

## ANEJO 10. CÁLCULO HIDRÁULICO.

### ESTACIÓN DE BOMBEO

---

## ÍNDICE

|          |                                     |           |
|----------|-------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUCCIÓN.....</b>            | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>DESCRIPCIÓN GENERAL .....</b>    | <b>4</b>  |
| <b>3</b> | <b>CÁLCULO HIDRÁULICO.....</b>      | <b>5</b>  |
| <b>4</b> | <b>GRUPOS DE BOMBEO .....</b>       | <b>13</b> |
| <b>5</b> | <b>COLECTORES .....</b>             | <b>25</b> |
| <b>6</b> | <b>VÁLVULERÍA Y ACCESORIOS.....</b> | <b>30</b> |
| <b>7</b> | <b>DESAGÜE .....</b>                | <b>36</b> |
| <b>8</b> | <b>CONTROL Y REGULACIÓN .....</b>   | <b>37</b> |

## Índice de gráficos

|                    |                                        |          |
|--------------------|----------------------------------------|----------|
| <b>Gráfico 1.-</b> | <b>Curva de consiga SII.....</b>       | <b>7</b> |
| <b>Gráfico 2.-</b> | <b>Curva de consiga de SIII A.....</b> | <b>8</b> |
| <b>Gráfico 3.-</b> | <b>Curva de consigna SIII B.....</b>   | <b>9</b> |

## **Índice de tablas**

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| Tabla 1.- Datos de consigna SII .....            | 8  |
| Tabla 2.- Datos de consigna SIII A .....         | 9  |
| Tabla 3.- Datos de consigna SIII B .....         | 10 |
| Tabla 4.- Caudal de salida de ventosas .....     | 33 |
| Tabla 5.- Ventosas en caso de rotura franca..... | 36 |

---

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

---

## **1 INTRODUCCIÓN**

Para la modernización y puesta en riego de la zona objeto de este proyecto es necesario impulsar el agua del canal para asegurar la suficiente presión en los hidrantes para un riego eficiente. Por ello se ha diseñado, en el término municipal de Mansilla de las Mulas, una estación de bombeo que abastece al regadío del sector II y otra estación en el término municipal de Corbillos de los Oteros, que abastece al sector III.

Las estaciones de bombeo se diseñan a partir de los datos calculados para suministrar caudal y presión necesarios, que son función de la demanda de la red, que es a su vez la suma de las de cada uno de los hidrantes que sirven a sendas agrupaciones de riego en cada sector.

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

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

## **2 DESCRIPCIÓN GENERAL**

La estación de bombeo del sector II está diseñada para dar servicio a 2.089 ha pertenecientes a los términos municipales de Villanueva de las Manzanas, Mansilla de las Mulas, Santos Martas y Villaturiel en la provincia de León.

La estación de bombeo del sector III está diseñada para dar servicio a 2.666 ha pertenecientes a los términos municipales de Villanueva de las Manzanas, Mansilla de las Mulas, Santos Martas, Villaturiel, Campo de Villavidel, Corbillos de los Oteros y Cabreros del Río en la provincia de León.

---

***ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO***

---

La ubicación de la estación del sector II se encuentra en las proximidades de la población de Valdearcos.

La ubicación de la estación del sector III se encuentra en las proximidades de la población de Malillos de los Oteros.

La alimentación de agua a las estaciones de bombeo tendrá lugar desde el canal de la Margen Izquierda del Porma, previo paso por balsa de regulación.

Se trata de bombeos directos a las respectivas redes de riego, por lo que se dimensionan para abastecer la zona regable durante el periodo de máxima demanda. En el caso del sector II, según los datos del cálculo de la red se necesitará un caudal punta en cabecera de 3033 l/s, a una altura manométrica de 59 m, como puede comprobarse en el anejo n.º 6 del presente proyecto, dedicado al diseño y dimensionado hidráulico de dicha red.

En el sector III, la estación de bombeo se diseña con dos alturas de bombeo para dos zonas de riego diferentes, es decir, en dos subsectores, Subsector III A y Subsector III B, cada uno con un caudal y presión necesarios distintos. Según los cálculos se necesitará un caudal punta en cabecera de 1.622 l/s en el Sector III A y un caudal punta de 2.372 l/s en el Sector III B. La altura manométrica necesaria para el Sector III A es de 65 m y para el Sector III B es de 54 m. Para esta estación de bombeo, se diseña un colector de aspiración único, y dos colectores de impulsión independientes, uno para Subsector III A y otro para Subsector III B.

### **3 CÁLCULO HIDRÁULICO**

Las necesidades de bombeo vienen dadas, como se comenta en el epígrafe anterior, por el cálculo de la red.

Para el cálculo de la potencia de bombeo se utiliza la siguiente expresión, para un rendimiento de bomba ( $\eta_b$ ) del 75% y un rendimiento mecánico del motor eléctrico ( $\eta_m$ ) del 90%:

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

$$P(SII) = \frac{0,736 \times 59 \times 3033}{75 \times 0,75 \times 0,9} = 2.601,58 \text{ kW}$$

---

***ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO***

---

$$P(SIIIA) = \frac{0,736 \times 65 \times 1622}{75 \times 0,75 \times 0,9} = 1.532,77 \text{ kW}$$

$$P(SIIIB) = \frac{0,736 \times 54 \times 2372}{75 \times 0,75 \times 0,9} = 1.862,18 \text{ kW}$$

Los requisitos de presión a suministrar en la estación de bombeo vienen dados por la curva de consigna, esto es, el lugar geométrico constituido por los pares de valores caudal demandado–presión en el origen de la red de riego (o sea, presión de salida en la estación de bombeo). Esta presión, para cada caudal demandado, se establece como la necesaria para el correcto funcionamiento de todos los hidrantes abiertos de la red, con las siguientes condiciones:

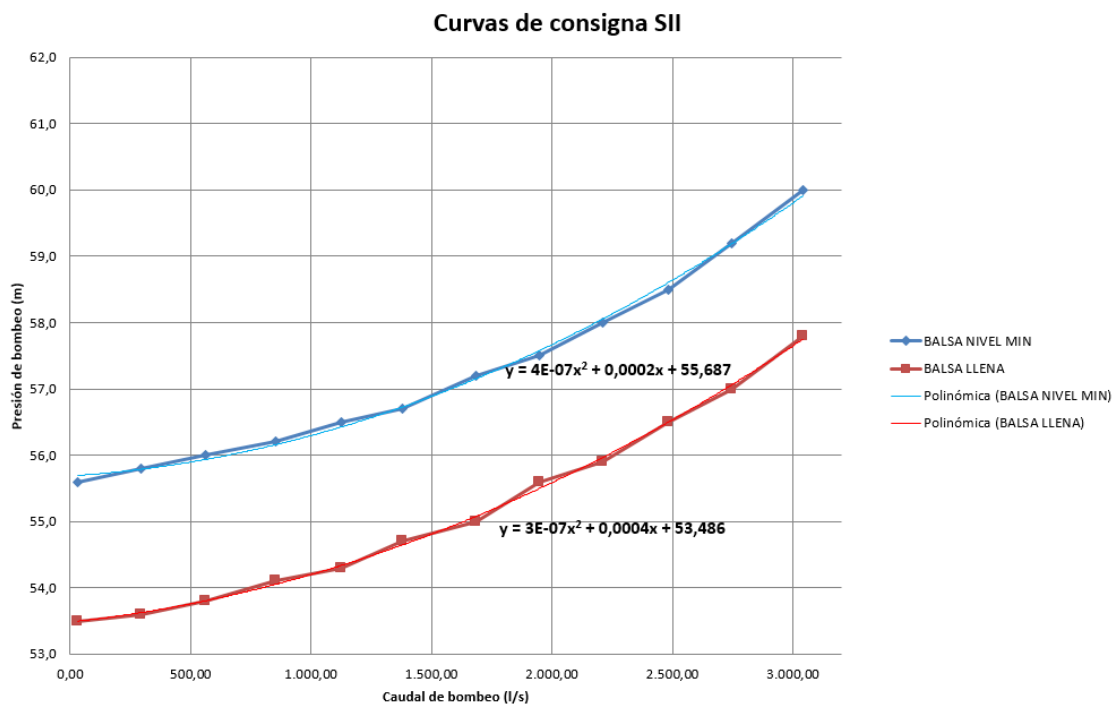
- ♦ Que el caudal demandado sea inferior a un máximo admisible, habitualmente el caudal de diseño del sistema, por encima del cual no se puede garantizar satisfacer los requisitos de presión.
- ♦ Que los hidrantes abiertos generando demanda se encuentren **aleatoriamente** distribuidos, de manera que no haya concentraciones singulares de demanda que incrementen las pérdidas de carga locales y en consecuencia no aumenten extraordinariamente los requisitos de presión en cabecera.

Esta curva representa para demandas crecientes de caudal en origen, la altura manométrica ideal que deberían suministrar los grupos de elevación para cubrir los requerimientos de presión en todos los hidrantes.

Atendiendo a las condiciones de la red, el programa de cálculo de optimización de la misma establece la curva de consigna. Además de servir para regular los niveles de presión en la red, esta curva nos permite disponer de una referencia ideal sobre la que contrastar la rentabilidad energética de un sistema de regulación determinado; para cada caudal, la curva de consigna indicará las condiciones de bombeo ideales a las que se deberá llegar en la realidad.

