ANEJO Nº 6

CÁLCULOS HIDRÁULICOS Y DE BOMBEO

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN 1

2 ESTACIÓN DE BOMBEO ACTUAL 1

3 ACTUACIONES PROYECTADAS EN RELACIÓN A LA PRESIÓN DE BOMBEO 4

4 DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA DE BOMBEO 6

5 DISEÑO DE LOS COLECTORES DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO 15

6 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN LA IMPULSIÓN 22

7 DETERMINACIÓN DE ALTURA PRESIÓN DEL NUEVO BOMBEO 24

8 FILTROS HIDROCICLÓNICOS MULTIHELICE 24

9 VENTOSAS 27

10 CÁLCULO DE ANCLAJES 30

10.1 DETERMINACIÓN DE LOS EMPUJES 30
10.2 TÉS O DERIVACIONES 31
10.3 FUERZAS RESISTENTES 31
10.4 EQUILIBRIO DE FUERZAS 32
10.5 MACIZOS DE ANCLAJE 32

11 CÁLCULO NPSH 34

12 CÁLCULO GOLPE DE ARIETE 36

12.1 TIEMPO DE PARADA. 36
12.2 CELERIDAD DE LA ONDA DE PROPAGACIÓN. 37
12.3 LONGITUD CRÍTICA 38
12.4 DISPOSITIVO ANTIARIETE. 39

13 CÁLCULOS DE AHORRO ENERGÉTICO 42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rendimientos y valores de NPSH de la bomba (I) 9

Tabla 2. Rendimientos y valores de NPSH de la bomba (II) 12

Tabla 3. Presiones de consigna del bombeo para cada mes 14

Tabla 4. Coeficientes K en codos 16

Tabla 5. Coeficientes K en derivaciones 16

Tabla 6. Coeficientes K en válvulas 17

Tabla 7. Características y perdidas de carga de las tuberías de la estación de bombeo 18

Tabla 8. Perdidas de carga totales de la estación de bombeo 22

Tabla 9. Pérdidas de carga totales 24

Tabla 10. Dimensionamiento ventosas (I) 28

Tabla 11. Dimensionamiento ventosas (II) 29

Tabla 12. Dimensionamiento ventosas (III) 29

Tabla 13. Cálculo de anclajes en codos 33

Tabla 14. Cálculo de anclajes en T 33

Tabla 15.Valores de la tensión de vapor según la temperatura 35

Tabla 16.Datos de partida para calculo golpe ariete 36

Tabla 17. Datos de partida para calculo golpe ariete 36

Tabla 18. Datos de partida para calculo golpe ariete 36

Tabla 19. Altura de bombeo para cada mes 43

Tabla 20.Cálculo de ahorro de energía 43

Tabla 29.estimación de la reducción de las emisiones de CO_2 equivalente 44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Filtro rotativo de limpieza 2

Figura 2. Vista exterior de estación de bombeo y foso de aspiración de bombas paralelo 2

Figura 3. Interior de estación de bombeo existente 3

Figura 4. Lectura manómetro al comienzo de la zona regable 4

Figura 5. Curvas características de bomba de 250 l/s a 70 mca 7

Figura 6. Curvas características de bomba de 250 l/s a 70 mca con distintas revoluciones 8

Figura 7. Curvas características de bomba de 142 l/s a 70 mca 10

Figura 8. Curvas características de bomba de 142 l/s a 70 mca con distintas revoluciones 11

Figura 9. Curvas del sistema de bombeo 14

Figura 10. Perdidas de carga en codos 19

Figura 11. Pérdidas de carga en derivaciones 20

Figura 12. Pérdidas de carga en válvulas 21

Figura 13. Pérdidas de carga en las tuberías 23

Figura 14. Pérdidas de carga en los codos de 45º 23

Figura 15. Pérdidas de carga en la válvula de mariposa 23

Figura 16. Multihelice fija a entrada del filtro 25

Figura 17. Pérdidas de carga de filtro hidrociclónico multihelice 26

Figura 18.Curvas de evacuación de aire 28

Figura 19. Curvas de entrada de aire 29

Figura 20. Dimensiones de anclajes 33

Figura 21. Líneas piezométricas de la conducción de impulsión 40

Figura 22. Caudal expulsado 41

1 INTRODUCCIÓN

En este anejo se realiza la justificación y el dimensionamiento de las nuevas instalaciones proyectadas. Se pretende la reducción del consumo energético y para ello se acometerán dos tipos de actuaciones distintas para conseguir el fin perseguido:

1. Actuaciones de disminución de la presión de bombeo a la salida de bombas.
2. Actuaciones de disminución de las pérdidas de carga en los filtrados existentes en la red.

A continuación, se describe la instalación existente y las actuaciones proyectadas en relación al bombeo de agua, justificando al mismo tiempo los ahorros energéticos que se pueden alcanzar con la ejecución del proyecto.

2 ESTACIÓN DE BOMBEO ACTUAL

La Comunidad de Regantes de Guadiana es el Sector e-1 de la Comunidad General del Canal de Montijo. Desde dicho canal existe una derivación que abastece al mencionado Sector e-1, que está completamente presurizado.

Tras la derivación del Canal de Montijo existe una reja de desbaste autolimpiante y un filtro rotativo que impide en paso de elementos que transporte el agua y algas de gran tamaño, pasando a continuación a un foso paralelo al edificio de la estación de bombeo, al cual están conectadas las bombas.

Figura 1. Filtro rotativo de limpieza

Figura 2. Vista exterior de estación de bombeo y foso de aspiración de bombas paralelo

Figura 3. Interior de estación de bombeo existente

La estación de bombeo actual tiene 7 bombas de cámara partida en carga desde el foso de 375 l/s cada una que bombean el agua directamente al puro con una presión de salida de 80 mca. Están accionados por motor eléctrico de 400 kW a 500 V.

El funcionamiento actual de la instalación consiste en bombear toda el agua hasta la copa de la torre de elevación independientemente del caudal demandado por los regantes por lo que se tiene una presión de bombeo fija a 80 mca (que equivalen a 62 mca al inicio de la red de riego al salir el agua al pie de la torre de elevación).

Figura 4. Lectura manómetro al comienzo de la zona regable

Además, como la capacidad de almacenamiento de la torre de elevación es muy reducida y las bombas existentes no tienen regulación alguna, se produce el arranque y parada de bombas de forma constante, lo cual afecta de forma negativa al funcionamiento y vida útil del conjunto bomba-motor.

