villadangos (León) con una altura manométrica requerida al inicio de la red de 65 m.c.a. y para un caudal de diseño en cabecera ( $Q_d$ ), evaluado según la formulación de Clément de 3.925 l/s. La potencia total demandada a instalar en cabecera (estación de bombeo) será de 3.000 kW. Se seleccionan bombas centrífugas horizontales de cámara partida, fundamentándose en lo siguiente:

- Obtención de rendimientos superiores a las bombas verticales
- Menor coste de las bombas horizontales, frente a las bombas verticales de potencia equivalente
- Menor coste de obra civil (ausencia de cántara de aspiración)
- Menor coste de explotación, y mayor facilidad de realización de operaciones
- Mayor vida útil

### 2.5.1 UBICACIÓN Y COTAS

La ubicación de la estación de bombeo se encuentra en las parcelas recogidas en la siguiente tabla.

Tabla 6. Ubicación estación de bombeo

Provincia	T.M.	Polígono	Parcela	Referencia Catastral	Superficie catastral (m <sup>2</sup> )
León	Villadangos del Páramo	117	00019	24209A11700019	12.635,00
León	Villadangos del Páramo	117	10019	24209A11710019	12.635,00

La toma se realiza directamente desde la tubería de abastecimiento, que comunica la balsa de regulación con la estación de bombeo, mediante una tubería de acero helicosoldado DN 1.829 mm, que garantiza la velocidad adecuada en el colector de aspiración de las bombas.

### 2.5.2 OBRA DE TOMA DE Balsa DE REGULACIÓN

Como se ha descrito detalladamente con anterioridad, la salida de la balsa se realiza con doble tubería de acero helicosoldado DN 1.219 mm hasta la arqueta de filtrado. Desde la salida de esta y hasta el colector de aspiración de la Estación de Bombeo, se realiza con acero helicosoldado de DN 1.829 mm; el colector de aspiración es también de este mismo material y diámetro (ASH 1.829).

Previamente, y tal y como recoge la planta y perfil de la tubería de abastecimiento de la estación de bombeo, se encuentra ubicada tras la salida del fondo de balsa la Arqueta filtrado que incorpora además de los dos filtros de cadenas, las válvulas de mariposa de DN 1.200 mm para cierre de las tuberías procedentes de la balsa y válvula de mariposa de DN 800 mm de cierre de la salida de la tubería de desagüe de la balsa.

Esta arqueta de filtrado se encuentra equipada con dos filtros de mallas autolimpiantes, y la correspondiente pieza tipo pantalón en calderería de acero helicosoldado a la salida para conducir el agua filtrado al segundo tramo de la tubería de abastecimiento, que une dicha arqueta de filtrado con el colector de aspiración de la estación de bombeo.

Uno de los puntos delicados es el diseño de las embocaduras de las tuberías en las entradas y salida de la arqueta de toma y arqueta de filtro. Es importante el abocinamiento del tubo para evitar fenómenos de cavitación, en los encuentros angulares en las entradas del agua.

El diámetro mayor de las campanas marca la sumergencia mínima necesaria, para evitar fenómenos de vórtices en las entradas, la profundidad mínima debe ser igual a 1,5 veces el diámetro de la tubería.

### 2.5.3 NIVEL DE LA LÁMINA DE AGUA EN LA Balsa DE REGULACIÓN

Para el diseño de la estación se han considerado los datos del nivel máximo y mínimo de la balsa de regulación:

- Nivel máximo de llenado: 884 msnm
- Nivel mínimo de explotación: 879 msnm

La variación del nivel de la balsa proporcionará una carga hidráulica en la estación de bombeo, que hará que las bombas trabajen aportando menos presión y más caudal, es decir, desplazándose el punto de funcionamiento de las bombas a la derecha de su curva.

Para que las bombas estén siempre en carga se ha ubicado la estación de bombeo a una cota determinada de la balsa y a profundidad suficiente por debajo de la cota del terreno para compensar las pérdidas de carga en el sistema de filtración, tubería de captación y elementos singulares.

#### 2.5.4 EQUIPOS DE IMPULSIÓN

Se analizan el conjunto de pérdidas de carga entre la balsa y la estación de bombeo, para calcular la carga hidráulica que aportará la balsa de regulación a la estación de bombeo, en función de su nivel de llenado y dependiendo en cada momento de la altura de funcionamiento de la estación.

- Cota geométrica nivel máximo de balsa
- Cota geométrica nivel mínimo de balsa
- Pérdidas de carga en salida de balsa, toma de fondo y filtrado
- Pérdidas en colector de aspiración de la estación de bombeo
- Cota geométrica de colector de aspiración
- Carga máxima disponible en el bombeo
- Carga mínima disponible en el bombeo

El aporte del total del caudal se realiza mediante el fraccionamiento en diferentes caudales atendiendo a la autonomía del diseño, y la capacidad de regulación.

Los caudales de bombeo deben ser progresivos.

Con este sistema de trabajo forzamos a trabajar a todas las principales al completo para el momento de máxima demanda, pero se asume que esta situación sólo está prevista para días puntuales del mes de julio.

##### 2.5.4.1 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO

El punto de funcionamiento, en función del nivel de llenado de la balsa de regulación, la altura a impulsar por el bombeo a caudal máximo para garantizar los requerimientos de presión de los puntos de demanda es:

- Caudal punta (l/s)
- Altura máxima (mca)

- Altura mínima (mca)

#### 2.5.4.2 CURVA DE CONSIGNA

Descrito en el punto 3 de este anejo.

#### 2.5.4.3 CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA

Se trata de un bombeo directo a red, con un dimensionamiento para abastecer la zona regable durante el período de máxima demanda para una jornada de riego de 16 horas.

La altura manométrica requerida al inicio de la red es de 65 m.c.a., para un caudal de diseño en cabecera ( $Q_d$ ), evaluado según la formulación de Clément de 3.925 l/s (según resultados del anejo Cálculo Hidráulico de la Red de Riego, realizada mediante el programa de cálculo, optimización y simulación SIGOPRAM).

Se define la curva resistente del sistema impulsión-red de riego como una parábola del tipo:

$$H = H_0 + KQ^2$$

siendo

- H: Altura de bombeo necesaria para el funcionamiento correcto de la red
- H<sub>0</sub>: Altura de bombeo necesaria si no hubiese pérdidas de carga en la red
- K: Coeficiente que relaciona la pérdida de carga con el caudal bombeado
- Q: Caudal demandado por la red de riego

La curva resistente del sistema se calcula para el punto más desfavorable de la red, que es aquel en que la diferencia entre la presión mínima dinámica obtenida, y la presión requerida en dicho nudo, sea MINIMA.

En función de estos datos, finalmente se seleccionan los siguientes equipos:

- **Grupo principal:** cinco equipos motobomba, todos ellos con variador de frecuencia.
- **Grupo auxiliar:** dos equipos motobomba, ambos con variador de frecuencia.

Las siete bombas serán capaces de suministrar el 100 % del caudal máximo, mientras que la bomba de reserva se deja para una reserva activa y poder afrontar una posible avería.

Las bombas auxiliares suministran el 50 % del caudal proporcionado por una bomba principal, de esta manera las dos bombas auxiliares pueden hacer las veces de bomba principal.

#### 2.5.4.4 CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO

Las bombas elegidas son horizontales de cámara partida de doble aspiración. Dentro del catálogo de distintos fabricantes se han analizado varias marcas comerciales, buscándose la fiabilidad, los mejores rendimientos y consecuentemente, el menor consumo eléctrico, así como la mayor calidad que garantice su duración con las pertinentes labores de mantenimiento y su funcionamiento en el punto para el que han sido diseñadas.

Se exige que, en cualquier situación de funcionamiento para las premisas establecidas de rango de presiones en función del estado de la balsa y la demanda de la red, esté por encima del 80 % de eficiencia.