El ajuste entre unas y otras condiciones se deberá conseguir manteniendo un alto rendimiento de los equipos de bombeo; la curva de consigna coincide con la curva resistente del sistema diseñado, que se muestra a continuación:

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**



**Gráfico 1.- Curva de consiga SII**

| BALSA NIVEL MIN SII |          |          |          |             |
|---------------------|----------|----------|----------|-------------|
| % abiertos          | Q (l/s)  | HMin (m) | HMax (m) | HMaxMed (m) |
| 0%                  | 30,00    | 55,6     | 55,6     | 55,6        |
| 5%                  | 295,30   | 55,6     | 57,8     | 55,8        |
| 10%                 | 559,90   | 55,6     | 57,8     | 56,0        |
| 15%                 | 852,90   | 55,6     | 58,3     | 56,2        |
| 20%                 | 1.123,30 | 55,7     | 58,7     | 56,5        |
| 25%                 | 1.380,80 | 55,7     | 58,3     | 56,7        |
| 30%                 | 1.682,10 | 55,8     | 60,5     | 57,2        |
| 35%                 | 1.946,20 | 55,9     | 61,8     | 57,5        |
| 40%                 | 2.210,90 | 56,2     | 62,9     | 58,0        |
| 45%                 | 2.482,10 | 56,4     | 64,5     | 58,5        |
| 50%                 | 2.745,20 | 56,5     | 64,5     | 59,2        |
| 55%                 | 3.041,00 | 57,1     | 65,0     | 60,0        |

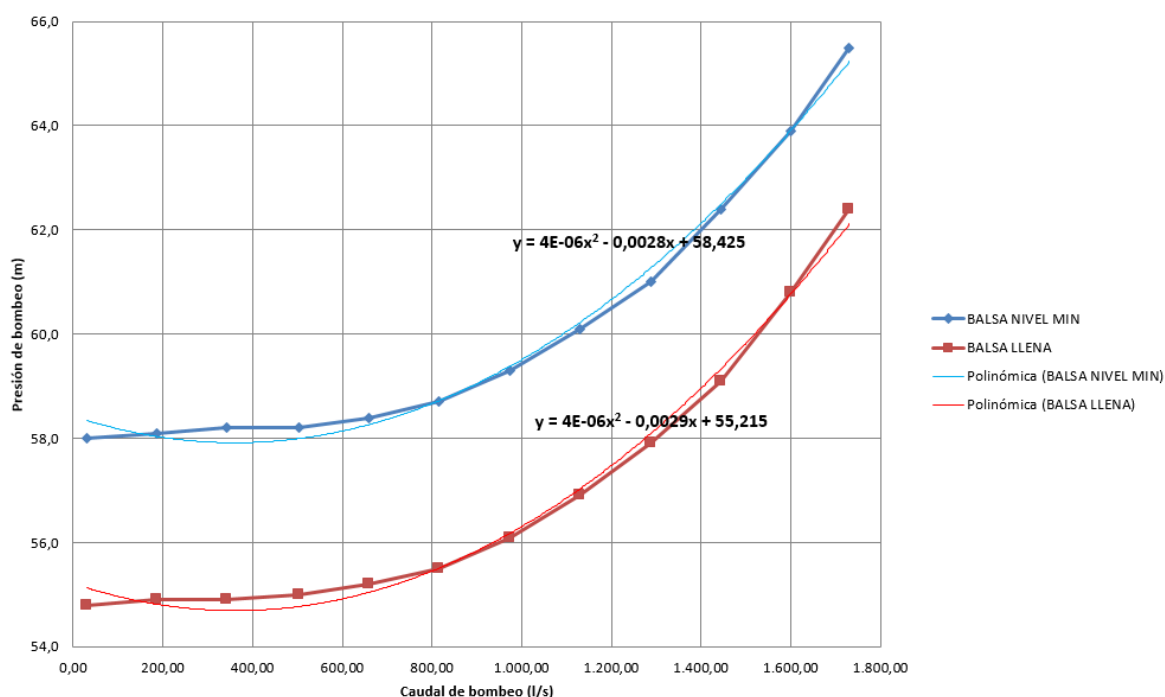
| BALSA LLENA SII |          |          |          |             |
|-----------------|----------|----------|----------|-------------|
| % abiertos      | Q (l/s)  | HMin (m) | HMax (m) | HMaxMed (m) |
| 0%              | 30,00    | 53,5     | 53,5     | 53,5        |
| 5%              | 294,80   | 53,5     | 55,6     | 53,6        |
| 10%             | 558,90   | 53,5     | 56,2     | 53,8        |
| 15%             | 856,60   | 53,5     | 55,9     | 54,1        |
| 20%             | 1.122,10 | 53,5     | 56,3     | 54,3        |

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

|     |          |      |      |      |
|-----|----------|------|------|------|
| 25% | 1.389,20 | 53,6 | 57,0 | 54,7 |
| 30% | 1.679,90 | 53,6 | 59,2 | 55,0 |
| 35% | 1.951,10 | 53,7 | 60,0 | 55,6 |
| 40% | 2.216,80 | 53,9 | 61,8 | 55,9 |
| 45% | 2.477,40 | 54,3 | 62,2 | 56,5 |
| 50% | 2.746,70 | 54,6 | 62,5 | 57,0 |
| 55% | 3.037,40 | 55,2 | 64,1 | 57,8 |

**Tabla 1.-** Datos de consigna SII

**Curvas de consigna SIII A**



**Gráfico 2.-** Curva de consiga de SIII A

| <b>BALSA NIVEL MIN SIII A</b> |          |          |          |             |
|-------------------------------|----------|----------|----------|-------------|
| % abiertos                    | Q (l/s)  | HMin (m) | HMax (m) | HMaxMed (m) |
| 0%                            | 30,00    | 58,0     | 58,0     | 58,0        |
| 5%                            | 186,70   | 58,0     | 58,8     | 58,1        |
| 10%                           | 341,90   | 58,0     | 59,0     | 58,2        |
| 15%                           | 502,40   | 58,0     | 59,1     | 58,2        |
| 20%                           | 660,50   | 58,1     | 59,6     | 58,4        |
| 25%                           | 815,20   | 58,2     | 60,9     | 58,7        |
| 30%                           | 973,40   | 58,5     | 62,3     | 59,3        |
| 35%                           | 1.129,20 | 58,6     | 62,6     | 60,1        |
| 40%                           | 1.288,30 | 59,4     | 65,8     | 61,0        |
| 45%                           | 1.444,80 | 60,1     | 67,3     | 62,4        |

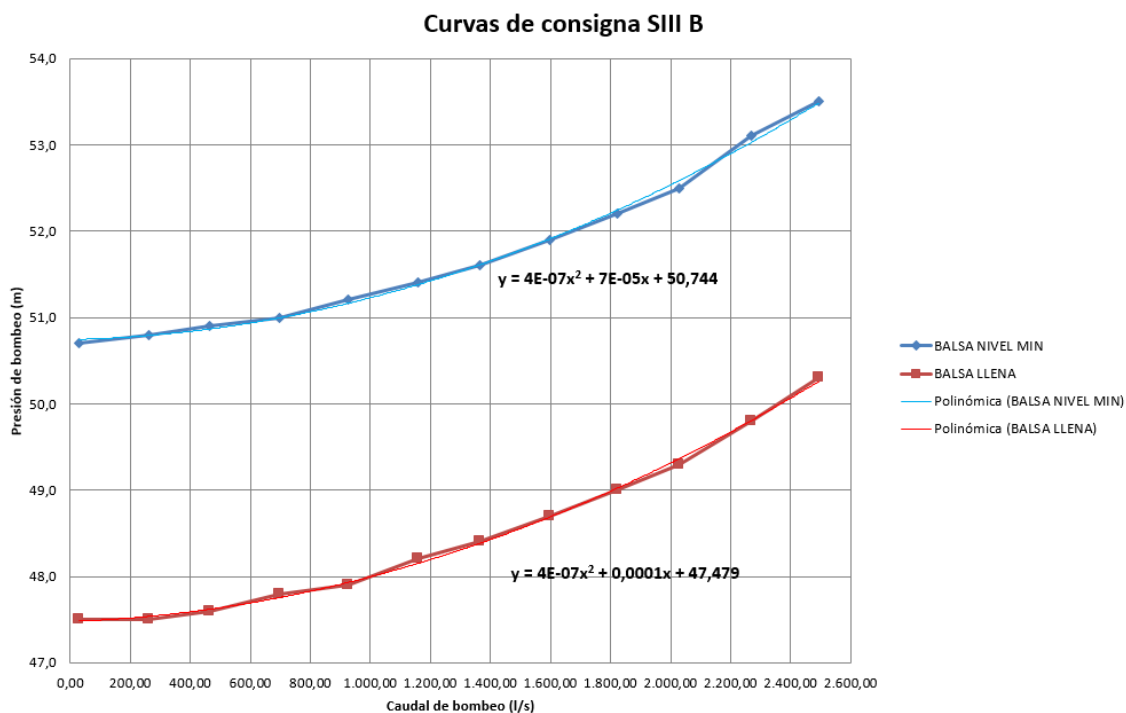


**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

|     |          |      |      |      |
|-----|----------|------|------|------|
| 50% | 1.600,10 | 61,0 | 71,4 | 63,9 |
| 55% | 1.730,30 | 62,0 | 72,8 | 65,5 |

| BALSA LLENA SIII A |          |          |          |             |
|--------------------|----------|----------|----------|-------------|
| % abiertos         | Q (l/s)  | HMin (m) | HMax (m) | HMaxMed (m) |
| 0%                 | 30,00    | 54,8     | 54,8     | 54,8        |
| 5%                 | 187,10   | 54,8     | 55,6     | 54,9        |
| 10%                | 342,70   | 54,8     | 55,7     | 54,9        |
| 15%                | 499,50   | 54,8     | 56,0     | 55,0        |
| 20%                | 660,40   | 54,9     | 56,3     | 55,2        |
| 25%                | 814,30   | 54,9     | 57,1     | 55,5        |
| 30%                | 973,60   | 55,2     | 59,0     | 56,1        |
| 35%                | 1.132,20 | 55,7     | 59,5     | 56,9        |
| 40%                | 1.288,40 | 56,0     | 61,3     | 57,9        |
| 45%                | 1.443,50 | 57,1     | 64,7     | 59,1        |
| 50%                | 1.599,20 | 57,7     | 67,9     | 60,8        |
| 55%                | 1.732,20 | 58,6     | 71,5     | 62,4        |