3 ACTUACIONES PROYECTADAS EN RELACIÓN A LA PRESIÓN DE BOMBEO

Dada la evolución de los cultivos implantados en la zona regable y el escenario de cambio climático, la campaña de riego tiende a alargarse mucho comenzando algunos años en marzo y llegando hasta principios de noviembre. La Comunidad de Regantes de Guadiana tiene constancia que en los meses que no coinciden con periodos punta de consumo de agua en la campaña de riego, soportan una presión excesiva en la red de distribución primaria y secundaria que llega a las parcelas. Hay que decir también, que las instalaciones fueron diseñadas en su día para riego por aspersión, cuando en la actualidad casi todo el riego se realiza por goteo.

Esta situación se debe a que los bajos caudales que transportan las redes de riego fuera de periodo punta de campaña, producen unas reducidas pérdidas de carga en las conducciones, lo que se une a que la presión en cabecera se mantiene fija por elevar toda el agua al depósito elevado.

Por tanto, la gestión del binomio agua-energía no resulta óptima en las instalaciones actuales, ya que se está consumiendo una energía en bombear el agua a una cota fija que no es necesaria. Para poder actuar en su mejora habría que disminuir la presión en cabecera la red de riego y esto se consigue con otras actuaciones que están enlazadas, como son:

- Disminuir la altura de impulsión de las bombas en la estación de bombeo. Para conseguirlo se analizan varias alternativas:

  - Usar alguna de las bombas existentes con variador de velocidad. Debido a la curva de funcionamiento de las bombas existentes, seleccionadas en su día para funcionar en un punto fijo de 375 l/s a 80 mca, no se adaptan bien a los variadores de velocidad, ya que sólo se podrá actuar en la presión de salida (reduciendo el rendimiento) pero no en la regulación de caudal, que es fundamental.
  - Sustituir alguna de las bombas existentes por otras que tenga una curva de funcionamiento que se adapte a las necesidades proyectadas. Esta opción se descarta, ya que habría que colocar bombas de menor caudal y altura manométrica, con lo que se perdería capacidad de bombeo y en los periodos punta podría no poder abastecerse en las condiciones adecuadas la demanda de los regantes. Es la propia Comunidad de Regantes la que afirma que no pueden prescindir de ninguna de las bombas actuales.
  - Ejecutar una nueva instalación de bombeo anexa a la existente para poder instalar unas nuevas bombas que se adapten lo mejor posible a los requerimientos de presión-caudal con los que se propone la Comunidad de Regantes funcionar.

- Evitar que toda el agua tenga que pasar por el depósito elevado. La solución será la construcción de un by-pass que conecte directamente las tuberías de impulsión con las tuberías de riego, sin que el agua suba al depósito.

- Disminuir las pérdidas de carga en los cabezales de filtrado que la Comunidad de Regantes tiene instalados en los inicios de los ramales que se derivan de la red principal.

Con estas actuaciones, las mejoras alcanzadas serán las siguientes:

- Se disminuye el coste de energía eléctrica por la implantación de los variadores de frecuencia en el bombeo
- Se alarga la vida de las bombas por la implantación de los variadores de frecuencia.
- Se consigue ajustar el caudal bombeado a la demanda
- Se aumenta la garantía de suministro al existir mayor número de bombas
- Existe la posibilidad de trabajar con presiones más bajas cuando la demanda es menor.
- Se disminuyen las pérdidas de carga por colmatación de filtros.

- Monitorización del estado de las instalaciones de bombeo existentes, pudiendo actuar sobre las variables caudal-presión para ajustarlas a las demandas de la red.
- La lectura de caudalímetros se realiza de forma automática.
- Actuación sobre el funcionamiento del by-pass.
- Disminución del consumo de recursos naturales por el ahorro de energía.

El presente anejo se centrará en el diseño de la nueva estación de bombeo.

4 DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA DE BOMBEO

El nuevo sistema de bombeo servirá para:

1. Dar servicio al inicio y final de campaña evitando mediante by-pass elevar el agua hasta el puro, reduciendo la presión de las bombas respecto a las actuales y, por tanto, reduciendo la presión en la zona regable.
2. Durante el resto de campaña servirán para evitar el arranque-parada constante de las bombas existentes de 375 l/s para el llenado del puro, de forma que con la regulación del variador sobre las bombas nuevas se aportara un caudal reducido y constante.

Para el diseño del conjunto de bombas se han analizado distintos modelos de bombas de distintos fabricantes, hasta encontrar la mejor relación altura de bombeo-caudales-rendimiento.

Para la elección y diseño de las bombas se ha partido de las siguientes premisas:

- Al igual que las bombas existentes en la actualidad, las nuevas serán de cámara partida instaladas en un foso de manera que su aspiración quedará permanentemente en carga.
- Ya que las bombas actuales proporcionan cada una 375 l/s, se diseñará una instalación que permita proporcionar un caudal que se aproxime, en la medida de lo posible, al proporcionado por dos bombas de las actuales funcionando simultáneamente (750 l/s). Cuando se alcance este caudal de 750 l/s (con altura de bombeo de 60 mca), se pararán las nuevas bombas y se arrancarán las bombas existentes pasando a funcionar el sistema de bombeo desde la estación de bombeo actual (cerrándose el by-pass y elevando toda el agua al depósito elevado con una presión de impulsión de 80 mca).
- Las bombas deberán funcionar a distintos puntos de presión de salida para poder ajustarla a lo largo de la campaña a las necesidades de presión que demande la red de riego. Tendrán que proporcionar como presión máxima la presión de bombeo actual (80 mca) y como presión mínima a los 60 mca.

En base a esto, se diseña un sistema de bombeo con una presión de funcionamiento de 70 mca, con una curva altura-caudal que permita que pueda operar a 60 mca y a 80 mca y que con la regulación de variadores de velocidad se obtenga un rango de caudales importante. Se decide diseñar con 3 bombas, dos que proporcionen unos 250 l/s y una que proporcione unos 150 l/s, a 70 mca para fijar la hidráulica de la bomba.