Se aportan las gráficas comerciales suministradas por un fabricante y consideradas para el estudio de los fraccionamientos y atendiendo a que cumplan con los rendimientos exigidos a lo largo de la curva de consigna en los diferentes puntos de corte.

#### 2.5.4.5 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO

Los materiales de los componentes de las bombas serán acordes a la norma ASTM de aplicación.

#### 2.5.4.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES

Las bombas se accionarán con motores eléctricos trifásicos asíncronos de rotor de jaula, todos ellos con la construcción especial (aislamiento y rodamientos) para ser accionados mediante variador de velocidad, con características de funcionamiento según las normas internacionales IEC-34 y con ventilación forzada.

## 2.5.5 CONTROL DE CALIDAD A APLICAR EN BOMBAS

El control de calidad en bombas consistirá en:

- Las pruebas de funcionamiento de caudal, presión y rendimiento se realizarán a la velocidad real de régimen del equipo y deberán cumplir con la norma ISO 9906 GRADO 1 pero SIN tolerancia en RENDIMIENTO (tolerancia 0 %), ni ALTURA (tolerancia 0 %) ni CAUDAL (tolerancia 0 %). Se tomarán medidas de temperatura, revoluciones y vibraciones, que deberán cumplir con la norma ISO 10816 tabla A.3 tipo rígido, zona B/C a su velocidad nominal de régimen.
- Deberán suministrarse certificados de materiales de los componentes principales del equipo según EN 10204-3.1.B, en los que se indiquen las características químicas y mecánicas de los mismos. El fabricante aportará los procedimientos para las inspecciones y pruebas de todo el suministro, los cuales serán aprobados y discutidos con la Propiedad. Serán comprobados en fabricación por una empresa de control de calidad.

El procedimiento de control de calidad a comprobar en fábrica y ensayos a realizar será:

Tabla 7. Control de calidad aplicable a los equipos de bombeo

Nº	OPERACIÓN	CÓDIGO	Observación
1	Certificados de materiales para cuerpo, eje, tapa y rodete	EN 10204-3.1	Ver nota 1
2	Equilibrado rodetes	s/fabricante	
3	Mecanizado y montaje de la bomba	s/ planos	Ver nota 2
4	Prueba hidrostática cuerpo	s/especificación	
5	Pruebas de funcionamiento	EN 9906 / ISO 108016-3 / ISO 5199	Ver notas 3, 4 y 5
6	Acabado final, dimensiones de bridas y del anclaje, acoplamiento y eje y sistema de engrases	s/especificación y planos	Ver nota 6
7	Limpieza, calidad de pintura, espesores y adherencia	s/especificación EN2409	
8	Protocolo pruebas de rutina en fábrica del motor eléctrico	EN 10204-3.1 UNE/VDE/IEC	Ver nota 7
9	Comprobación de placas características bomba y motor	s/pedido	
10	Sellado de identificación LRE en todas las unidades	s/notas de guía	
11	Dossier de calidad del fabricantes		Ver nota 8
12	Nota de aceptación	Procedimiento LRE	

Notas:

9. Para cuerpos, tapas y rodetes en hierro fundido se aceptará certificado EN 10204-2.2 o 2.1, según disponibilidad en el proceso de acopios del fabricante comprobándose por parte del inspector la fiabilidad de dicho proceso.
10. En cuerpos multietapa se comprobará la correcta estanqueidad entre etapas del cuerpo y tipo de cojinetes de empuje
11. Se podrá aplicar cualquier otra norma internacionalmente reconocida tales como ISO, BS, HI o API. Cuando no se indique en el pedido la tolerancia de prueba según EN 9906, se aplicará el grado 2 de la tabla 10
12. Los valores de vibraciones se tomarán según figura 2 para motores no sumergidos, comparándose con los límites expresados en la tabla A4 (montaje flexible) zonas A/B de ISO 10816-3
13. Cuando la bomba incorpore un eje cuya longitud dificulta la prueba de funcionamiento en banco, se permitirá su eliminación para dichas pruebas, quedando sujeto a las pruebas definitivas en planta que permita comprobar vibraciones o esfuerzos anómalos.
14. Se comprobará el sistema o tipo de acoplamiento entre bomba y motor eléctrico no sumergido.
15. Los motores eléctricos superiores a 100 CV se inspeccionarán en origen, aplicando protocolo correspondiente. Para motores de 100 CV o inferiores, se podrá aceptar certificado EN10201-2.1 cuando el fabricante esté certificado según ISO 9000 o norma equivalente.
16. Cuando este material se utilice en un abastecimiento, línea de distribución o almacenamiento de agua potable, se requerirá el marcado CE según la Directiva 89/106/CE sobre productos de la construcción.

## 2.5.6 FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO

### 2.5.6.1 COMPOSICIÓN GENERAL DEL BOMBEO

Las bombas siempre estarán en carga y la aspiración no conllevará riesgo de cavitación.

Las bombas principales y auxiliares funcionarán con una tensión de 690 V/50 Hz, y tendrán suministro desde el transformador dispuesto para ello (1 transformadores de 3.700 Kva). Además, se proyecta un 1 transformador de 100 kVA para servicios auxiliares).

### 2.5.6.2 FUNCIONAMIENTO

Tras el llenado y presurizado de la red mediante una de las bombas auxiliares, y cuando el caudal de la red sea suficientemente importante, arrancarán secuencialmente las bombas auxiliares tras el programa de llenado/presurizado y podrán, gracias a que disponen de variador de velocidad, funcionar las dos simultáneamente hasta llegar a suministrar el 110 % del caudal de uno de los equipos principales, momento en que entrará en funcionamiento la primera bomba principal, también con variador de velocidad, reduciendo la velocidad de las bombas auxiliares. Cuando el caudal sea superior al otorgado por las dos bombas auxiliares más la bomba principal, arrancaría la segunda bomba principal, que puede ser con variador de velocidad o sin variador, en función de la demanda, y así hasta completar el caudal máximo a suministrar por la estación de bombeo a la red.

### 2.5.6.3 SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO

El bombeo proyectado está formado por **5 equipos motobomba principales y 2 equipos motobomba auxiliares.**

Los grupos motobomba irán equipados con variador de velocidad (2 de los equipos principales y los auxiliares) o con arrancador (3 de los equipos principales), y alternarán su funcionamiento equilibrando sus horas de trabajo.

La regulación de la estación de bombeo corresponde a un modelo clásico de regulación manométrica, muy utilizado en estaciones de bombeo para riego en las cuales se bombea directamente a la red de distribución. En este modelo clásico, los arranques y paradas de los grupos principales se realizan mediante consignas de caudal-presión suministradas por un manómetro digital que con la lectura del caudalímetro principal instalado en el colector de impulsión se obtendrá en cada instante la presión de consigna de funcionamiento, según la fórmula ya expuesta con anterioridad. Por debajo del caudal de funcionamiento de un grupo principal, funciona el grupo auxiliar tratando de dar un valor de consigna de presión, cuyo valor real es suministrado por un transductor de presión situado asimismo en el colector de impulsión.

El motor de las bombas equipadas con variador de velocidad, aumenta ésta cuando la presión descende, procediendo a la inversa en caso de aumento de presión. Cuando se alcanza la velocidad nominal del motor, si la presión de consigna no se alcanza, se arranca el segundo grupo auxiliar hasta que pueda arrancar el primer grupo principal con variador si no es completo, o un grupo con arrancador si el caudal es suficiente para él, actuando los grupos con variador de frecuencia de apoyo al sistema.