**Tabla 2.- Datos de consigna SIII A**



**Gráfico 3.- Curva de consigna SIII B**

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

| <b>BALSA NIVEL MIN SIII B</b> |          |          |          |             |
|-------------------------------|----------|----------|----------|-------------|
| % abiertos                    | Q (l/s)  | HMin (m) | HMax (m) | HMaxMed (m) |
| 0%                            | 30,00    | 50,7     | 50,7     | 50,7        |
| 5%                            | 260,20   | 50,7     | 51,1     | 50,8        |
| 10%                           | 465,50   | 50,7     | 51,3     | 50,9        |
| 15%                           | 696,50   | 50,8     | 51,5     | 51,0        |
| 20%                           | 926,00   | 50,9     | 51,8     | 51,2        |
| 25%                           | 1.156,50 | 51,0     | 52,1     | 51,4        |
| 30%                           | 1.365,20 | 51,1     | 52,6     | 51,6        |
| 35%                           | 1.596,10 | 51,4     | 52,7     | 51,9        |
| 40%                           | 1.823,00 | 51,6     | 53,0     | 52,2        |
| 45%                           | 2.030,10 | 51,9     | 54,5     | 52,5        |
| 50%                           | 2.270,30 | 52,2     | 54,8     | 53,1        |
| 55%                           | 2.491,90 | 52,4     | 55,9     | 53,5        |

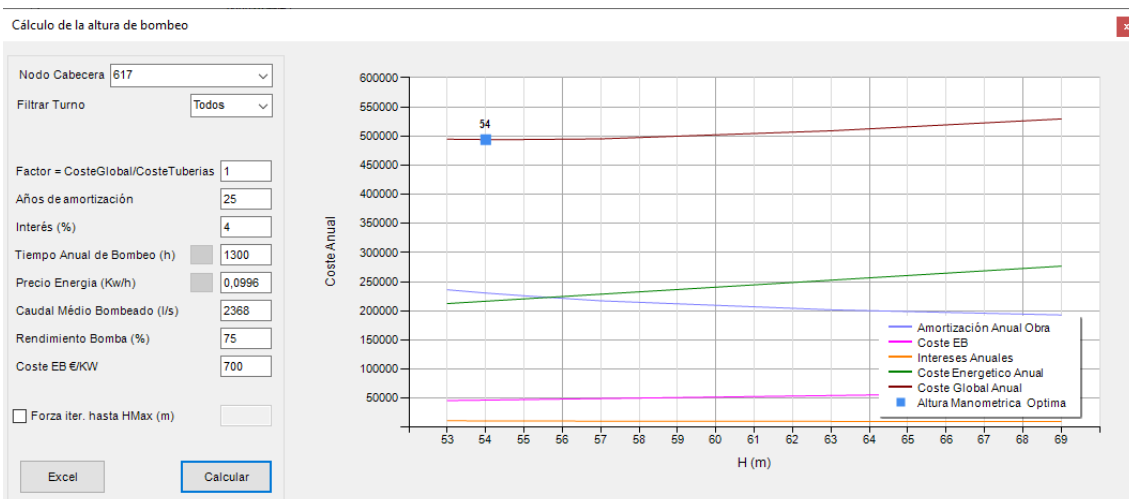
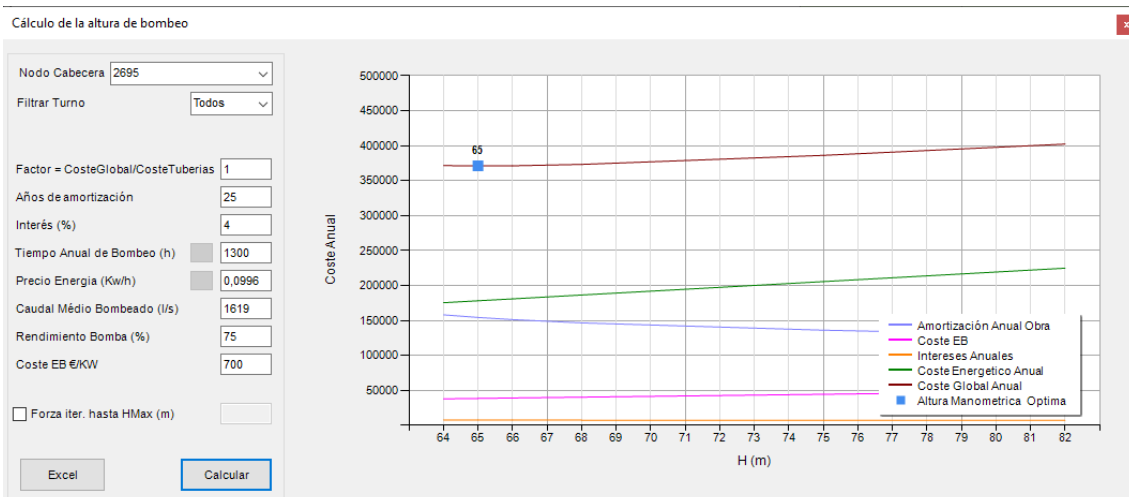
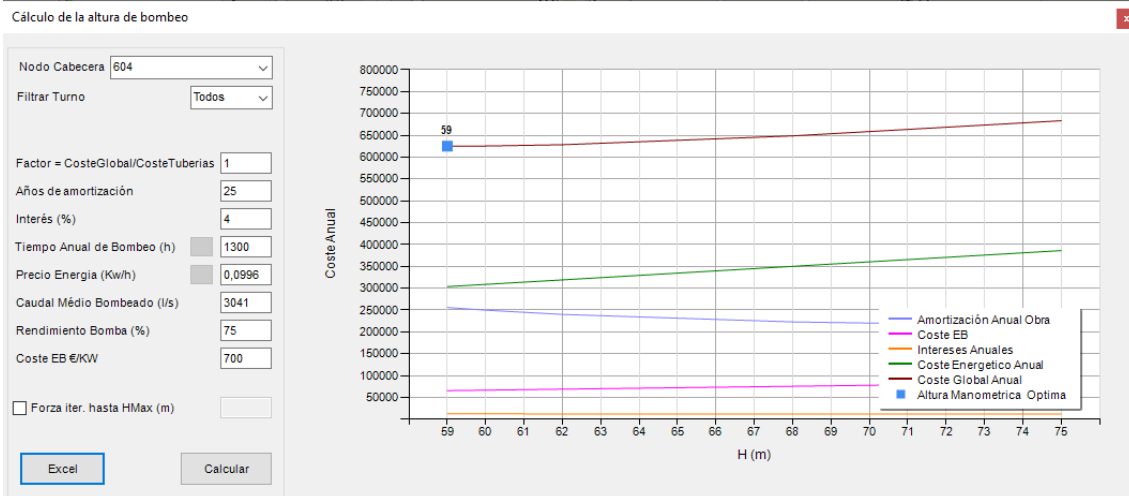
| <b>BALSA LLENA SIII B</b> |          |          |          |             |
|---------------------------|----------|----------|----------|-------------|
| % abiertos                | Q (l/s)  | HMin (m) | HMax (m) | HMaxMed (m) |
| 0%                        | 30,00    | 47,5     | 47,5     | 47,5        |
| 5%                        | 259,70   | 47,5     | 47,9     | 47,5        |
| 10%                       | 465,80   | 47,5     | 48,1     | 47,6        |
| 15%                       | 699,30   | 47,6     | 48,3     | 47,8        |
| 20%                       | 927,80   | 47,6     | 48,5     | 47,9        |
| 25%                       | 1.160,20 | 47,8     | 48,8     | 48,2        |
| 30%                       | 1.360,50 | 47,9     | 49,1     | 48,4        |
| 35%                       | 1.597,00 | 48,1     | 49,5     | 48,7        |
| 40%                       | 1.828,60 | 48,4     | 50,5     | 49,0        |
| 45%                       | 2.031,00 | 48,5     | 51,6     | 49,3        |
| 50%                       | 2.266,70 | 48,9     | 51,6     | 49,8        |
| 55%                       | 2.498,30 | 49,3     | 52,5     | 50,3        |

**Tabla 3.- Datos de consigna SIII B**

Como se pudo comprobar en el ANEJO 6. Se obtiene, del programa de cálculo de SIGOPRAM, la optimización de la altura de bombeo a 59 m.c.a. para el sector II, a 65 m.c.a para el Sector III A y a 54 m.c.a. para el sector Sector III B.

PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO EN LA COMUNIDAD DE REGANTES DE LA MARGEN  
IZQUIERDA DEL PORMA, SECTORES II Y III (LEÓN)

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**



---

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

---

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

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

$$NPSH_{disponible} > NPSH_{requerido}$$

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

$$NPSH_{disponible} = \frac{P_{atm}}{\gamma} + H - h_t + \frac{P_{vapor}}{\gamma}$$

La presión atmosférica media sobre la lámina de agua en la balsa a su mínimo nivel (cota 796,00 m el SII y 792,80 m en el SIII) se calcula (teniendo en cuenta las pérdidas de carga) en **9,38 m para el SII y en 9,39 para el SIII**.

La presión hidráulica en la entrada del colector de bombeo en el Sector II, en estática es de 796,00-792,45 = 3,55 y según se calculó en el anejo 6, en dinámica es de 3,09 m y en el Sector III la presión hidráulica en la entrada del colector de bombeo en el Sector II, en estática es de 792,8 - 789,45 = 3,35 y según se calculó en el anejo 6, en dinámica es de 2,97 m.

$$NPSH_{disponible} \text{ SII} = 9,38 + 3,09 = 12,47$$

$$NPSH_{disponible} \text{ SIII} = 9,39 + 2,97 = 12,36$$

Así, en la aspiración podemos considerar un NPSH disponible de **12,47 m en el Sector II y de 12,36 m en el Sector III**, que son unos valores lo suficientemente elevados como para no tener problemas con ningún tipo de bomba que se instale.