Las bombas de 250 l/s a 70 mca tendrán unas curvas similares a las siguientes:

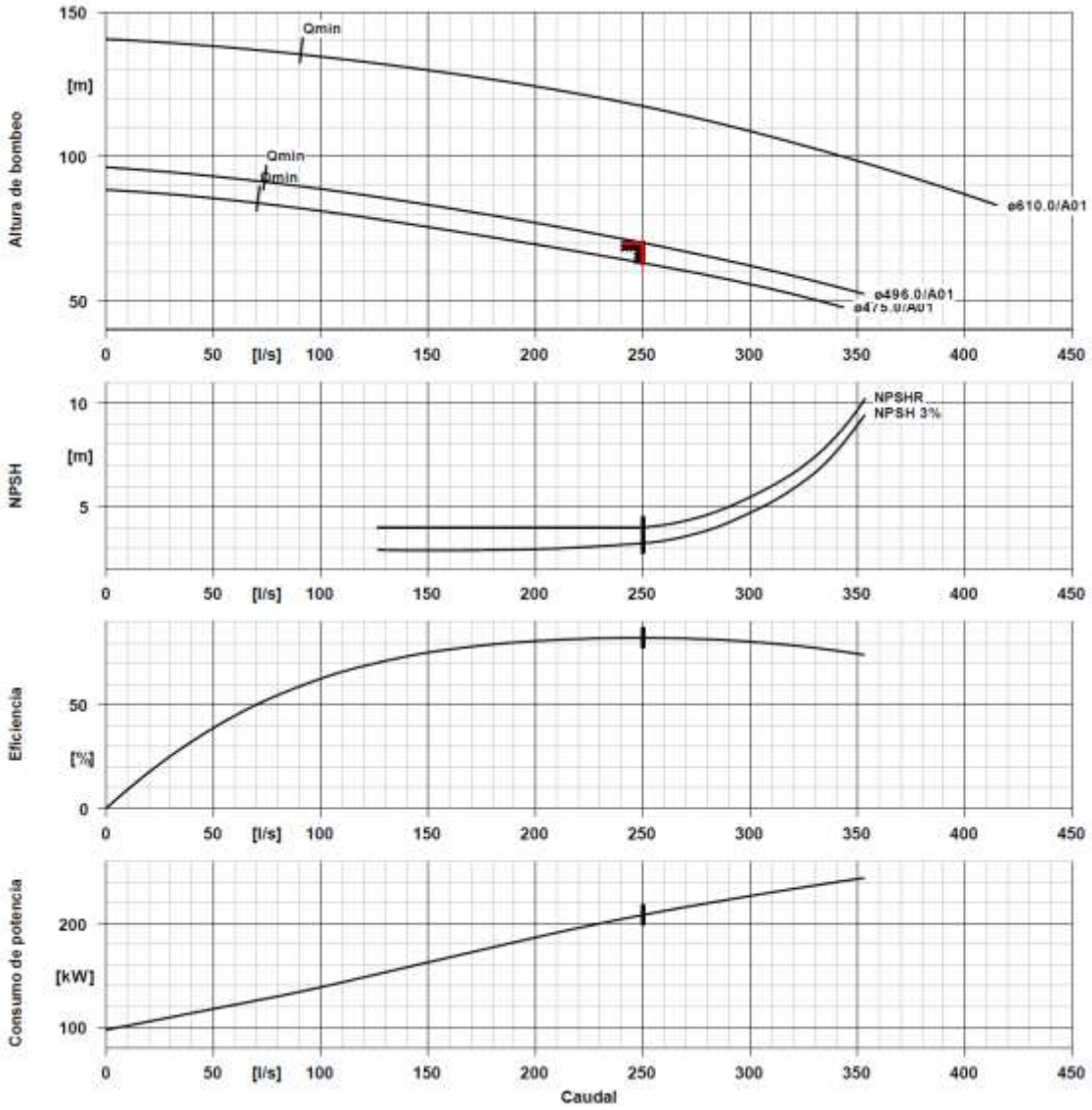


Figura 5. Curvas características de bomba de 250 l/s a 70 mca

La bomba elegida para elevar presentará un rendimiento hidráulico η_1=82,3%, por lo que la potencia absorbida en ese punto de funcionamiento será:

$$P_{absorbida} = \frac{Q \times H}{75 \times \eta_1} = \frac{250 \times 70}{75 \times 0{,}823} = 283{,}52 \text{ CV} = 208{,}67 \text{ kW}$$

Siendo η_2 el rendimiento mecánico del motor (95 %), en el punto de funcionamiento, la potencia total será:

$$P_T = \frac{PP_{absorbida}}{\eta_2} = \frac{208,67}{0,95} = 219,65 \text{ kW}$$

De la curva de funcionamiento de la bomba se deduce que el motor que se deberá instalar será de 250 kW (340 CV).

Con la regulación de las revoluciones del motor con un variador de frecuencia se obtienen los siguientes puntos de funcionamiento:

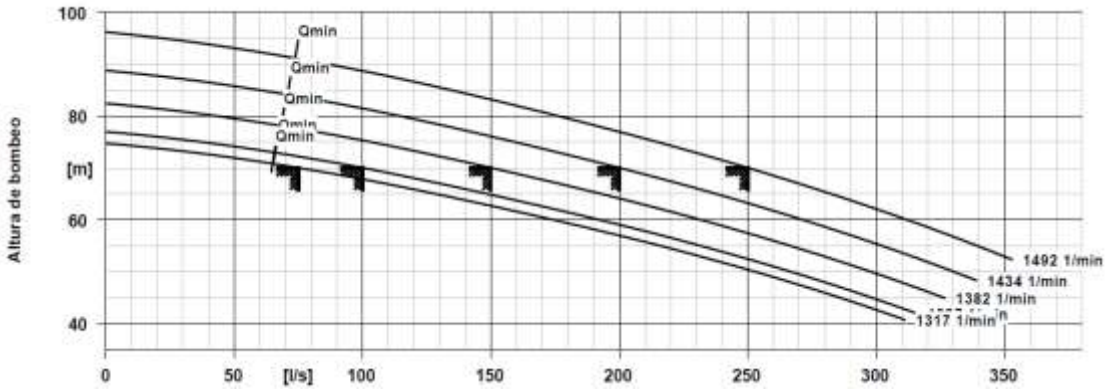


Figura 6. Curvas características de bomba de 250 l/s a 70 mca con distintas revoluciones

En las siguientes tablas se muestran para una altura de bombeo fija y distintos valores de caudal obtenidos para distintas revoluciones con la potencia consumida, su rendimiento y el valor de NPSH:

Tabla 1. Rendimientos y valores de NPSH de la bomba (I)

	Altura bombeo a 70 mca			
Hz/rpm	**Q (l/s)**	**P (kW)**	**Rendimiento hidráulico (%)**	**NPSH (mca)**
50/1492	250	208,3	82,3	4,0
48,05/1434	200	172,1	80,5	3,8
46,3/1382	150	138,3	77,8	3,1
44,8/1337	100	103,1	67,9	3,0
44,13/1317	75	92,0	57,1	3,0

	Altura bombeo a 80 mca			
Hz/rpm	**Q (l/s)**	**P (kW)**	**Rendimiento hidráulico (%)**	**NPSH (mca)**
50/1492	170	174,5	78,1	4,0
49,15/1467	150	158,8	77,4	3,9
47,68/1423	100	121,7	63,6	3,8
47,05/1404	75	109,4	54,8	3,8

	Altura bombeo a 60 mca			
Hz/rpm	**Q (l/s)**	**P (kW)**	**Rendimiento hidráulico (%)**	**NPSH (mca)**
50/1492	312	232,9	80,2	6
47,08/1405	250	180,3	82,0	3,8
45,04/1344	200	144,3	81,8	3,2
43,26/1291	150	115,3	78,5	3,0
41,65/1243	100	88,4	68,9	2,9
40,98/1223	75	77,2	60,3	2,9

Para la bomba de aproximadamente 150 l/s a 70 mca se ha seleccionado una que proporciona un caudal de 142 l/s y tendrá una curva similar a la siguiente:

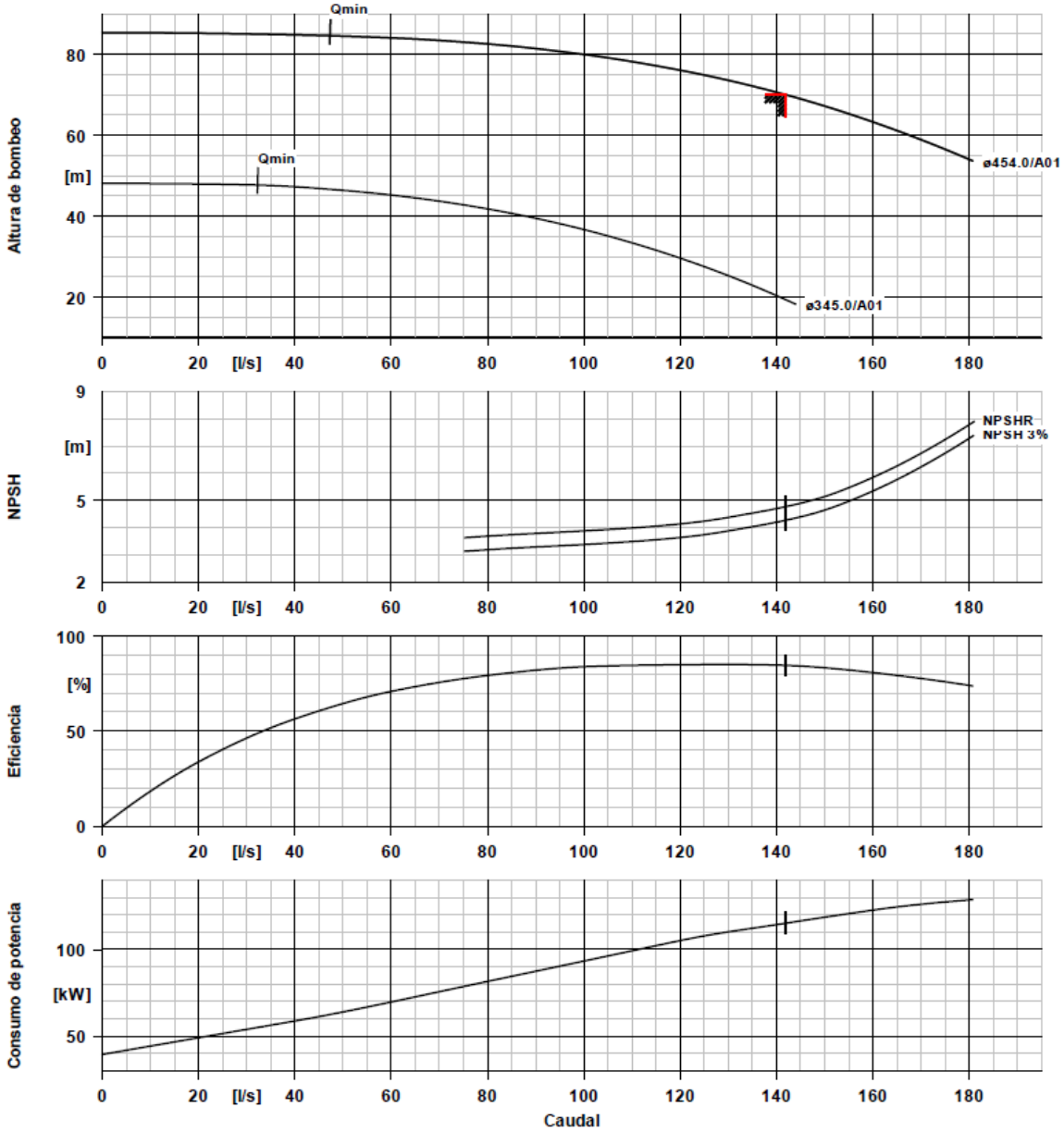


Figura 7. Curvas características de bomba de 142 l/s a 70 mca

Tras estudiar varias posibilidades de hidráulicas para conseguir curvas de funcionamiento adecuadas se decide que el caudal a bombear será de 142 l/s a 70 mca. La bomba elegida presentará un rendimiento hidráulico η_1=84,5 %, por lo que la potencia absorbida en ese punto de funcionamiento será:

$$P_{absorbida} = \frac{Q \times H}{75 \times \eta_1} = \frac{142 \times 70}{75 \times 0{,}845} = 156{,}85 \text{ CV} = 115{,}44 \text{ kW}$$

Siendo η_2 el rendimiento mecánico del motor (95 %), en el punto de funcionamiento, la potencia total será:

$$P_T = \frac{P_{absorbida}}{\eta_2} = \frac{115,44}{0,95} = 121,52 \text{ kW}$$

De la curva de funcionamiento de la bomba se deduce que el motor que se deberá instalar será de 160 kW (220 CV).