El variador impone la velocidad de régimen de giro al motor accionado por éste, continuando el ciclo de vigilancia de presión hasta llegar a su máxima velocidad, en cuyo caso, nuevas caídas de presión significarían el arranque o bien de un grupo auxiliar o bien de un grupo principal. Con las cuatro bombas provistas de variador, se podrá ajustar a la curva característica de la red de riego perfectamente en cada momento. Del mismo modo, el aumento de presión por encima de la presión consigna cuando solo funcione el grupo auxiliar accionado por el variador a su mínima velocidad, significará la parada de este.

El arranque de los grupos de bombeo, tanto principales como auxiliares, irá rotando de tal forma que las horas de funcionamiento de todas ellas sea prácticamente igual y por tanto, el desgaste de los mismos sea homogéneo. Siempre funcionará una bomba auxiliar con variador con la del arrancador. Con los variadores de velocidad se consiguen puntos de corte múltiples a lo largo de la curva resistente, puesto que al reducir o aumentar la velocidad, estamos desplazando la curva de bombeo.

#### 2.5.6.4 PROGRAMACIÓN Y RENDIMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO

Se adjunta en el anexo a este anejo la HOJA DE EJEMPLO DE PROGRAMACIÓN de las bombas de acuerdo a la demanda de caudales y presiones que se van produciendo en la red hasta llegar a la máxima demanda de ésta, momento en el que entrarán todas las bombas en funcionamiento.

Las filas en color amarillo son “zonas límite” donde el sistema puede tomar la opción de arrancar una bomba principal o forzar el funcionamiento de las bombas con variador, en función del rendimiento global energético que se produzca en cada punto, en función de la programación realizada al sistema y de la lectura instantánea de parámetros que le permita al sistema determinar cuál es la opción energéticamente más eficiente. Evidentemente, esta situación varía en función del nivel de llenado de la balsa y, por tanto, el sistema de decisión es “dinámico” (función de lecturas instantáneas de parámetros, de ahí que el sistema deba de funcionar con una red rápida de comunicación Ethernet o superior), no es un sistema de decisión fijo.

#### 2.5.6.5 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Antes de la puesta en marcha se presentará un listado de parámetros de funcionamiento del sistema en función del caudal demandado y la presión de consigna de manera que se conozca para cada escalón de caudal de 10 l/s la bomba entrará en funcionamiento (tanto de manera individual por bomba como para el conjunto de la instalación) su:

- Presión
- Caudal
- Rendimiento
- Potencia
- Frecuencia

Previa a su inclusión en la programación del automatismo, se facilitará a la dirección de obra y a la Comunidad de Regantes para, si es correcta, proceder a su aprobación.

La forma de funcionamiento del sistema será el siguiente:

- Las bombas rotarán no por horas de funcionamiento, sino por potencia unitaria consumida (parámetro que indica las horas de funcionamiento al régimen determinado):
  - Cuando funcionen las bombas con variador: se pondrá en marcha una bomba acelerando hasta su 100 %, momento en el cual se quedará a esa velocidad para que arranque la segunda bomba del variador, que irá acelerando hasta conseguir el caudal demandada, y luego sustituirla arrancando bombas de arrancador, si debe bajar de vueltas a las de variador para alcanzar la consigna, la hará sobre la bomba variada de menor potencia consumida
  - Cuando funcione una bomba con variador y otra fija, funcionará acelerando la variada de menor potencia consumida hasta alcanzar el 100 %, momento en el cual arrancará la fija desacelerando previamente la del variador e ir acelerándola en función de la presión de consigna a alcanzar. Cuando llegue al 100 % deberá arrancar una segunda bomba de arrancador desacelerándola del variador (pero nunca parar esta para arrancar otra de variador).

Puede darse el caso que en un punto de funcionamiento sea más interesante, por menor consumo eléctrico tener arrancadas las bombas con variador (varias) en vez de una sola.

---

Con el fin de conseguir el mismo número de horas de funcionamiento para que el desgaste de bombas sea el mismo en todos los equipos, el sistema deberá ser capaz de rotar las bombas de manera que todas tengan un número similar de horas de funcionamiento al final del año.

## 2.6 FILTRADO

Se contempla la alimentación de los equipos que se describen a continuación y que permiten dotar de energía eléctrica a los dos filtros, las válvulas de la toma de fondo de la balsa, así como las compuertas de derivación de agua desde el canal a la balsa de regulación, tal y como recoge el esquema unifilar del cuadro “Servicios Auxiliares”. Además, los planos de planta nº 10 “Instalación eléctrica en baja tensión. Hoja 5 de 5” reflejan la distribución y trazado.

La toma de agua del canal es directa a la balsa lo que puede provocar la entrada de sólidos en la misma que puedan ocasionar daños en los rodetes de las bombas, o en los elementos de riego.

De los distintos sistemas existentes en el mercado y analizada (basándose en las experiencias previas) en la configuración general de otras comunidades de regantes en la zona, ya modernizadas, se opta por no disponer una combinación de reja de desbaste con un limpiarrejas automático, que evitaría la entrada de grandes sólidos. No existe problemática con las algas en la situación actual, desechándose la instalación de ambos elementos en esta fase de proyecto.

No obstante, se estudió la posibilidad de situar dicha reja, aunque se desechó su instalación en esta fase de proyecto. Sería necesaria una reja con paso útil entre barrotes de 50 mm de longitud 3,80 metros y 10 mm de anchura, que aportaría un área útil en zona de barrotes de 3,80 m<sup>2</sup>, con una inclinación de 75 °.

Se dispone en la arqueta de toma de fondo un sistema de aireación que evite la proliferación de algas en esta zona especialmente, que pudiesen entrar a la tubería de salida a riego.

La siguiente fase de filtrado consiste en la colocación de dos filtros de cadenas rotativos con una luz de malla de 1,5 mm, dispuestos en paralelo, con capacidad de filtrado cada uno de ellos de 3.100 l/s. Se justifica la instalación de dos filtros en previsión de posibles averías en campaña de riego, de forma que no se interrumpa el riego por averías. Se han dimensionado los filtros con capacidad del 80% de la máxima necesidad, para que en condiciones normales, si es necesario puedan trabajar de manera simultánea y que en caso de avería uno de ellos garantice el suministro necesario ampliando al máximo la jornada de riego.

En esta fase se interceptan los elementos menores y mediante una bomba de auto lavado permite limpiar de manera continua los paneles filtrantes. Cada uno de los filtros, que son de las mismas características, posee dos sondas de nivel a cada lado de la arqueta que detecta la diferencia

de cota y mediante un autómata, realizada los lavados si este desnivel es superior a 0,3 m (la máxima pérdida de carga admisible es de 0,5 m).

Las características de los filtros a instalar son:

- Capacidad de filtrado: 3.100 l/s
- Luz de malla: 1,5 mm
- Cota nivel mínimo de agua: 880,48 msnm
- Cota nivel máximo de agua: 884,00 msnm
- Nivel plataforma de servicio: 885,60 msnm
- Turbiedad del agua: 100 ppm aprox
- pH mínimo: 6,5
- Procedencia del agua a tratar: balsa de regulación
- Peso total del equipo: 5.421 kg aprox.