---

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

## **4 GRUPOS DE BOMBEO**

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

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

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

$$Q_{principal(SII)} < 0,20 \times Q = 0,2 \times 3.033 = 606,6 \text{ l/s}$$

$$Q_{principal(SIIIA)} < 0,20 \times Q = 0,2 \times 1.622 = 324,4 \text{ l/s}$$

$$Q_{principal(SIIIB)} < 0,20 \times Q = 0,2 \times 2.372 = 474,4 \text{ l/s}$$

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

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

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

---

***ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO***

---

$$Q_{aux}(SII) = 0,50 \times Q_p = 0,5 \times 606,6 = 303,3 \text{ l/s}$$

$$Q_{aux}(SIIIA) = 0,50 \times Q_p = 0,5 \times 324,4 = 162,2 \text{ l/s}$$

$$Q_{aux}(SIIIB) = 0,50 \times Q_p = 0,5 \times 474,4 = 237,2 \text{ l/s}$$

Otro aspecto a tener en cuenta es la necesidad de cubrir caudales bajos que se generan al inicio y final de campaña, no discriminar a regantes que opten por cultivos o variedades distintos a la mayoría, y permitir en los inicios de campaña llenados progresivos, así como comprobaciones fuera de campaña.

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

$$Q_{menorSII} = 0,05 \times 3033 \text{ l/s} = 151,65 \text{ l/s}$$

$$Q_{menorSIIIA} = 0,05 \times 1622 \text{ l/s} = 81,1 \text{ l/s}$$

$$Q_{menorSIIIB} = 0,05 \times 2372 \text{ l/s} = 118,6 \text{ l/s}$$

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

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

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

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

---

***ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO***

---

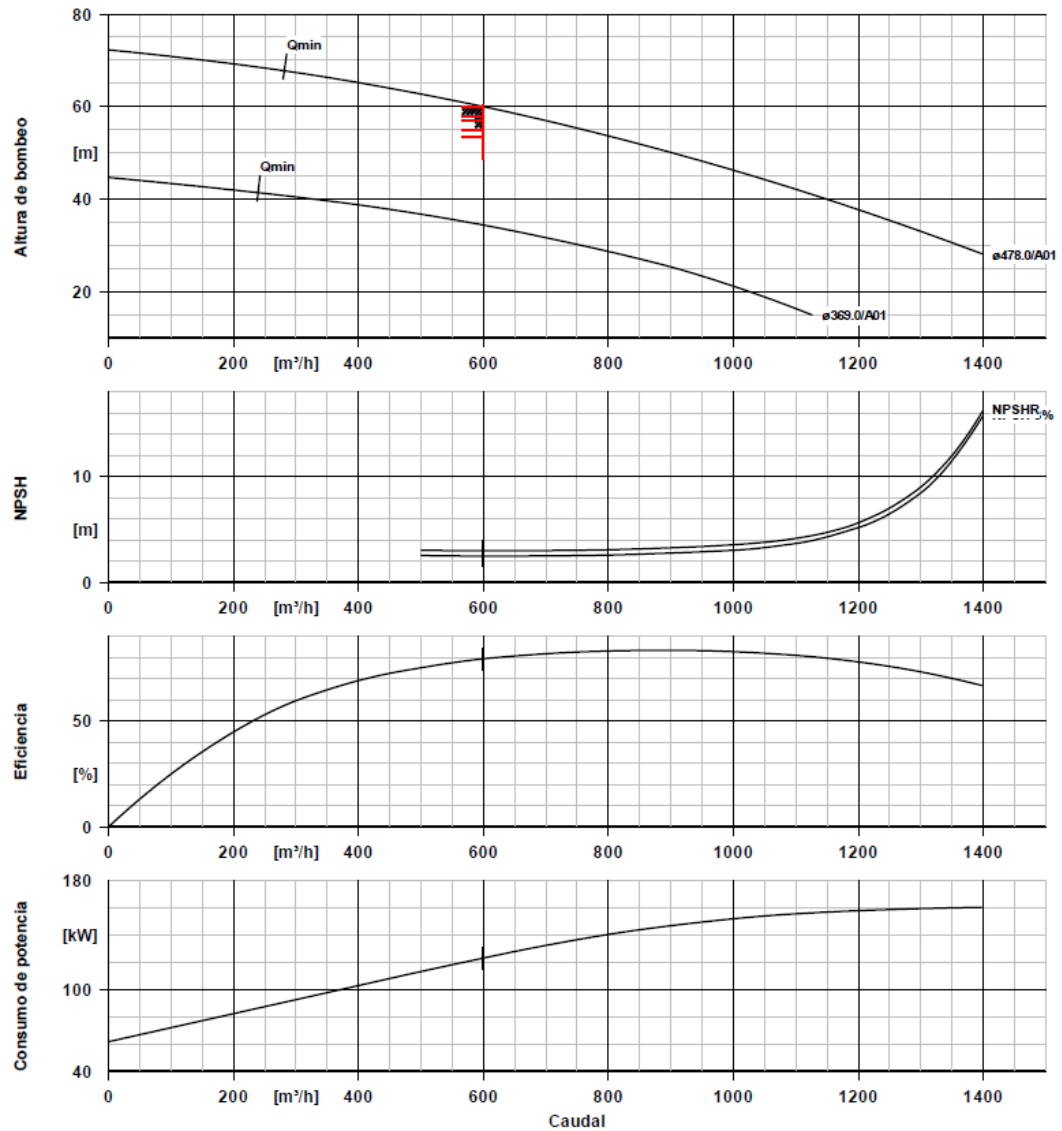
Otra de las ventajas consiste en la simplificación del mantenimiento de la instalación al encontrarse las bombas a nivel del suelo, a la vista y “en seco”.

Se aportan a modo orientativo gráficas de bombas compatibles con las demandas consideradas para el estudio de los fraccionamientos. En las curvas pueden observarse rendimientos cercanos al 85% en el entorno del punto nominal de funcionamiento y un NPSH requerido de 7,17 m como máximo, inferior al disponible.

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

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

**SECTOR II 160 kW**



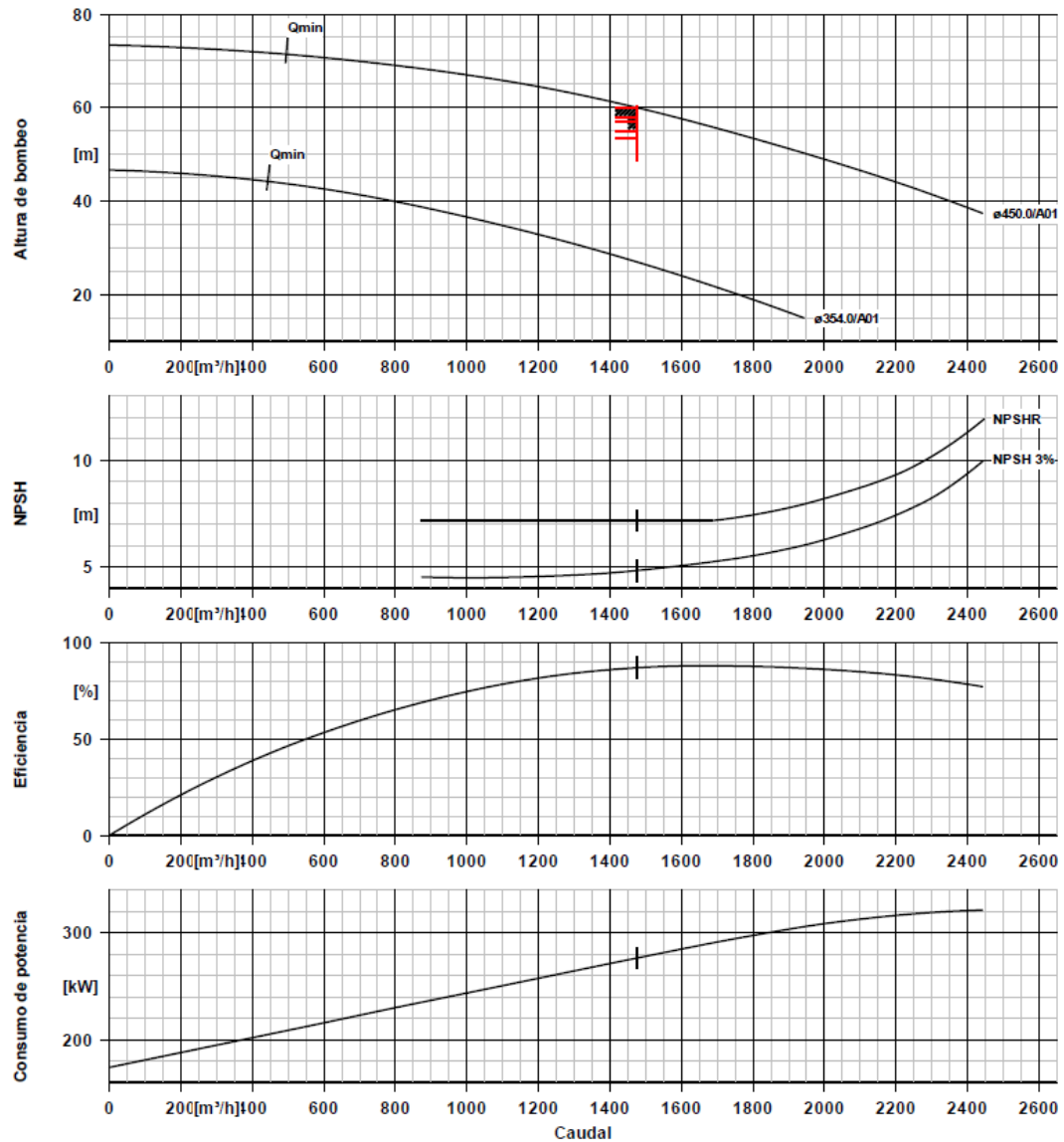
**Datos de curvas**

|                           |                              |                       |           |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------|
| Velocidad de giro         | 1353 rpm                     | Eficiencia            | 79,3 %    |
| Densidad del fluido       | 998 $\text{kg}/\text{m}^3$   | Absorción de potencia | 123,23 kW |
| Viscosidad                | 1,00 $\text{mm}^2/\text{s}$  | NPSH requerido        | 2,98 m    |
| Corriente volumétrica     | 600,00 $\text{m}^3/\text{h}$ | NPSH nec. 3 %         | 2,48 m    |
| Caudal bombeado requerido | 600,00 $\text{m}^3/\text{h}$ | Número de curva       | K42829/2  |