Con la regulación de las revoluciones del motor con un variador de frecuencia se obtienen los siguientes puntos de funcionamiento:

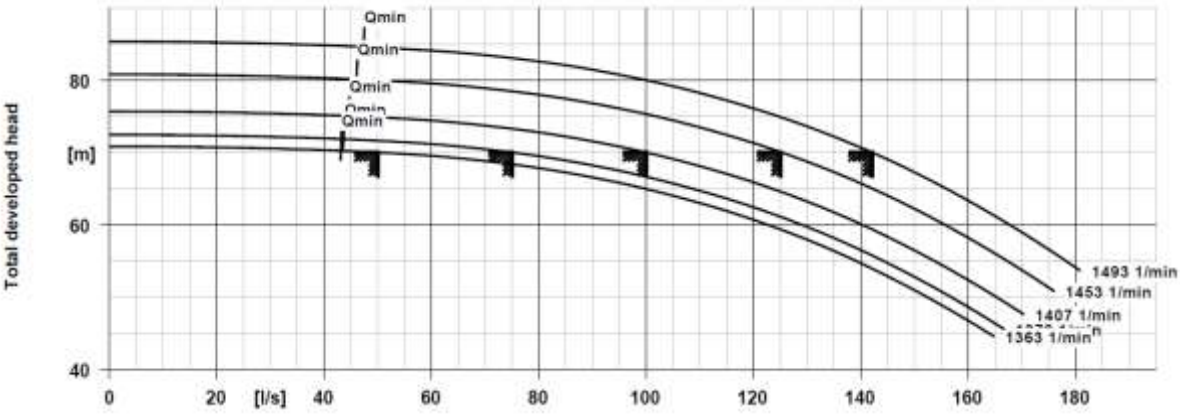


Figura 8. Curvas características de bomba de 142 l/s a 70 mca con distintas revoluciones

En las siguientes tablas se muestran para una altura de bombeo fija y distintos valores de caudal obtenidos para distintas revoluciones con la potencia consumida, su rendimiento y el valor de NPSH:

Tabla 2. Rendimientos y valores de NPSH de la bomba (II)

	Altura bombeo a 70 mca			
Hz/rpm	**Q (l/s)**	**P (kW)**	**Rendimiento hidráulico (%)**	**NPSH (mca)**
50 / 1493	142	115,4	84,5	4,8
48,66 / 1453	125	101,4	85,3	4,2
47,12 / 1407	100	82,1	82,5	3,8
46,15 / 1378	75	66,7	79,1	3,4
45,64 / 1363	50	50,4	67,1	3,4

	Altura bombeo a 80 mca			
Hz/rpm	**Q (l/s)**	**P (kW)**	**Rendimiento hidráulico (%)**	**NPSH (mca)**
50 / 1493	99	93,5	82,6	3,8
49,16 / 1468	75	77,9	79,3	3,5
48,76 / 1456	50	60,2	64,7	3,5

	Altura bombeo a 60 mca			
Hz/rpm	**Q (l/s)**	**P (kW)**	**Rendimiento hidráulico (%)**	**NPSH (mca)**
50/1493	167	126,7	79,2	6,7
47,25 / 1411	142	100,2	82,4	4,8
45,78 / 1367	125	87,9	84,9	4,2
44,03 / 1315	100	69,8	82,4	3,6
42,9 / 1281	75	55,4	79,8	3,2
42,3 / 1263	50	42,7	68,9	3,2

Con el sistema de bombeo diseñado se podrá operar de las siguientes maneras:

- **Presión de salida de estación de bombeo de 80 mca y de entrada en la zona regable de 62 mca (funcionamiento idéntico a estación de bombeo existente elevando el agua al depósito elevado)**.- Se usará en dos modos:

  1. Para funcionar a bajo caudal con alguna de las bombas para el llenado del depósito elevado y evitar el arranque-parada constante de las bombas que se da en la actualidad, dado su elevado caudal. En base a las tablas anteriores, se comprueba que las bombas de 250 kW pueden funcionar entre un máximo de 170 l/s y un mínimo de 75 l/s y la de 160 kW entre 99 y 50 l/s
  2. Servir como bombas de reserva a las bombas actuales. Las dos bombas de 250 kW funcionando en simultaneo proporcionarían un máximo cauda de 340 l/s más lo 99 l/s de la bomba pequeña harían un total de 439 l/s, superior a los 375 l/s que

proporcionan las bombas actuales, por lo que podrían servir de reserva en un momento dado.

- **Presión de salida de estación de bombeo de 70 mca y de entrada en la zona regable de 52,73 mca (calculado en epígrafe 7 del presente anejo)**:

  1. En base a las tablas anteriores, se comprueba que las bombas de 250 kW pueden funcionar entre un máximo de 250 l/s y un mínimo de 75 l/s y la de 160 kW entre 142 y 50 l/s.
  2. La nueva estación de bombeo con las tres bombas funcionando en simultaneo proporcionarían un máximo caudal de 642 l/s.

- **Presión de salida de estación de bombeo de 60 mca y de entrada en la zona regable de 42,73 mca (calculado en epígrafe 7 del presente anejo)**:

  1. En base a las tablas anteriores, se comprueba que las bombas de 250 kW pueden funcionar entre un máximo de 312 l/s y un mínimo de 75 l/s y la de 160 kW entre 167 y 50 l/s. La potencia absorbida por la bomba de 250 kW con un caudal de 312 l/s está muy cerca de la potencia nominal del motor, luego se descarta ese punto de funcionamiento y se limitará a 290 l/s.
  2. La nueva estación de bombeo con las tres bombas funcionando en simultaneo proporcionarían un máximo cauda de 747 l/s (con este caudal ya se alcanzaría el caudal bombeado por dos de las bombas existentes en la estación de bombeo).

La campaña de riego tiende a alargarse mucho comenzando algunos años en marzo y llegando hasta principios de noviembre. Al comienzo de la campaña se empezará bombeando con una presión de 60 mca para ir subiéndola progresivamente, hasta que el caudal suministrado por las nuevas bombas no sea suficiente para abastecer la demanda y entren en funcionamiento las bombas existentes. En base a esta adaptación de la presión de bombeo a la demanda real que exista en cada fase de la campaña de riego, se obtendrá un importante ahorro energético que se calcula en el epígrafe 12 del presente anejo.