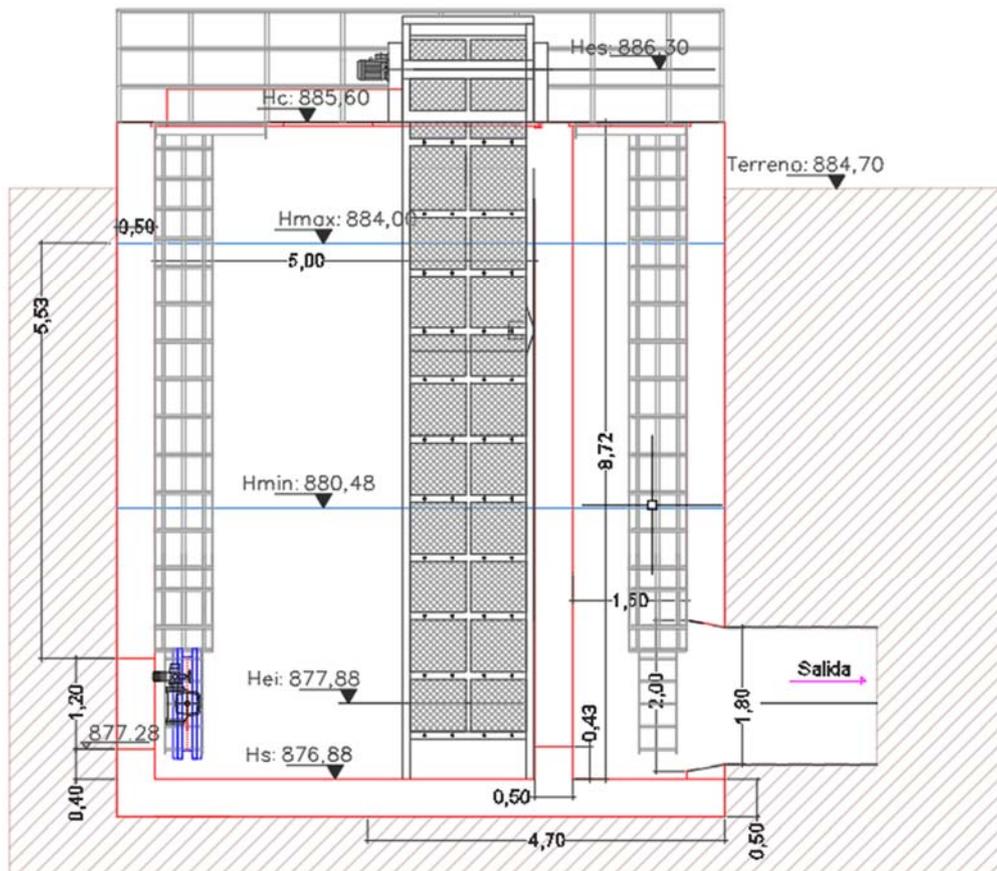


Imagen 13. Sección arqueta de filtrado

La instalación de estos filtros de cadenas exige la realización de una arqueta para su ubicación, en función del caudal a tratar y los niveles de agua, así como las condiciones del equipo. En este caso la altura de la arqueta viene condicionado por la sumergencia en la boca de la tubería de aspiración, la cota de solera está establecida en la cota 876,88 m.s.n.m. y los niveles máximos en el canal y su resguardo, 884,00 m.s.n.m.; la cota de coronación de los muros de la arqueta se fija en 885,60 m, y la altura total es de 8,72 m.

El ancho de la arqueta debe cumplir según los condicionantes de aspiración, un mínimo de 4,50 m por cada filtro, mientras que las necesidades de ancho del filtro son 2,38 m, y se debe de considerar la anchura de una compuerta lateral de 0,8x1,5 m, que permita el paso de agua en caso de avería del filtro, y la ubicación de una escalera de acceso protegida. En cuanto a la longitud, debemos considerar que la arqueta viene dividida en dos cámaras, la primera de ubicación de los filtros, y la segunda donde ya se ha realizado el filtrado del agua y se ubica la boca de aspiración de la tubería de abastecimiento a la estación de bombeo.

## 2.7 GRUPOS DE BOMBEO

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

Como ya se ha visto la altura en la red generada en el cálculo hidráulico, no tiene en cuenta la presión disponible en aspiración. Hay que remarcar que esta presión en aspiración será variable en función de la altura de la lámina de agua de la balsa de regulación y del caudal demandado en la estación de bombeo. En diseño de los grupos de bombeo, se considera la presión mínima disponible en aspiración considerando la cota mínima y las pérdidas intermedias ocasionadas para un caudal de diseño en cabecera ( $Q_d$ ), evaluado según la formulación de Clément es de 3.925 l/s.

La altura manométrica en aspiración ( $H_{asp}$ ), tenemos en cuenta la cota mínima del canal, del fondo de balsa, tomada en la depresión de la toma de fondo de la misma y que se establece en 879,00 msnm y la cota a eje en el colector de aspiración en la estación de bombeo 876,52 msnm, por lo tanto y como ya se ha desarrollado anteriormente la presión disponible en para la totalidad del caudal en la cota mínima de la balsa (el agua entraría directamente del canal, a través de la balsa pero sin acumularse):

$$H_{aspiración} = Z_{canal} - Z_{eje\_aspiración} - \Delta H = 879,00m.c.a - 876,52m.c.a - 1m.c.a = 1,48m.ca.$$

---

Los grupos de bombeo deben ser capaces de dar una presión de 55 m.c.a, para las condiciones generales de funcionamiento, teniendo la carga en aspiración en función de la lámina de agua en la balsa de regulación, y desestimando la carga en aspiración debido a la cota establecida en el nodo de impulsión.

El aporte del total del caudal se realiza mediante el fraccionamiento en diferentes caudales atendiendo a la autonomía del diseño, y la capacidad de regulación.

Se opta por un de fraccionamiento escalonando el caudal, con un total de 7 bombas, divididas en 5 grupos principales y 2 bombas auxiliares que distribuyen el 50% del caudal de las principales.

Como se acaba de mencionar, para evitar posibles inconvenientes que pueda generar la paralización de un grupo de bombeo en plena campaña de riego en período punta, se proyecta instalar una bomba de las denominadas grandes o principales como reserva.