**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

**SECTOR II 315 kW**



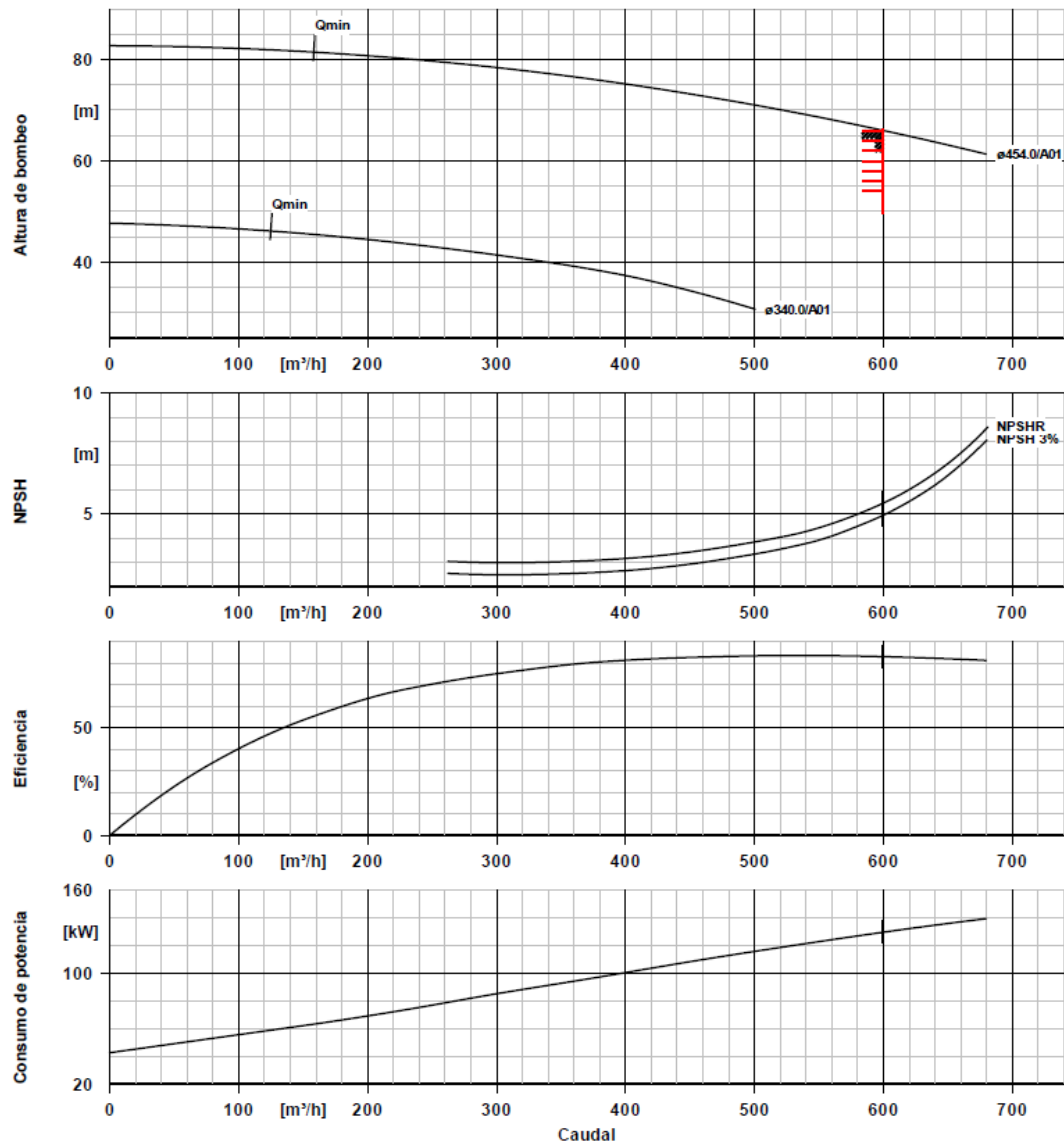
**Datos de curvas**

Velocidad de giro 1455 rpm  
Densidad del fluido 998 kg/m<sup>3</sup>  
Viscosidad 1,00 mm<sup>2</sup>/s  
Corriente volumétrica 1475,00 m<sup>3</sup>/h  
Caudal bombeado requerido 1475,00 m<sup>3</sup>/h

Eficiencia 87,0 %  
Absorción de potencia 276,34 kW  
NPSH requerido 7,17 m  
NPSH nec. 3 % 4,83 m  
Número de curva K42798/1

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

**SECTOR III A 160 kW**



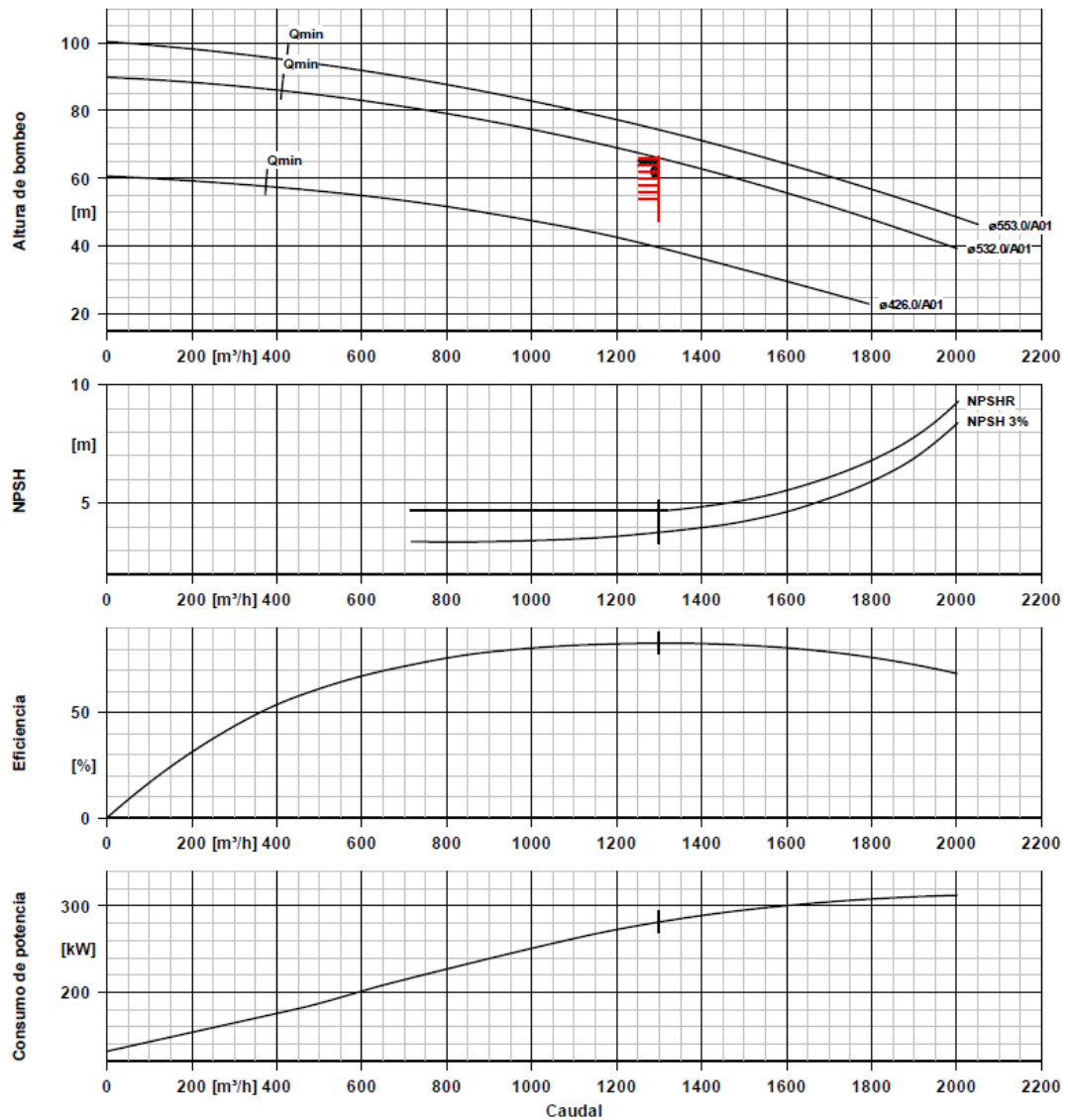
**Datos de curvas**

Velocidad de giro 1468 rpm  
Densidad del fluido 998 kg/m<sup>3</sup>  
Viscosidad 1,00 mm<sup>2</sup>/s  
Corriente volumétrica 600,00 m<sup>3</sup>/h  
Caudal bombeado requerido 600,00 m<sup>3</sup>/h

Eficiencia 83,0 %  
Absorción de potencia 129,66 kW  
NPSH requerido 5,46 m  
NPSH nec. 3 % 4,96 m  
Número de curva K42788/1