Será la Comunidad de Regantes la que fije la presión de salida del nuevo bombeo por periodos de riego en base a su experiencia en el manejo de la red. Es decir, en el autómata de control de la estación de bombeo se fijará por el personal de la comunidad, la presión de consigna que será de 60 o 70 mca durante el periodo fuera de máxima demanda. Se programará de forma que en primer lugar arranque la bomba más pequeña (de 142 l/s) y progresivamente se vayan arrancando las bombas más grandes conforme se demande más caudal, pera mantener la presión indicada.

Tabla 3. Presiones de consigna del bombeo para cada mes

MES	ALTURA DE BOMBEO FUTURA (mca)
ENERO	Sin riego
FEBRERO	Sin riego
MARZO	60 mca
ABRIL	60 mca
MAYO	63 mca (se toma 60 mca los primeros 10 días del mes y el resto del mes 70 mca)
JUNIO	80 mca menos 8 horas al día que se bombeo a 70 mca
JULIO	80 mca todo el mes
AGOSTO	80 mca menos 8 horas al día que se bombeo a 70 mca
SEPTIEMBRE	63 mca (se toma 60 mca los últimos 10 días del mes y el resto del mes 70 mca)
OCTUBRE	60
NOVIEMBRE	60
DICIEMBRE	Sin riego

Las curvas del sistema para las tres bombas sería la siguiente.

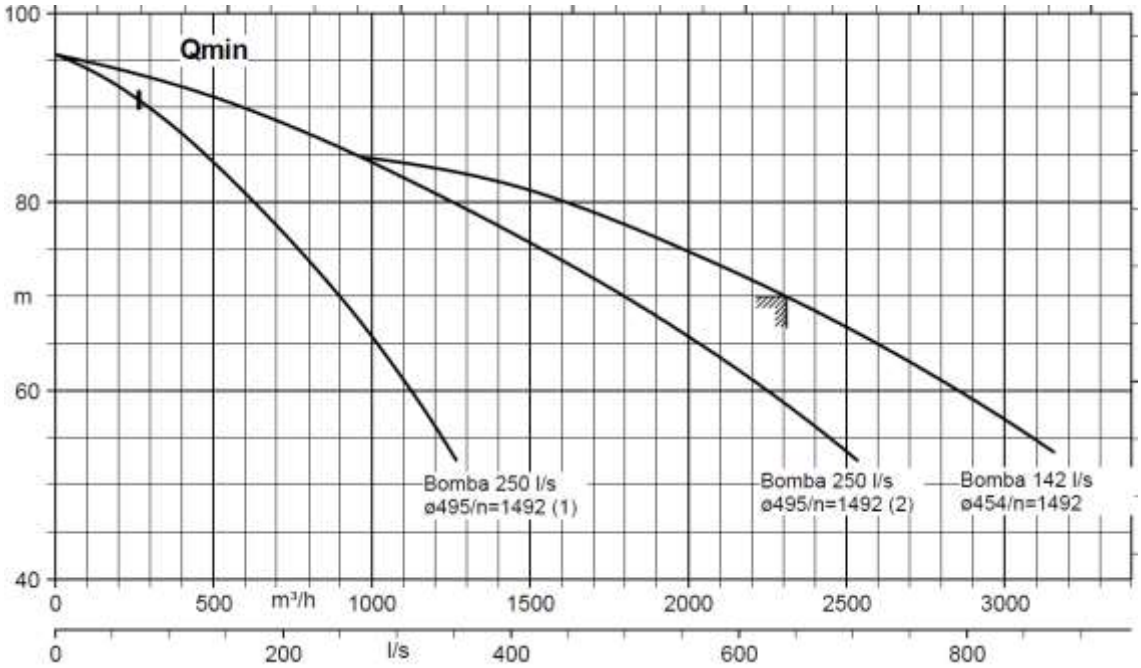


Figura 9. Curvas del sistema de bombeo

Cuando la presión de bombeo necesaria sea de 80 mca, el by-pass proyectado estará cerrado y el sistema de bombeo usado será el actualmente existente. Se usará la nueva estación de bombeo para mantener lleno el depósito elevado o de reserva del bombeo actual.

5 DISEÑO DE LOS COLECTORES DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

En este apartado se realiza el cálculo hidráulico de la estación de bombeo completa, desde la toma en la cántara, su paso por el bombeo y su impulsión, para calcular las pérdidas de carga que se producirán tanto en la aspiración como en la impulsión. Dado que el tramo de tubería a instalar desde la salida del nuevo bombeo hasta la conexión a la tubería de impulsión existente es muy corto, se incluye aquí su cálculo.

Para los cálculos se tomarán los caudales más elevados que se puedan dar en la instalación, correspondientes a la posición de bombeo a 60 mca (747 l/s en total, 290 l/s para la de 250 kW y 167 l/s para las bombas de 160 Kw).

Los cálculos hidráulicos se dividirán en dos partes: pérdidas en las tuberías y colectores, y pérdidas localizadas (codos, derivaciones, válvulas). Al mismo tiempo se separan en pérdidas en la aspiración y la impulsión.

1 Pérdidas en tuberías.

La fórmula de pérdidas de carga en tuberías de Hazen-Williams, empleada en el dimensionamiento, es la siguiente:

J(m/m)=10,62·C-1.85·D-4.87(m)·Q1.85(m3/s)

donde C depende del material de la conducción y del diámetro de la misma. Para acero y diámetros que se manejan, se adopta un valor de C = 150.

2 Pérdidas localizadas.

Salvo casos excepcionales, las pérdidas de carga localizadas sólo se pueden determinar de forma experimental, y puesto que son debidas a una disipación de energía motivada por las turbulencias, pueden expresarse en función de la altura cinética corregida mediante un coeficiente empírico K.

$$H = K \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (m)$$

El coeficiente K es adimensional y depende del tipo de singularidad y de la velocidad media en el interior de la tubería. En la práctica se suelen adoptar los siguientes valores aproximados de K:

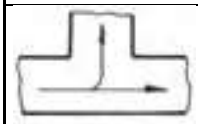
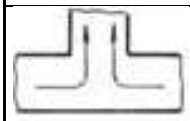
1.- Codos