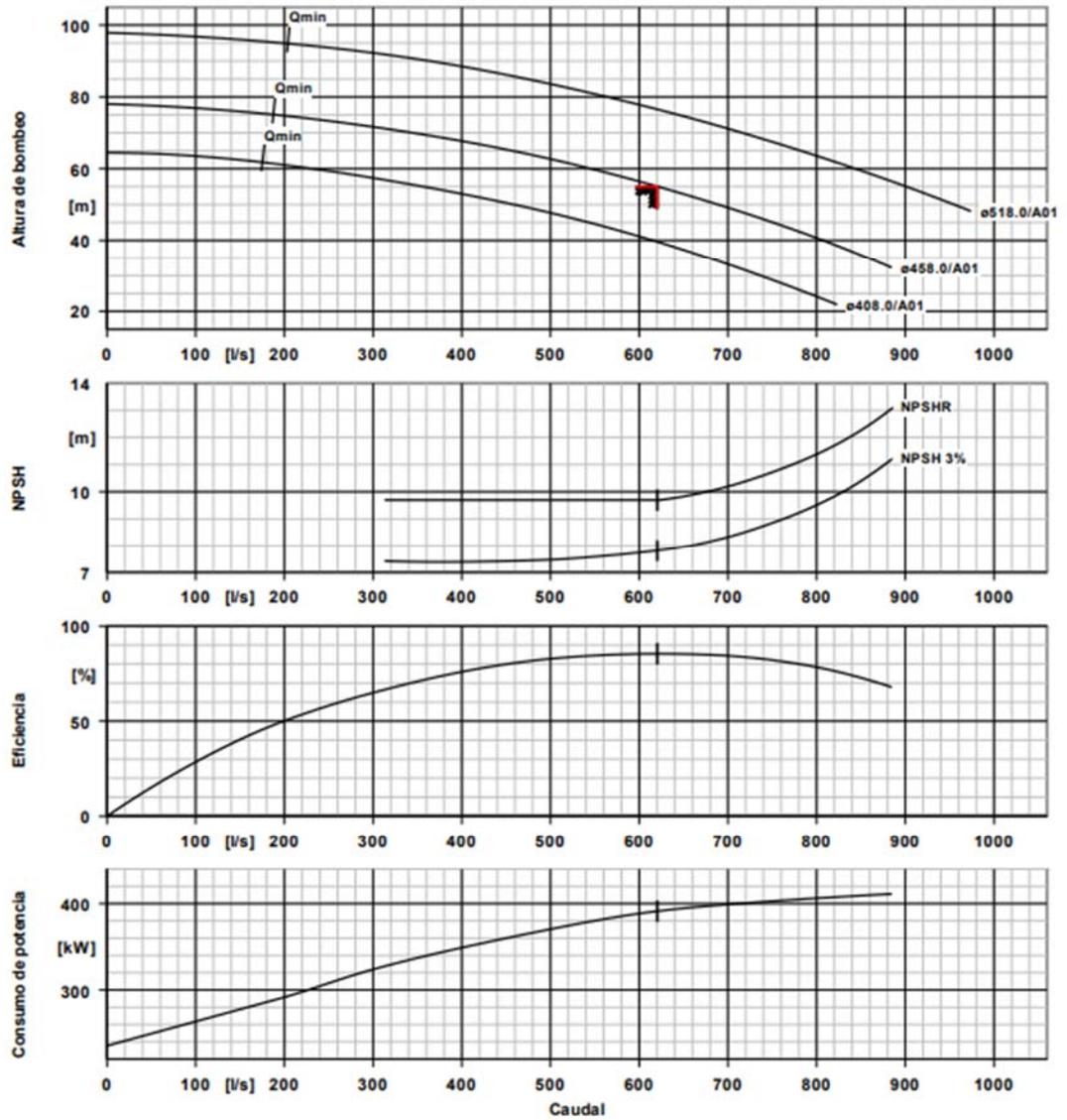


Imagen 14. Curva característica bomba grande o principal. Caudal 620 l/s a 55 mca y 500 kW.

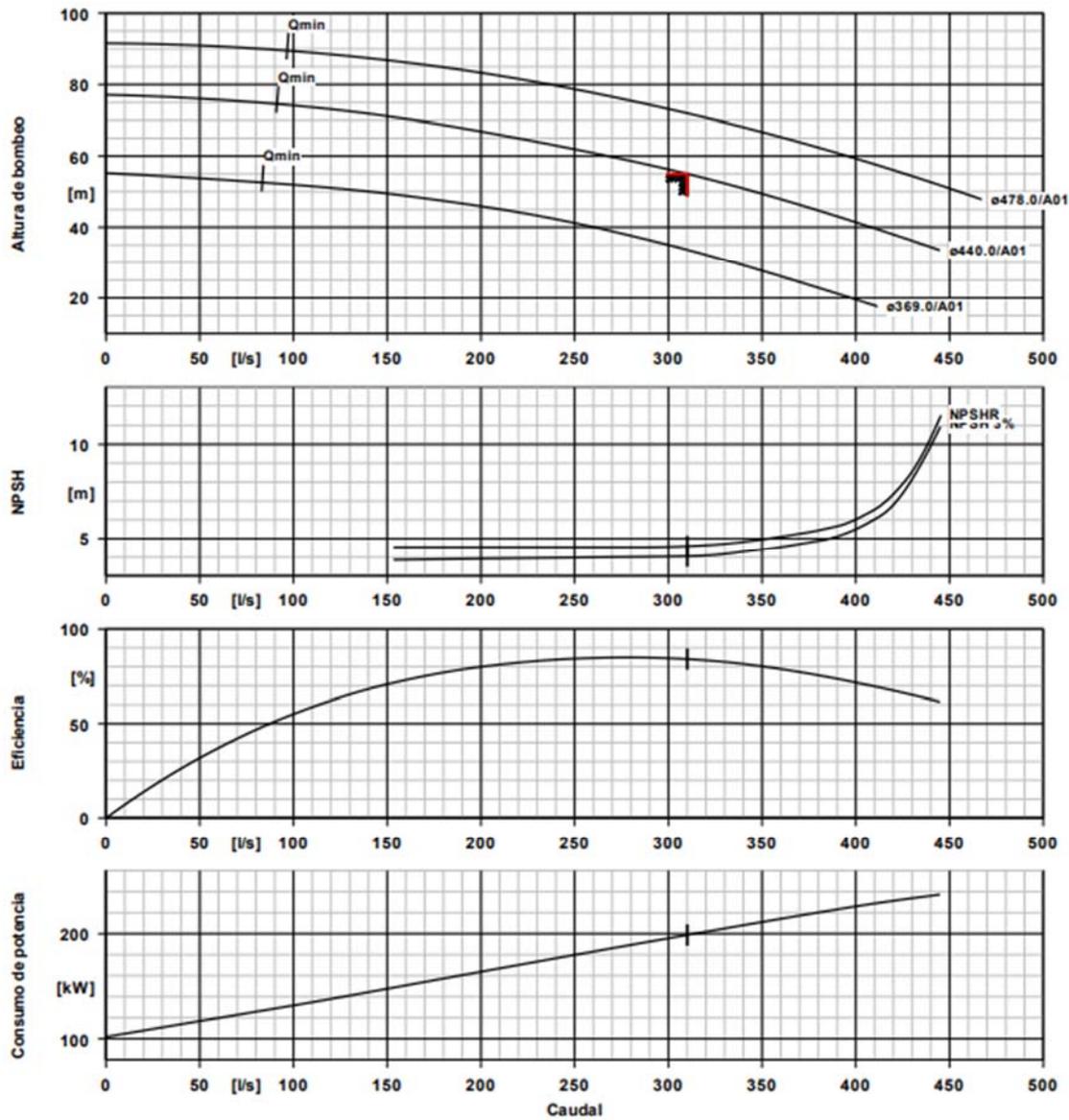


Imagen 15. Curva característica bomba auxiliar o pequeña. Caudal 310 l/s a 55 mca y 250 kW.

## 2.8 COLECTORES DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

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 1,5 m/s.

$$Q = V \times S_{colector}$$

Los colectores de la estación de bombeo serán de acero al carbono S-275-JR conforme a la norma EN10025-1-2:2006. Las dimensiones y masas de los tubos cumplirán la norma UNE-EN 10220:2004.

Las uniones entre tramos serán con brida de acero al carbono S-275-JR conforme la norma EN 10025-1-2:2006 y las dimensiones de las bridas cumplirán la norma UNE-EN-ISO 1092-1:2008+A1:2015. Los tornillos cumplirán calidad 8.8, zincados, conformes con la norma UNE-EN ISO 898-1:2015. El proceso de pintado comprenderá las siguientes fases: granallado de la superficie hasta rugosidad SA 2 ½, conforme la norma UNE-EN ISO 8501-1:2008, pintura en polvo epoxi-poliéster de 120 micras de espesor, segunda capa de pintura en polvo de espesor mínimo 80 micras.

La tubería de aspiración llega a la estación mediante un diámetro 1.829 mm, y la salida a la red de riego se hace con un diámetro 1.626 mm. Los grupos de bombeo se conectan a los colectores mediante otros secundarios de las mismas características.

- COLECTOR DE ASPIRACIÓN (3.100 l/s): DN 1829
- TUBERÍA DE ASPIRACIÓN BOMBA 500 kW (620 l/s): DN 800
- TUBERÍA DE ASPIRACIÓN BOMBA 250 kW (310 l/s): DN 600
- COLECTOR DE IMPULSIÓN (3.100 l/s): DN 1626
- TUBERÍA DE IMPULSIÓN BOMBA 500 kW (620 l/s): DN 600
- TUBERÍA DE IMPULSIÓN BOMBA 250 kW (310 l/s): DN 400

Para la determinación del **colector de by-pass**, se tiene en cuenta la posibilidad de su uso para el llenado de la red principal, aunque esta posibilidad solo es factible en las zonas con cota favorable.

Tenemos en cuenta la totalidad de la red, para unas velocidades de llenado inferior a 0,4 m/s, con un tiempo de llenado entre 16- 24 horas, el diámetro necesario es **800 mm**.