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

**SECTOR III A 315 kW**

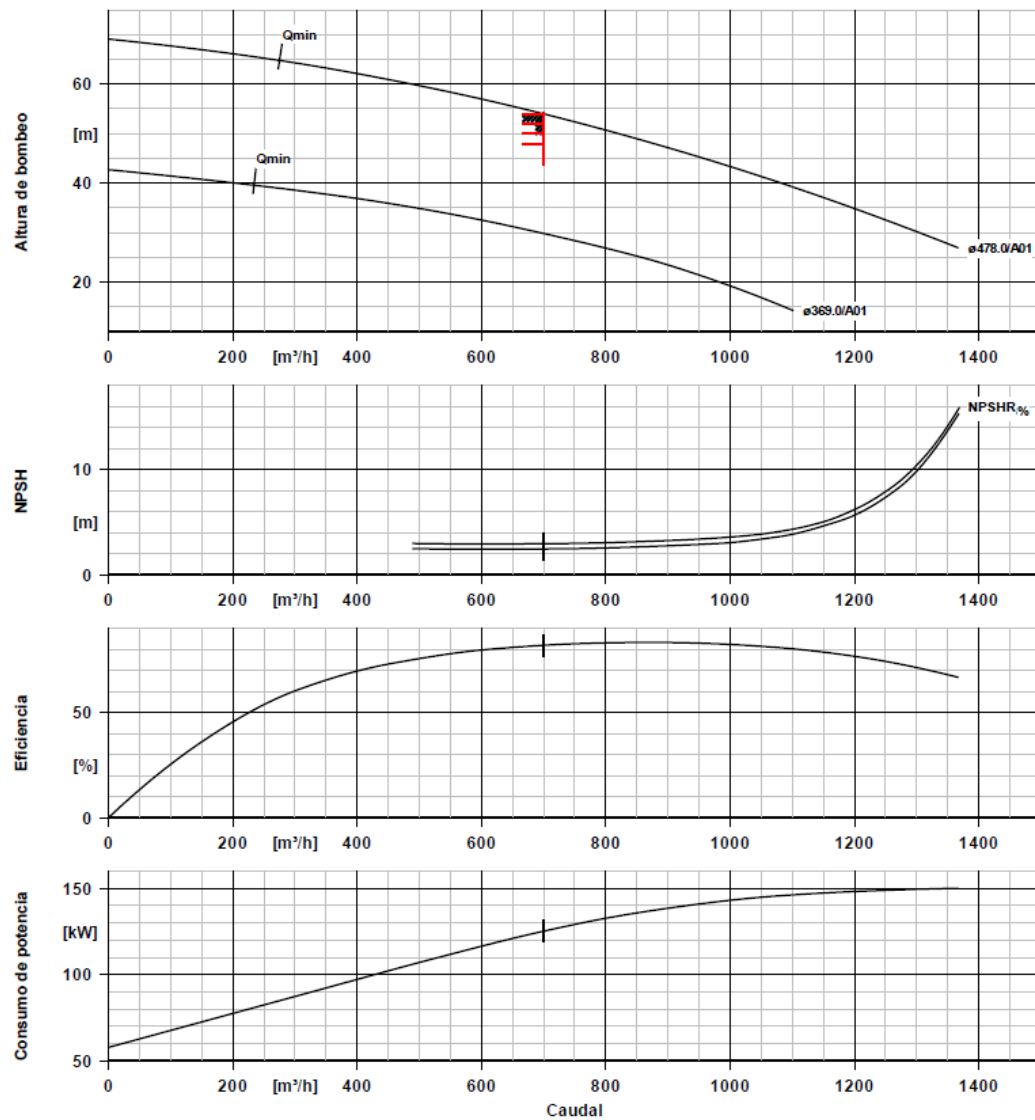


**Datos de curvas**

|                           |              |                       |           |
|---------------------------|--------------|-----------------------|-----------|
| Velocidad de giro         | 1380 rpm     | Eficiencia            | 82,9 %    |
| Densidad del fluido       | 998 kg/m³    | Absorción de potencia | 281,55 kW |
| Viscosidad                | 1,00 mm²/s   | NPSH requerido        | 4,70 m    |
| Corriente volumétrica     | 1300,00 m³/h | NPSH nec. 3 %         | 3,78 m    |
| Caudal bombeado requerido | 1300,00 m³/h | Número de curva       | K42833/1  |

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

**SECTOR III B 160 kW**

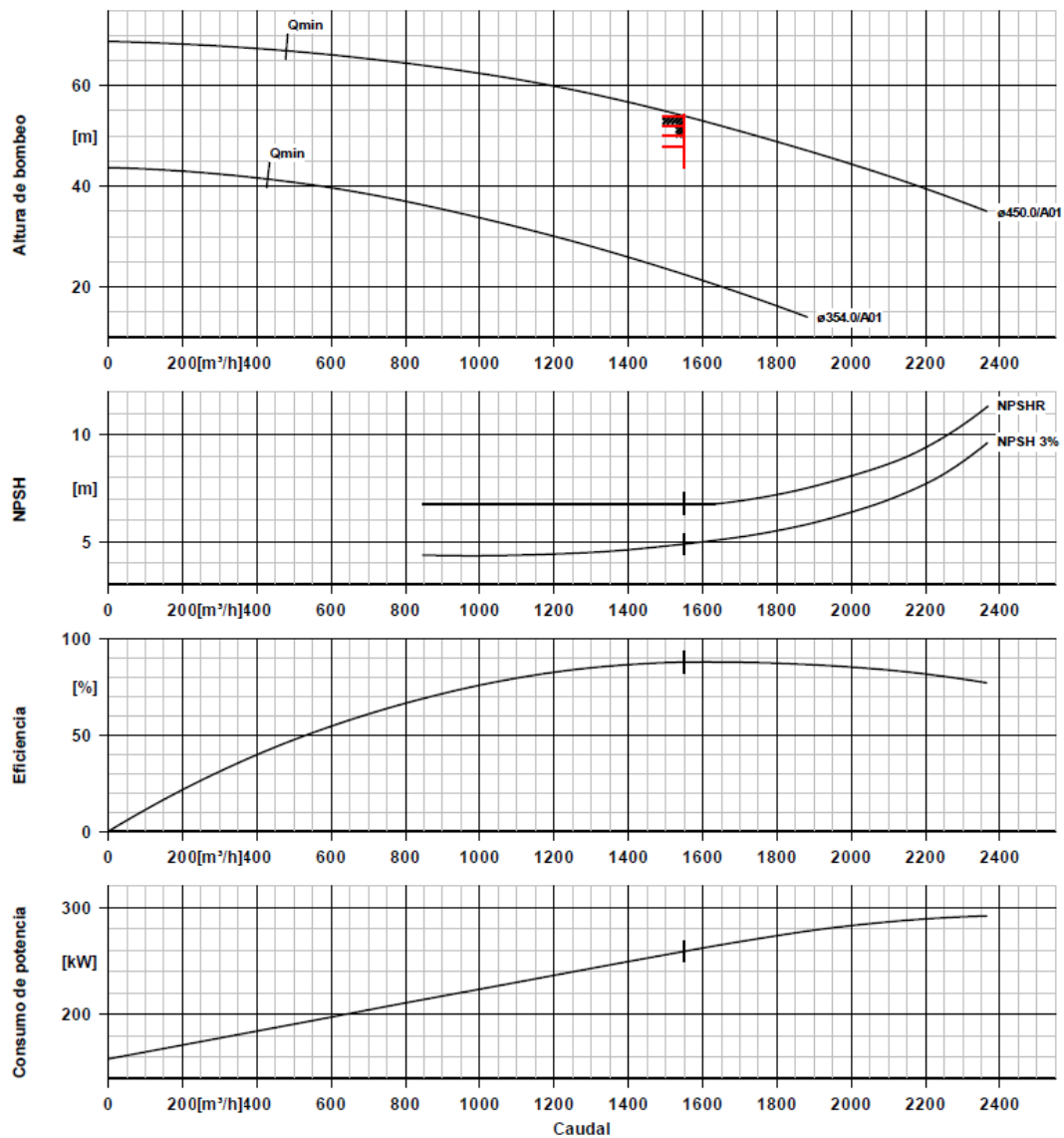


**Datos de curvas**

|                           |             |                       |           |
|---------------------------|-------------|-----------------------|-----------|
| Velocidad de giro         | 1323 rpm    | Eficiencia            | 82,1 %    |
| Densidad del fluido       | 998 kg/m³   | Absorción de potencia | 125,14 kW |
| Viscosidad                | 1,00 mm²/s  | NPSH requerido        | 2,95 m    |
| Corriente volumétrica     | 700,00 m³/h | NPSH nec. 3 %         | 2,45 m    |
| Caudal bombeado requerido | 700,00 m³/h | Número de curva       | K42829/2  |

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

**SECTOR III B 315 kW**



**Datos de curvas**

|                           |              |                       |           |
|---------------------------|--------------|-----------------------|-----------|
| Velocidad de giro         | 1409 rpm     | Eficiencia            | 87,9 %    |
| Densidad del fluido       | 998 kg/m³    | Absorción de potencia | 258,81 kW |
| Viscosidad                | 1,00 mm²/s   | NPSH requerido        | 6,76 m    |
| Corriente volumétrica     | 1550,00 m³/h | NPSH nec. 3 %         | 4,89 m    |
| Caudal bombeado requerido | 1550,00 m³/h | Número de curva       | K42798/1  |

---

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

---

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

**ESTACIÓN DE BOMBEO SECTOR II**

**GRUPOS 315 kW (x5)**

|                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| BOMBA TIPO:     | Centrífuga horizontal |
| CAUDAL NOMINAL: | 410 l/s               |
| ALTURA MANOM.:  | 60 m.c.a.             |
| NPSH requerido: | 7,17 m.c.a.           |
| MOTOR TIPO:     | Eléctrico trifásico   |
| POTENCIA:       | 315 kW                |
| VELOCIDAD:      | 1.455 rpm             |
| FRECUENCIA:     | 50 Hz                 |
| PROTECCION:     | IP-55                 |
| Ø ASPIRACION:   | 400 mm                |
| Ø IMPULSION:    | 300 mm                |