Tabla 4. Coeficientes K en codos

Ɵ	Coef K
11,25	0,045
15	0,06
22,5	0,15
30	0,16
45	0,32
60	0,7
90	1,26

2.- Derivaciones

Tabla 5. Coeficientes K en derivaciones

	Coef K
	1,5
	2
	3

3.- Válvulas

Tabla 6. Coeficientes K en válvulas

Válvulas	**Coef K**
Válvula ángulo recto abierta 100%	2
Válvula ángulo recto abierta 75%	2
Válvula ángulo recto abierta 50%	3
Válvula ángulo recto abierta 25%	6
Válvula globo abierta 100%	4
Válvula globo abierta 75%	4
Válvula globo abierta 50%	6
Válvula globo abierta 25%	15
Válvula retención	2
Válvula compuerta abierta 100%	0,2
Válvula compuerta abierta 75%	1,15
Válvula compuerta abierta 50%	5,6
Válvula compuerta abierta 25%	24
Válvula mariposa abierta 100%	0,4
Válvula mariposa abierta 75%	1
Válvula mariposa abierta 50%	13
Válvula mariposa abierta 25%	120

Las pérdidas de carga que se producirán en esta estación de bombeo serán:

A) <u>Pérdidas en tuberías.</u>

Se distingue entre las que se producen en la aspiración (usadas para cálculo de NPSH) y las que se producen en la impulsión (usadas para determinar la presión en el punto de entrega). Se puede comprobar que tanto las velocidades en la aspiración como en la impulsión son adecuadas (máximo de 1,5 m/s en aspiración y 2 m/s en impulsión).

Tabla 7. Características y perdidas de carga de las tuberías de la estación de bombeo

NI	NF	L (m)	Q (l/s)	DN (mm)	espesor (mm)	Di(mm)	v(m/s)	Hf(m)	Hfac.
Aspiración DN 800	Colector DN 813 inox	10	747	813	8	797	1,50	0,018	0,018
Aspiración DN 500	Carrete DN 508 inox	1,54	290	508	6,3	495,4	1,50	0,005	0,022
Cono reducc. DN 500-300	Cono DN 508 - DN 323,9	1,06	290	416	5	406	2,24	0,009	0,031
							TOTAL		**0,071**
NI	**NF**	**L (m)**	**Q (l/s)**	**DN (mm)**	**espesor (mm)**	**Di(mm)**	**v(m/s)**	**Hf(m)**	**Hfac.**
Aspiración	Colector DN 813 inox	10	747	813	8	797	1,50	0,018	0,018
Aspiración DN 400	Carrete DN 419 inox	1,95	167	419	5	409	1,27	0,006	0,023
Cono reducc. DN 400-200	Cono DN 419 - DN 219,1	0,85	167	319	5	309	2,23	0,009	0,033
							TOTAL		**0,074**
NI	**NF**	**L (m)**	**Q (l/s)**	**DN (mm)**	**espesor (mm)**	**Di(mm)**	**v(m/s)**	**Hf(m)**	**Hfac.**
Cono amplia. DN 250-450	Cono DN 457 - DN 273	0,61	290	365	5	355	2,93	0,010	0,010
Impulsión DN 450	Carrete DN 457	0,97	290	457	5,4	446,2	1,85	0,005	0,015
Impulsión DN 700	Colector DN 711	9,1	747	711	8	695	1,97	0,031	0,046
							TOTAL		**0,070**
NI	**NF**	**L (m)**	**Q (l/s)**	**DN (mm)**	**espesor (mm)**	**Di(mm)**	**v(m/s)**	**Hf(m)**	**Hfac.**
Cono amplia. DN 150-350	Cono DN 368 - DN 159	0,64	167	263,5	5	253,5	3,31	0,019	0,019
Impulsión DN 350	Carrete DN 368	1,23	167	368	5	358	1,66	0,007	0,025
Impulsión DN 700	Colector DN 711	9,1	747	711	8	695	1,97	0,031	0,057
							TOTAL		**0,101**
NI	**NF**	**L (m)**	**Q (l/s)**	**DN (mm)**	**espesor (mm)**	**Di(mm)**	**v(m/s)**	**Hf(m)**	**Hfac.**
Impulsión DN 700	Colector DN 711	27,05	747	711	8	695	1,97	0,093	0,093
							TOTAL		**0,093**

B) Pérdidas localizadas.

1.- Codos

Datos de la instalación			Ɵ	Coef K	Unidades	Pérdida
Caudal (l/s)	290		11,25	0,045	0	0
Diám. int. (mm)	446,2		15	0,06	0	0
Velocidad del fluido			22,5	0,15	0	0
1,85	m/s		30	0,16	0	0
Término cinético			45	0,32	1	0,06
0,175	m		60	0,7	0	0
			90	1,26	0	0,00
					TOTAL	0,06

Datos de la instalación			Ɵ	Coef K	Unidades	Pérdida
Caudal (l/s)	167		11,25	0,045	0	0
Diám. int. (mm)	358		15	0,06	0	0
Velocidad del fluido			22,5	0,15	0	0
1,66	m/s		30	0,16	0	0
Término cinético			45	0,32	1	0,04
0,140	m		60	0,7	0	0
			90	1,26	0	0,00
					TOTAL	0,04

Datos de la instalación			Ɵ	Coef K	Unidades	Pérdida
Caudal (l/s)	747		11,25	0,045	0	0
Diám. int. (mm)	695		15	0,06	0	0
Velocidad del fluido			22,5	0,15	0	0
1,97	m/s		30	0,16	0	0
Término cinético			45	0,32	1	0,06
0,198	m		60	0,7	0	0
			90	1,26	0	0,00
					TOTAL	0,06

Figura 10. Perdidas de carga en codos

2.- Derivaciones

Datos de la instalación		Coef K	Unidades	Pérdida
Caudal (l/s)	290	2	1	0,231
Diám. int. (mr	495,4			
Velocidad del fluido				
1,50	m/s			
Término cinético				
0,115	m			

Datos de la instalación		Coef K	Unidades	Pérdida
Caudal (l/s)	167	2	1	0,165
Diám. int. (mr	409			
Velocidad del fluido				
1,27	m/s			
Término cinético				
0,082	m			

Figura 11. Pérdidas de carga en derivaciones

3.- Válvulas de mariposa

ASPIRACION

Datos de la instalación	
Caudal (l/s)	290
Diám. int. (mm)	500
Velocidad del fluido	
1,48	m/s
Término cinético	
0,111	m