Se comprueba la posibilidad de dar turnos con riego por gravedad, a través de dicho by-pass.

Una vez determinados los diámetros de los colectores, se tendrán 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 colector individual aspiración**, a cualquier elemento que ocasione cambios en el flujo, y una separación entre colectores individuales superior **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 **10 °**, se diseñan excéntricos para evitar concentraciones de burbujas de aire.

## 2.9 ESPEORES DE LOS COLECTORES

Los colectores deberán resistir la presión hidrostática que se genera, sobre todo en la impulsión. Se diseñan en acero electrosoldado, sometido a un 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 un tratamiento anticorrosivo exterior e interior con pintura epoxi.

Los tubos de acero tienen la condición de metálicos. El acero empleado en su fabricación debe ser del tipo no aleado y completamente calmado, según lo indicado en la norma UNE-EN 10020:2001, pudiendo ser sometido a tratamiento térmico.

El acero de estos tubos debe tener una aptitud garantizada al soldeo, según lo indicado en la norma UNE-EN 10025:2006.

Las características mecánicas del acero a emplear son las contempladas en la tabla 20, apartado 3.3.3 Características técnicas de la Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión del CEDEX.

Tabla 20. Características mecánicas del acero (UNE EN 10025:1994 y UNE 36080:1992)

Tipo de acero		Resistencia mín. a la tracción Rm (N/mm <sup>2</sup> )		Limite elástico mínimo Le <sub>min</sub> (N/mm <sup>2</sup> )		Alargamiento en la rotura A <sub>min</sub> (%) L (longitudinal) y T (transversal)					
UNE 36080	UNE EN 10025	e<3	3<e<40	e<16	16<e<40	e<1	1<e<1,5	1,5<e<2	2<e<2,5	2,5<e<3	3<e<40
A 310	S 185	310 a 540	290 a 510	185	175	10 (L)8 (T)	11 (L)9 (T)	12 (L)10 (T)	13 (L)11 (T)	14 (L)12 (T)	18 (L)16 (T)
AE 235	S 235	360 a 510	340 a 470	235	225	17 (L)18 (T)	18 (L)16 (T)	19 (L)17 (T)	20 (L)18 (T)	21 (L)19 (T)	26 (L)24 (T)
AE 275	S 275	430 a 580	410 a 560	275	265	14 (L)12 (T)	15 (L)13 (T)	16 (L)14 (T)	17 (L)15 (T)	18 (L)16 (T)	22 (L)20 (T)
AE 355	S 355	510 a 680	490 a 630	355	345	14 (L)12 (T)	15 (L)13 (T)	16 (L)14 (T)	17 (L)15 (T)	18 (L)16 (T)	22 (L)20 (T)
A 490	E 295	490 a 660	470 a 610	295	285	12 (L)10 (T)	13 (L)11 (T)	14 (L)12 (T)	15 (L)13 (T)	16 (L)14 (T)	20 (L)18 (T)
A 590	E 335	590 a 770	570 a 710	335	325	8 (L)6 (T)	9 (L)7 (T)	10 (L)8 (T)	11 (L)9 (T)	12 (L)10 (T)	16 (L)14 (T)
A 690	E 360	690 a 900	670 a 830	360	355	4 (L)3 (T)	5 (L)4 (T)	6 (L)5 (T)	7 (L)6 (T)	8 (L)7 (T)	11 (L)10 (T)

Imagen 16. Características mecánicas del acero

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 (mm)
- MDP: Presión máxima de diseño (MPa)
- D: Diámetro del tubo (m)
- $\sigma_{adm}$ : Tensión a tracción admisible del acero (MPa)

Se ha previsto una MDP debido a la estimación de la sobrepresión del golpe de ariete.

Igualmente, se considera un sobre espesor para compensar la corrosión de 2,50 mm.

El Acero S-275 tiene un límite elástico de 275 N/mm<sup>2</sup>, y se adopta un coeficiente de seguridad en los cálculos de 2.

DATOS CÁLCULO ESPESOR COLECTOR DE ASPIRACIÓN					
e (mm)	11	D (mm)	1829		
		P <sub>TRABAJO SISTEMA</sub> (mca)	55	P <sub>SEGURIDAD</sub> (mca)	82,5
Las velocidades en la tubería de impulsión recomendadas están entre 2,5 m/s y 3,5 m/s (velocidad por encima de la cual si todas las bombas están funcionando podrían provocar problemas de durabilidad). Para la presión a considerar se estima un coeficiente de seguridad de 1,50.					
		$\sigma = (P \cdot D) / (2e)$			$\sigma$ : Tensión Traccial del material (Kp/mm <sup>2</sup> )
					e: Espesor Teórico (mm)
					P: Presión de Cálculo (kg/mm <sup>2</sup> )
		$\sigma$ (Kp/mm <sup>2</sup> )	6,86		D: Diámetro (mm)

Imagen 17. Ejemplo de cálculo/comprobación de espesores

A pesar de los distintos valores obtenidos en el cálculo y por 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 adopta los siguientes espesores de tubo, valores consideramos del todo admisible, cubriendo con seguridad las tensiones previstas.

Tabla 8. Espesores adoptados para colectores

	DN (mm)	Espesor Mínimo de cálculo (mm)	Espesor mínimo a instalar (mm)
COLECTOR DE ASPIRACIÓN (mm)	1829	6,55	11
COLECTOR DE IMPULSIÓN (mm)	1600	5,82	11
TUBERÍA DE ASPIRACIÓN BG (mm)	800	2,86	10
TUBERÍA DE IMPULSIÓN BG (mm)	600	2,15	10
TUBERÍA DE ASPIRACIÓN BP (mm)	600	2,15	10
TUBERÍA DE IMPULSIÓN BP (mm)	400	1,43	6,3

## 2.10 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:

- Colector general de aspiración general de acero helicoidal de DN 1.829 mm (espesor mínimo 11 mm).
- Colector de aspiración individual, compuesta por los siguientes elementos:
  - Ventosas trifuncionales intercaladas, de cierre de baja presión y antigolpe de ariete
  - Válvula de mariposa embridada o ranurada, atendiendo al diámetro
  - Colector individual con una longitud igual o superior a 5 veces el diámetro

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 10°.

De esta forma, 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 formado por una 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 10°
  - Una válvula antirretorno de doble clapeta o bola (según diámetro) ranurada
  - Válvula de mariposa ranurada actuador-reductor
  - Codo de 45° de enlace con colector general
- Colector general de impulsión general de acero helicoidal y diámetro nominal 1.626 mm (espesor 11 mm), en el colector se dispone:
  - Ventosas trifuncionales intercaladas, de cierre de baja presión y antigolpe de ariete
  - Colector aguas arriba del caudalímetro, de longitud igual o superior a 5 veces el diámetro nominal

- Caudalímetro electromagnético
- Colector aguas arriba del caudalímetro, de longitud igual o superior a 3 veces el diámetro nominal.
- Colector by-pass, donde se dispondrán elementos de seguridad contra sobrepresiones y depresiones, además de permitir el llenado de la red por gravedad sin el uso de las bombas.
  - Válvula antirretorno de doble clapeta ranurada
  - Válvulas de mariposa ranuradas
  - Válvula anticipadora de onda

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 la misma en sentido contrario al de trabajo (y por igual al motor eléctrico de arrastre acoplado a ella), lo que produce un embalamiento pernicioso de la máquina. Además, evita el vaciado de la tubería de impulsión a través de la bomba cuando ésta está parada y se protege así a la bomba contra el exceso de presión.
- Válvula de mariposa 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.
- Carrete telescópico de desmontaje. Facilita el montaje y desmontaje de la cadena de elementos asociada entre bridas.
- Válvula anticipadora de onda: Válvula de control diseñada para anticipar ondas y evitar el golpe de ariete, derivado muchas veces de fallos eléctricos. Es una válvula pilotada, con dos pilotos que detectan la presión a través de una conexión con el cabezal de impulsión. Existe un piloto de alta presión, para abrir la válvula y aliviar el exceso de presión; y un piloto de baja presión que abre rápidamente por debajo de las presiones normales de trabajo antes del retorno de una onda. Se proyecta la instalación de una **válvula hidráulica anticipadora de onda DN300**.