**GRUPOS 315kW CON VARIADOR (x2)**

|                 |                                                           |
|-----------------|-----------------------------------------------------------|
| BOMBA TIPO:     | Centrífuga horizontal.                                    |
| CAUDAL:         | 410 l/s                                                   |
| ALTURA MANOM:   | 60 m.c.a.                                                 |
| NPSH requerido: | 7,17 m.c.a.                                               |
| MOTOR TIPO:     | Eléctrico trifásico adaptados para variador de velocidad. |
| POTENCIA:       | 315 kW                                                    |
| VELOCIDAD:      | 1455 rpm                                                  |
| FRECUENCIA:     | 50 Hz                                                     |
| PROTECCION:     | IP-55                                                     |
| Ø ASPIRACION:   | 400 mm                                                    |
| Ø IMPULSION:    | 300 mm                                                    |

**GRUPO 160 Kw CON VARIADOR (x1)**

|                 |                                                |
|-----------------|------------------------------------------------|
| BOMBA TIPO:     | Centrífuga horizontal.                         |
| CAUDAL:         | 167 l/s                                        |
| ALTURA MANOM:   | 60 m.c.a.                                      |
| NPSH requerido: | 2,98 mca                                       |
| MOTOR TIPO:     | Eléctrico trifásico con variador de velocidad. |
| POTENCIA:       | 160 kw                                         |

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

|               |          |
|---------------|----------|
| VELOCIDAD:    | 1468 rpm |
| FRECUENCIA:   | 50 Hz    |
| PROTECCION:   | IP-55    |
| Ø ASPIRACION: | 300      |
| Ø IMPULSION:  | 250      |

**ESTACIÓN DE BOMBEO SECTOR III**

**BOMBEO SECTOR IIIA**

**GRUPOS 315 kW (x2)**

|                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| BOMBA TIPO:     | Centrífuga horizontal |
| CAUDAL NOMINAL: | 361 l/s               |
| ALTURA MANOM.:  | 66 m.c.a.             |
| NPSH requerido: | 4,70 m.c.a.           |
| MOTOR TIPO:     | Eléctrico trifásico   |
| POTENCIA:       | 315 kW                |
| VELOCIDAD:      | 1.380 rpm             |
| FRECUENCIA:     | 50 Hz                 |
| PROTECCION:     | IP-55                 |
| Ø ASPIRACION:   | 400 mm                |
| Ø IMPULSION:    | 300 mm                |

**GRUPOS 315kW CON VARIADOR (x2)**

|                 |                                                           |
|-----------------|-----------------------------------------------------------|
| BOMBA TIPO:     | Centrífuga horizontal.                                    |
| CAUDAL:         | 361 l/s                                                   |
| ALTURA MANOM:   | 66 m.c.a.                                                 |
| NPSH requerido: | 4,70 m.c.a.                                               |
| MOTOR TIPO:     | Eléctrico trifásico adaptados para variador de velocidad. |
| POTENCIA:       | 315 kW                                                    |
| VELOCIDAD:      | 1380 rpm                                                  |
| FRECUENCIA:     | 50 Hz                                                     |
| PROTECCION:     | IP-55                                                     |
| Ø ASPIRACION:   | 400 mm                                                    |
| Ø IMPULSION:    | 300 mm                                                    |

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

**GRUPO 160 kW CON VARIADOR (x1)**

|                 |                                                |
|-----------------|------------------------------------------------|
| BOMBA TIPO:     | Centrífuga horizontal.                         |
| CAUDAL:         | 167 l/s                                        |
| ALTURA MANOM:   | 66 m.c.a.                                      |
| NPSH requerido: | 5,46 mca                                       |
| MOTOR TIPO:     | Eléctrico trifásico con variador de velocidad. |
| POTENCIA:       | 160 kw                                         |
| VELOCIDAD:      | 1468 rpm                                       |
| FRECUENCIA:     | 50 Hz                                          |
| PROTECCION:     | IP-55                                          |
| Ø ASPIRACION:   | 200                                            |
| Ø IMPULSION:    | 150                                            |

**BOMBEO SECTOR IIIB**

**GRUPOS 315 kW (x3)**

|                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| BOMBA TIPO:     | Centrífuga horizontal |
| CAUDAL NOMINAL: | 430 l/s               |
| ALTURA MANOM.:  | 54 m.c.a.             |
| NPSH requerido: | 6,76 m.c.a.           |
| MOTOR TIPO:     | Eléctrico trifásico   |
| POTENCIA:       | 315kW                 |
| VELOCIDAD:      | 1.409 rpm             |
| FRECUENCIA:     | 50 Hz                 |
| PROTECCION:     | IP-55                 |
| Ø ASPIRACION:   | 400 mm                |
| Ø IMPULSION:    | 300 mm                |

**GRUPOS 315kW CON VARIADOR (x2)**

|                 |                                                           |
|-----------------|-----------------------------------------------------------|
| BOMBA TIPO:     | Centrífuga horizontal.                                    |
| CAUDAL:         | 430 l/s                                                   |
| ALTURA MANOM:   | 54 m.c.a.                                                 |
| NPSH requerido: | 6,76 m.c.a.                                               |
| MOTOR TIPO:     | Eléctrico trifásico adaptados para variador de velocidad. |



**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

|               |           |
|---------------|-----------|
| POTENCIA:     | 315 kW    |
| VELOCIDAD:    | 1.409 rpm |
| FRECUENCIA:   | 50 Hz     |
| PROTECCION:   | IP-55     |
| Ø ASPIRACION: | 400 mm    |
| Ø IMPULSION:  | 300 mm    |

**GRUPO 160 Kw CON VARIADOR (x1)**

|                 |                                                |
|-----------------|------------------------------------------------|
| BOMBA TIPO:     | Centrífuga horizontal.                         |
| CAUDAL:         | 194 l/s                                        |
| ALTURA MANOM:   | 54 m.c.a.                                      |
| NPSH requerido: | 2,95 m.c.a.                                    |
| MOTOR TIPO:     | Eléctrico trifásico con variador de velocidad. |
| POTENCIA:       | 160 kw                                         |
| VELOCIDAD:      | 1323 rpm                                       |
| FRECUENCIA:     | 50 Hz                                          |
| PROTECCION:     | IP-55                                          |
| Ø ASPIRACION:   | 300                                            |
| Ø IMPULSION:    | 250                                            |

## **5 COLECTORES**

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

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

En aspiración se establece como límite para la entrada en el grupo motobomba una velocidad (V) de **1,5 m/s**.

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

---

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

**ESTACIÓN DE BOMBEO SECTOR II**

- **COLECTOR GENERAL ASPIRACIÓN (3033 l/s): DN 1600**
- **RAMAL COLECTOR ASPIRACIÓN BOMBA 160 kW (167 l/s): DN 400**
- **RAMAL COLECTOR ASPIRACIÓN BOMBA 315 kW (410 l/s): DN 600**

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

- **COLECTOR GENERAL IMPULSIÓN (3033 l/s): DN 1400**
- **RAMAL COLECTOR IMPULSIÓN BOMBA 160 kW (167 l/s): DN 350**
- **RAMAL COLECTOR IMPULSIÓN BOMBA 315 kW (410 l/s): DN 500**

**ESTACIÓN DE BOMBEO SECTOR III**

**SECTOR IIIA**

- **COLECTOR GENERAL ASPIRACIÓN COMÚN SECTORES (3.994 l/s): DN 1600**
- **RAMAL COLECTOR ASPIRACIÓN BOMBA 160 kW (167 l/s): DN 400**
- **RAMAL COLECTOR ASPIRACIÓN BOMBA 315 kW (361 l/s): DN 600**

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

- **COLECTOR GENERAL IMPULSIÓN (1.622 l/s): DN 1000**
- **RAMAL COLECTOR IMPULSIÓN BOMBA 160 kW (167 l/s): DN 300**
- **RAMAL COLECTOR IMPULSIÓN BOMBA 315 kW (361 l/s): DN 450**

**SECTOR IIIB**

- **COLECTOR GENERAL ASPIRACIÓN COMUN SECTORES (3.994 l/s): DN 1600**
- **RAMAL COLECTOR ASPIRACIÓN BOMBA 160 kW (194 l/s): DN 400**
- **RAMAL COLECTOR ASPIRACIÓN BOMBA 315 kW (430 l/s): DN 600**

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

- **COLECTOR GENERAL IMPULSIÓN (2.372 l/s): DN 1200**
- **RAMAL COLECTOR IMPULSIÓN BOMBA 160 kW (194 l/s): DN 350**
- **RAMAL COLECTOR IMPULSIÓN BOMBA 315 kW (430 l/s): DN 500**

---

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

---

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

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

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

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

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

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

siendo:

e = espesor mínimo teórico, en mm

MDP = Presión máxima de diseño, en MPa

D = diámetro del tubo, en metros

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

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

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

---

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

---

**DN = 300 mm**

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

**DN = 350 mm**

$$e \geq \frac{MDP \times D}{2 \times \sigma_{adm}} = \frac{0,8506 \times 350}{2 \times 170} = 0,88 \text{ mm}$$

**DN = 400 mm**

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

**DN = 450 mm**

$$e \geq \frac{MDP \times D}{2 \times \sigma_{adm}} = \frac{0,8506 \times 450}{2 \times 170} = 1,13 \text{ mm}$$

**DN = 500 mm**

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

**DN = 600 mm**

$$e \geq \frac{MDP \times D}{2 \times \sigma_{adm}} = \frac{0,8506 \times 600}{2 \times 170} = 1,5 \text{ mm}$$

**DN = 1000 mm**

$$e \geq \frac{MDP \times D}{2 \times \sigma_{adm}} = \frac{0,8506 \times 1000}{2 \times 170} = 2,51 \text{ mm}$$

**DN = 1200 mm**

$$e \geq \frac{MDP \times D}{2 \times \sigma_{adm}} = \frac{0,8506 \times 1200}{2 \times 170} = 3,0 \text{ mm}$$

---

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

---

**DN =1400 mm**

$$e \geq \frac{MDP \times D}{2 \times \sigma_{adm}} = \frac{0,8506 \times 1.400}{2 \times 170} = 3,5 \text{ mm}$$

**DN =1600 mm**

$$e \geq \frac{MDP \times D}{2 \times \sigma_{adm}} = \frac{0,8506 \times 1600}{2 \times 170} = 4,00 \text{ mm}$$

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

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

**DN-300: e = 4 mm**

**DN-350: e = 6,3 mm**

**DN-400: e = 6,3 mm**

**DN-450: e = 6,3 mm**

**DN-500: e = 6,3 mm**

**DN-600: e = 6,3 mm**

**DN-1000: e = 10 mm**

**DN-1200: e = 10 mm**

**DN-1400: e = 10 mm**

**DN-1600: e = 10 mm**

## **6 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. En el mismo colector se dispone:
  - Válvula de mariposa embridada
  - Ventosa trifuncional de baja presión.
- Colector de aspiración individual, con los siguientes elementos:
  - 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  $10^\circ$ .