106-RPS-L&H	Capacidad de Caudal 45 pies / s o 14 m / s (Ver 106-PG en la sección de Válvulas Principales para otros datos de la válvula)								
Diámetro (pulgadas)	6"	8"	10"	12"	14"	16"	20"	24"	36"
Diámetro (mm)	150 mm	200 mm	250 mm	300 mm	350 mm	400 mm	500 mm	600 mm	900 mm
Momentáneo (USGPM)	4000	7000	11000	16000	19000	25000	39000	56200	124700
Momentáneo (L/s)	252	442	694	1009	1199	1577	2461	3546	7868

206-RPS-L&H	Capacidad de Caudal 45 pies / s o 14 m / s (Ver 206-PG en la sección de Válvulas Principales para otros datos de la válvula)								
Diámetro (pulgadas)	3"	4"	6"	8"	10"	12"	16"	18"	20"
Diámetro (mm)	80 mm	100 mm	150 mm	200 mm	250 mm	300 mm	400 mm	450 mm	500 mm
Momentáneo (USGPM)	564	1236	2160	4800	8400	13200	19200	30000	30050
Momentáneo (L/s)	36	78	136	303	530	833	1211	1893	1896

Imagen 18. Válvula hidráulica anticipadora de onda. Modelo 106 paso total, y modelo 206 paso reducido. Catálogo AVK.

La operación de llenado de una conducción supone la expulsión del aire a la atmósfera y su sustitución por agua, siendo fundamental el correcto funcionamiento de las ventosas dispuestas en los colectores, tanto aspiración como impulsión.

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 es demasiado pequeño, no se podrá 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.

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  $P_{exp}$  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  $P_{atm}$ . Se utilizará la siguiente expresión:

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

donde  $P_{exp}^*$  indica presión absoluta 11,5 m.c.a.

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 la compuerta manual situada al principio del colector de aspiración.

Con la velocidad de llenado de 0,4 m/s, el caudal de llenado del tubo que le corresponde con esta velocidad, el caudal de salida que le correspondería y la transformación a caudal a evacuar para la presión de 1,5 m.c.a.

**Colector Aspiración DN1829:**

$$Q_{\text{aire atm}} = \frac{11,5 \text{ m.c.a} \cdot 0,4 \text{ m/s} \cdot \pi \cdot 0,9^2 \cdot \text{m}^2}{10 \text{ m.c.a}} = 1,17 \text{ m}^3 / \text{s} = 1.170 \text{ l/s} .$$

Ventosa trifuncional: 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
- 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.

Ahora determinamos las ventosas necesarias ante el vaciado de la red. 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.

## 2.11 DESAGÜE

En la 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.

Se determina el caudal de desagüe y se establece el diámetro de la tubería que permita evacuar el agua.

Se considera, mediante la ecuación de Bernoulli, la sección de la tubería de desagüe fijando dentro de la estación de bombeo como cota de 875,12 m existente en solera y añadiendo sólo medio metro por encima de la misma como límite para permitir la subida del nivel de agua por encima de la cota de la solera.

Para establecer el punto de desagüe se proyectó una rasante (plano nº8.10: perfil longitudinal del desagüe de la Estación de Bombeo) con una pendiente constante del 2,22 ‰, que permita el desagüe natural de las pequeñas fugas o prensaestopas, hasta el punto de conexión de dicho desagüe con desagüe mediante cuneta en tierra contemplada en el proyecto de concentración parcelaria, que reconduce a su vez el caudal de desagüe al punto de vertido.

La conducción proyectada como desagüe aflorará en la cuneta abierta a la atmósfera en la cota 858,85 metros (generatriz superior de la tubería), atendiendo a la profundidad mínima exigida. Para evitar la afección a la cuneta, se diseñó un frente para el tubo de hormigón armado de diámetro 800 mm, y la protección del cauce en el punto de vertido con escollera (plano nº8.11 – Conducción de desagüe).

$$z_0 + \frac{P_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + \Delta H$$

Donde tenemos que  $\frac{P_0}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma}$  y  $v_0=0$ , por lo tanto:

$$z_0 = z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \Delta H$$

Por lo tanto, la diferencia de cota entre ambos puntos, ( $H_a$ ), debe permitir vencer el conjunto de pérdidas existentes y en la creación de velocidad.

$$H_a = z_0 - z_1$$

En el análisis de las pérdidas de carga, en este caso analizamos las pérdidas continuas en la conducción ( $h_r$ ) y las singulares ( $h_s$ ) propia del diseño del desagüe.

$$\Delta H = h_r + h_s$$

En este caso para la determinación de las pérdidas en la conducción hacemos uso de la ecuación de Mannig:

$$h_r = L \times n^2 \times \frac{v_1^2}{R_h^{4/3}}$$

siendo los parámetros:

- L: Longitud, en este caso **1.357,44 m**
- N: Coeficiente de Manning (para tubería plástica de PVC; 0,008)
- R<sub>h</sub>: Radio hidráulico definido según la fórmula siguiente:

$$R_h = \frac{\pi \times r^2}{2\pi \times r} = \frac{r}{2}$$

Las pérdidas singulares atienden corresponden al pozo de registro de la estación de bombeo, y las pérdidas de carga en régimen turbulento se expresan:

$$h_s = k \times \frac{v_1^2}{2g}$$

k = coeficiente de pérdidas singulares:

- K<sub>codo 40°</sub> = 0,20
- K<sub>codo 20°</sub> = 0,05
- K<sub>embocadura</sub> = 2 x 0,1

$$Q_{desagüe} = \sqrt{\frac{H_a \times D^{5,333}}{(0,08268(1+k) \times D^{1,333} + 10,3 \times L \times n^2)}}$$

El caudal a desaguar se corresponderá con 40 % del caudal bombeado:

$$Q_{desagüe} = 0,40 \times Q_{bombeo} = 1,57 m^3 / s$$

Tras la exposición conceptual, se emplea la herramienta HCANALES versión 3.0 para realizar la comprobación.

Para dicho caudal se opta por una tubería de hormigón armado DN 800 mm (nivel de llenado del 70 %), que aporta una capacidad de desagüe de 0,64 m<sup>3</sup>/s con una velocidad en la tubería adecuada, manteniendo el nivel en una seguridad para que no afecte a los motores eléctricos.

Si analizamos el funcionamiento del colector en lámina libre y teniendo en cuenta la pendiente mínima disponible en el perfil, 2,22 ‰, se observa que, con un tirante de 0,80 m, es capaz de llevarse el caudal 0,64 m<sup>3</sup>/s, lo que aporta garantía de funcionamiento frente a eventualidades.



Imagen 19. Comprobación de tubería de desagüe estación de bombeo.