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 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  $10^\circ$ .
  - Una válvula antirretorno de doble clapeta o bola (según diámetro) ranurada.
- 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.
  - Válvula de mariposa ranurada con actuador-reductor.

---

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

---

- Codo de 45° de enlace con colector general.
- Colector general de impulsión de acero helicoidal en el que se dispone de:
  - Ventosas trifuncionales intercaladas.
  - Caudalímetro electromagnético. (En el Sector III se dispondrá de 2, uno para cada impulsión)
  - Válvula de mariposa embreadada.
- Colector *by-pass*, donde se dispondrán elementos de seguridad contra depresiones y con el que se permitirá el llenado de la red por gravedad sin el uso de las bombas.
  - Válvula antirretorno de doble clapeta ranurada.
  - Válvula de mariposa ranurada.

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

Válvula antirretorno. El cometido de esta válvula es permitir el flujo de agua en un sentido e impedirlo en el otro, mediante el cierre mecánico automático de la misma cuando la bomba deja de funcionar, evitando que el agua retorne a la bomba y que haga girar el rodete de esta en sentido contrario al de trabajo (y por igual al motor eléctrico de arrastre acoplado a ella), lo que produce una aceleración perniciosa de la máquina. Además, evita el vaciado de la tubería de impulsión a través de la bomba cuando ésta está parada y protege a la bomba contra el exceso de presión.

Válvula de 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.

Ventosa trifuncional: Combina, en un solo cuerpo o en dos cuerpos separados, las funciones de efecto automático y las de efecto cinético, actuando en tres momentos diferentes durante el funcionamiento de la instalación: evacuando el aire de las tuberías en el momento de llenado, purgando pequeñas cantidades de aire cuando la red está presurizada y permitiendo la entrada de aire en el momento de la descarga. Durante el proceso de llenado debe permitirse la salida del aire para evitar sobrepresiones y durante el vaciado debe dejarse entrar el aire para evitar depresiones.

---

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

---

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

La operación de llenado de una conducción supone la expulsión del aire a la atmósfera y su sustitución por agua, produciéndose fundamentalmente a través de las ventosas.

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

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

El caudal de llenado de la tubería ( $Q_l$ ) 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. Este caudal de aire se deberá pasar a condiciones normales,  $Q_{aire\ atm}$ , evidentemente a presión atmosférica  $P_{atm}$ , que es el que se indica en las curvas de funcionamiento de las ventosas dadas por los fabricantes. Se utilizará la siguiente expresión:

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

donde  $P_{exp}^*$  indica presión absoluta en el interior de la tubería: 11,7 m.

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



**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

| DN Ventosa | Q <sub>salida</sub> (l/s) |
|------------|---------------------------|
| 25 mm      | 42                        |
| 50 mm      | 152                       |
| 80 mm      | 424                       |
| 100 mm     | 877                       |
| 150 mm     | 1.414                     |
| 200 mm     | 2.829                     |

**Tabla 4.-** Caudal de salida de ventosas

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

Colector aspiración DN1600:

$$Q_{aireatm} = \frac{11,7 \text{ m.c.a.} \times 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \pi \times 0,8^2}{10 \text{ m.c.a.}} = 0,941 \text{ m}^3/\text{s} = 941 \text{ l/s}$$

Colector impulsión DN1400:

$$Q_{aireatm} = \frac{11,7 \text{ m.c.a.} \times 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \pi \times 0,7^2}{10 \text{ m.c.a.}} = 0,720 \text{ m}^3/\text{s} = 720 \text{ l/s}$$

Colector impulsión DN1200:

$$Q_{aireatm} = \frac{11,7 \text{ m.c.a.} \times 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \pi \times 0,6^2}{10 \text{ m.c.a.}} = 0,529 \text{ m}^3/\text{s} = 529 \text{ l/s}$$

Colector impulsión DN1000:

$$Q_{aireatm} = \frac{11,7 \text{ m.c.a.} \times 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \pi \times 0,5^2}{10 \text{ m.c.a.}} = 0,368 \text{ m}^3/\text{s} = 368 \text{ l/s}$$

---

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

---

En conclusión, en el colector de aspiración de cada una de las estaciones se dispondrá de dos ventosas de 100 mm que permitan la evacuación del aire en el proceso de llenado, con un caudal de expulsión de aire mínimo de 622 l/s cada una.

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

Por este motivo, la operación de vaciado de la conducción exige la existencia de ventosas que permitan la entrada del aire para llenar el vacío dejado por el agua y evitar la separación de la columna líquida. Lógicamente, el caudal de agua que sale por las válvulas de vaciado debe ser repuesto con idéntico caudal de aire entrando a través de las ventosas de gran orificio.

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

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

Se emplea la fórmula de Hazen-Williams, con un coeficiente  $C_{H-W}$  en función del material de la tubería, siendo para el caso del PVC-O de 160. En dicha fórmula se aplica una mayoración de las pérdidas continuas en un 5% para tener en cuenta las pérdidas de carga singularidades, por lo que la expresión queda:

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

Donde:

- Q: es el caudal de aire en la admisión durante el vaciado de la tubería (m<sup>3</sup>/s)
- L: es la longitud de la tubería (m)
- $C_{H-W}$ : coeficiente de Hazen-William en función del tipo de material (PVC-O = 150)
- D: diámetro de la tubería (m)

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

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

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

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

Esta metodología de cálculo presenta varios problemas:

- Establecer la pendiente hidráulica para introducir en la fórmula.
- El caudal de rotura es variable. Depende del punto de la red donde se produzca la rotura y del tipo, si es una rotura franca o parcial.

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

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

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

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

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

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

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

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

**ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO**

- Se estima el caudal como el 40% del caudal de rotura franca para las tuberías de diámetro mayor que 1.200 mm.
- El caudal de admisión que le correspondería a la ventosa, siendo el 60% del caudal de vaciado para tubos de DN mayores o iguales de 1200 mm.

| DN<br>tubería | Pendiente | Q rotura<br>franca | %<br>caudal<br>de<br>rotura<br>franca | Q60%<br>rotura<br>DN><br>1200 | Qadm<br>ventosa | Pexp   | P*atm  | P*exp  | Q aire<br>atm | DN<br>ventosa |
|---------------|-----------|--------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------|--------|--------|--------|---------------|---------------|
| mm            | m/m       | l/s                |                                       | l/s                           | l/s             | m.c.a. | m.c.a. | m.c.a. | l/s           | mm            |
| 1000          | 0,01      | 3.379,83           | 100,00                                | 3.379,83                      | 3.379,83        | -3,50  | 10,20  | 6,70   | 2.220,08      | 3x100         |
| 1200          | 0,01      | 5.461,78           | 100,00                                | 5.461,78                      | 5.461,78        | -3,50  | 10,20  | 6,70   | 3.587,64      | 4x100         |
| 1400          | 0,01      | 8.195,34           | 60,00                                 | 4.917,20                      | 4.917,20        | -3,50  | 10,20  | 6,70   | 3.229,93      | 4x100         |
| 1600          | 0,01      | 11.647,34          | 60,00                                 | 6.988,40                      | 6.988,40        | -3,50  | 10,20  | 6,70   | 4.590,42      | 6x100         |

**Tabla 5.- Ventosas en caso de rotura franca**

Se instalará en los colectores de impulsión las ventosas indicadas en la tabla anterior.

## 7 DESAGÜE

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

Se fija como cota del agua dentro de la estación de bombeo del Sector II la cota 791,85m, medio metro por encima de la cota de la solera, y por otro lado el punto de desagüe, ubicado tal como refleja el perfil longitudinal en la cota 788,24, a 1609 m de la estación. Se tiene por tanto una carga disponible de 3,61 m.

En la estación de bombeo del Sector III se fija la cota de agua en 788,65 m, y por otro lado el punto de desagüe, ubicado tal como refleja el perfil longitudinal en la cota 782,47 , a 1306 m de la estación. Se tiene por tanto una carga disponible de 6,18 m.

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

$$Q_{desagüeSII} = 0,25 \times Q_{bombeo} = 0,25 \times 3033 = 758,25 \text{ l/s}$$

$$Q_{desagüeSIII} = 0,25 \times Q_{bombeo} = 0,25 \times 3994 = 998,5 \text{ l/s}$$

---

***ANEJO 10.- CÁLCULO HIDRÁULICO. ESTACIÓN DE BOMBEO***

---

Para dicho caudal, en cada estación, se opta por una tubería de **PVC DN 800 mm** que nos da una capacidad de desagüe de 1,26 m<sup>3</sup>/s a 2,5 m/s de velocidad

## **8 CONTROL Y REGULACIÓN**

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

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

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

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

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