## ANEXO 3. REGLAS DE FUNCIONAMIENTO DEL BOMBEO

Las reglas que pueden ilustrar el funcionamiento de la estación de bombeo con los diferentes equipos es:

### RULE 1

IF LINK L2 FLOW > 0  
AND LINK L2 FLOW <= 311  
THEN PUMP P1 STATUS IS OPEN  
ELSE PUMP P1 STATUS IS CLOSED

### RULE 2

IF LINK L2 FLOW > 310  
AND LINK L2 FLOW <= 601  
THEN PUMP P2 STATUS IS OPEN  
ELSE PUMP P2 STATUS IS CLOSED

### RULE 3

IF LINK L2 FLOW > 600  
AND LINK L2 FLOW <= 911  
THEN PUMP P3 STATUS IS OPEN  
ELSE PUMP P3 STATUS IS CLOSED

### RULE 4

IF LINK L2 FLOW > 600  
AND LINK L2 FLOW <= 911  
THEN PUMP P4 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P4 SETTING IS 0

### RULE 5

IF LINK L2 FLOW > 920  
AND LINK L2 FLOW <= 1211  
THEN PUMP P5 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P5 SETTING IS 0

RULE 6

IF LINK L2 FLOW > 920  
AND LINK L2 FLOW <= 1212  
THEN PUMP P6 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P6 SETTING IS 0

RULE 7

IF LINK L2 FLOW > 1220  
AND LINK L2 FLOW <= 1531  
THEN PUMP P7 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P7 SETTING IS 0

RULE 8

IF LINK L2 FLOW > 1220  
AND LINK L2 FLOW <= 1531  
THEN PUMP P8 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P8 SETTING IS 0

RULE 9

IF LINK L2 FLOW > 1220  
AND LINK L2 FLOW <= 1531  
THEN PUMP P9 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P9 SETTING IS 0

RULE 10

IF LINK L2 FLOW > 1530  
AND LINK L2 FLOW <= 1821  
THEN PUMP P10 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P10 SETTING IS 0

RULE 11

IF LINK L2 FLOW > 1530

---

AND LINK L2 FLOW <= 1821  
THEN PUMP P11 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P11 SETTING IS 0

RULE 12  
IF LINK L2 FLOW > 1530  
AND LINK L2 FLOW <= 1831  
THEN PUMP P12 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P12 SETTING IS 0

RULE 13  
IF LINK L2 FLOW > 1830  
AND LINK L2 FLOW <= 2441  
THEN PUMP P13 STATUS IS OPEN  
ELSE PUMP P13 STATUS IS CLOSED

RULE 14  
IF LINK L2 FLOW > 1839  
AND LINK L2 FLOW <= 2441  
THEN PUMP P14 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P14 SETTING IS 0

RULE 15  
IF LINK L2 FLOW > 1830  
AND LINK L2 FLOW <= 2441  
THEN PUMP P15 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P15 SETTING IS 0

RULE 16  
IF LINK L2 FLOW > 1830  
AND LINK L2 FLOW <= 2441  
THEN PUMP P16 SETTING IS 1  
ELSE PUMP P16 SETTING IS 0

## ANEXO 4. ELEMENTOS DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

En este anexo se detallan los elementos que compondrán la Estación de Bombeo.

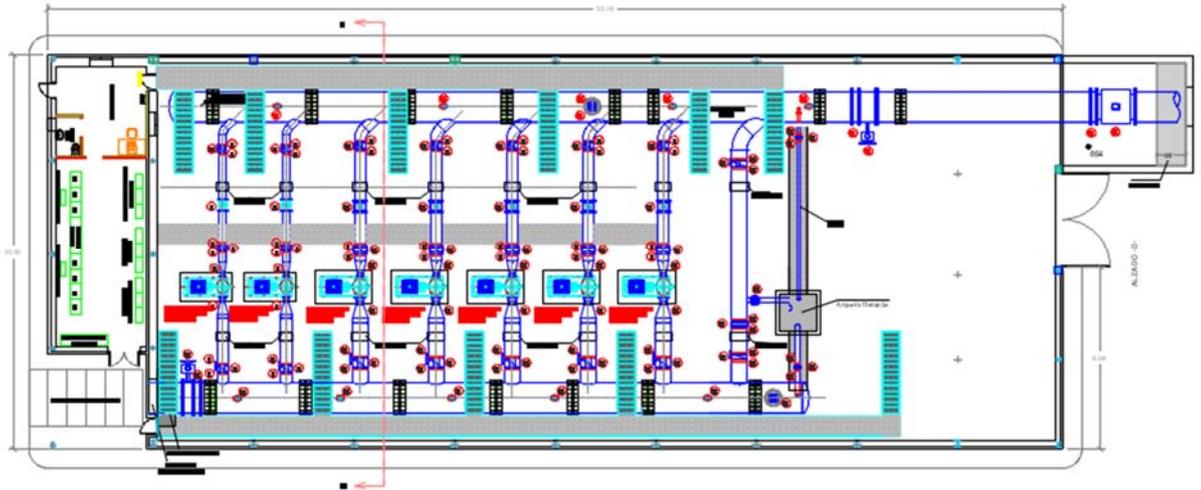


Imagen 20. Planta de la estación de bombeo.

### CALDERERÍA

La Estación de Bombeo se compondrá de dos colectores, uno de aspiración de DN 1.829 mm y otro de impulsión de DN 1.626 mm. Cada una de las 7 bombas dispondrán de una tubería de aspiración y otra de impulsión que las unirá a los colectores, de modo que se instalarán 7 tuberías de aspiración, 5 de DN 800 mm y 2 de DN 600 mm, y 7 tuberías de impulsión, 5 de DN 600 mm y 2 de DN 400 mm.

Dichos colectores, junto con las tuberías de admisión e impulsión de las bombas serán de acero al carbono S-275-JR conforme a norma EN 10025-1-2:2006 y sus dimensiones y masas cumplirán la norma UNE-EN 10220:2004. Ambos colectores dispondrán de un carrete de desmontaje, elemento 12 y 31 en el plano 8.2, y de boca de hombre DN 800 mm, elemento 13 en el plano 8.2.

Las bridas se realizarán en acero al carbono S-275-JR conforme a norma EN 10025-1-2:2006 y sus dimensiones cumplirán la norma UNE 1092-1:2008. Serán necesarias 2 para el colector de aspiración, 4 para el colector de impulsión, 6 para tubería de DN 500 mm, 4 para tubería de 400 mm y dos para las bocas de hombre de DN 800 mm. Toda la tornillería asociada será zincada y cumplirá la norma UNE-EN ISO 898-1:2015.

## BOMBAS

Las bombas de las cuales se compondrá la estación de bombeo son 5 bombas de 500 kW con un caudal de 620 l/s y 2 bombas de 250 kW con un caudal de 310 l/s. Las bombas serán bombas centrífugas horizontal de cámara partida y doble aspiración modelo SCP 250.450 HA o similar, con posibilidad de trabajar bajo el control de un arrancador progresivo o variador de frecuencia.

Los motores serán ABB, SIEMENS o equivalente de 500 kW (+-15%) a 1480 rpm IP 55 a 690/400 V 50 Hz especial para trabajar con variador de frecuencia, montado sobre bancada y con manguito de acoplamiento. El rendimiento a caudal mínimo debe ser superior al 50% y a régimen nominal debe superar el 85% (rendimiento mínimo garantizado 85% con tolerancia ISO 9906 1U). Los motores incorporarán resistencias de caldeo y sondas PT-100 en rodamientos (2 uds) y devanados (3 uds), las bombas llevarán sondas PT-100 en rodamientos (2 uds).

El cuerpo de bomba será monoescalonado, del tipo voluta espiral y partido axialmente a lo largo del eje, con anillos de desgaste del cuerpo intercambiables. El rodete será de doble entrada, cerado, con palas helicoidales.

Las calidades de los materiales de los distintos componentes serán las siguientes, cuerpo de la bomba de hierro fundido GG 25, rodete impulsor de bronce C 311, anillo desgaste de la carcasa de bronce C 352, anillo desgaste del rodete de bronce C 352, eje de 13 % cromo, camisa de eje de AISI 316 O 13 % Cromo, cojinetes con rodamientos, lubricación con aceite y empaquetadura con algodón grafitado, todo ello según norma ASTM y junta del cuerpo de klingerit, acoplamiento tipo flender n-eupex y placa base de perfiles laminados de acero al carbono S 275 JR, según norma EN 10025.