Válvulas	Coef K	Unidades	Pérdida
Válvula mariposa abierta 100%	0,4	1	0,044
Válvula mariposa abierta 75%	1	0	0,000
Válvula mariposa abierta 50%	13	0	0,000
Válvula mariposa abierta 25%	120	0	0,000
		TOTAL	**0,044**

ASPIRACION

Datos de la instalación	
Caudal (l/s)	167
Diám. int. (mm)	400
Velocidad del fluido	
1,33	m/s
Término cinético	
0,090	m

Válvulas	Coef K	Unidades	Pérdida
Válvula mariposa abierta 100%	0,4	1	0,036
Válvula mariposa abierta 75%	1	0	0,000
Válvula mariposa abierta 50%	13	0	0,000
Válvula mariposa abierta 25%	120	0	0,000
		TOTAL	**0,036**

IMPULSION

Datos de la instalación	
Caudal (l/s)	290
Diám. int. (mm)	450
Velocidad del fluido	
1,82	m/s
Término cinético	
0,169	m

Válvulas	Coef K	Unidades	Pérdida
Válvula mariposa abierta 100%	0,4	1	0,068
Válvula mariposa abierta 75%	1	0	0,000
Válvula mariposa abierta 50%	13	0	0,000
Válvula mariposa abierta 25%	120	0	0,000
		TOTAL	**0,068**

IMPULSION

Datos de la instalación	
Caudal (l/s)	167
Diám. int. (mm)	350
Velocidad del fluido	
1,74	m/s
Término cinético	
0,154	m

Válvulas	Coef K	Unidades	Pérdida
Válvula mariposa abierta 100%	0,4	1	0,061
Válvula mariposa abierta 75%	1	0	0,000
Válvula mariposa abierta 50%	13	0	0,000
Válvula mariposa abierta 25%	120	0	0,000
		TOTAL	**0,061**

IMPULSION

Datos de la instalación	
Caudal (l/s)	747
Diám. int. (mm)	700
Velocidad del fluido	
1,94	m/s
Término cinético	
0,192	m

Válvulas	Coef K	Unidades	Pérdida
Válvula mariposa abierta 100%	0,4	1	0,077
Válvula mariposa abierta 75%	1	0	0,000
Válvula mariposa abierta 50%	13	0	0,000
Válvula mariposa abierta 25%	120	0	0,000
		TOTAL	**0,077**

Figura 12. Pérdidas de carga en válvulas

En resumen, las pérdidas de carga totales en la estación de bombeo se distinguen en función de la bomba y de aspiración o impulsión. Son las siguientes:

Tabla 8. Perdidas de carga totales de la estación de bombeo

ASPIRACION	**Pérdidas (mca)**	
Elemento	**Bomba 250 kW**	**Bomba 160 kW**
Tuberías	0,071	0,074
Derivaciones	0,231	0,165
Válvulas	0,044	0,036
TOTAL	**0,347**	**0,274**
IMPULSION	**Pérdidas (mca)**	
Elemento	**Bomba 250 kW**	**Bomba 160 kW**
Tuberías	0,070	0,101
Codos	0,056	0,045
Válvulas	0,068	0,061
Tubería conex	0,093	0,093
Codo conex.	0,126	0,126
Valvula 700	0,077	0,077
TOTAL	**0,491**	**0,504**

Se tomarán las más desfavorables en cada caso para el dimensionamiento:

1. Para el cálculo del NPSH se tomará 0,347 mca correspondiente a las pérdidas de carga en la aspiración de las bombas de 250 kW.
2. Para el cálculo de las pérdidas de carga de la impulsión se tomará 0,504 mca correspondiente a la bomba de 160 kW.

6 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN LA IMPULSIÓN

Se considera para el cálculo de las pérdidas de carga la tubería de impulsión existente (desde el punto de conexión con la nueva estación de bombeo hasta el inicio del by-pass) y el nuevo by-pass proyectado.

Las pérdidas de carga en las tuberías serán:

NI	NF	L (m)	Q (l/s)	DN (mm)	espesor (mm)	Di(mm)	v(m/s)	Hf(m)	Hfac.
Impulsión DN 900	Colector DN 914	560	747	914	8	898	1,18	0,554	0,554
							TOTAL		0,554
NI	NF	L (m)	Q (l/s)	DN (mm)	espesor (mm)	Di(mm)	v(m/s)	Hf(m)	Hfac.
By-pass DN 700	Colector DN 711	27,23	747	711	8	695	1,97	0,094	0,094
							TOTAL		0,094

Figura 13. Pérdidas de carga en las tuberías

Las pérdidas de carga en los 4 codos de 45º del by-pass serán:

Datos de la instalación	
Caudal (l/s)	747
Diám. int. (mm)	695
Velocidad del fluido	
1,97	m/s
Término cinético	
0,198	m

Ɵ	Coef K	Unidades	Pérdida
11,25	0,045	0	0
15	0,06	0	0
22,5	0,15	0	0
30	0,16	0	0
45	0,32	4	0,25
60	0,7	0	0
90	1,26	0	0,00
		TOTAL	0,25

Figura 14. Pérdidas de carga en los codos de 45º

Las pérdidas de carga en la válvula de mariposa del by-pass serán:

Datos de la instalación	
Caudal (l/s)	747
Diám. int. (mm)	700
Velocidad del fluido	
1,94	m/s
Término cinético	
0,192	m

Válvulas	Coef K	Unidades	Pérdida
Válvula mariposa abierta 100%	0,4	1	0,077
Válvula mariposa abierta 75%	1	0	0,000
Válvula mariposa abierta 50%	13	0	0,000
Válvula mariposa abierta 25%	120	0	0,000
		TOTAL	0,077

Figura 15. Pérdidas de carga en la válvula de mariposa

En resumen, las pérdidas de carga totales en la tubería de impulsión existente y el by-pass son las siguientes:

Tabla 9. Pérdidas de carga totales

Elemento	Pérdidas (mca)
Tuberías	0,648
Codos	0,253
Válvulas	0,077
TOTAL	**0,977**

7 DETERMINACIÓN DE ALTURA PRESIÓN DEL NUEVO BOMBEO

Una vez calculadas las pérdidas de carga que se producen en la nueva estación de bombeo, en la tubería de impulsión existente y en el by-pass, y considerando las cotas geométricas de los distintos elementos, se podrán obtener las presiones disponibles al comienzo de la red de riego (final del by-pass proyectado).

- Perdidas de carga impulsión = 0,504 + 0,977 = 1,481 mca
- Cota punto conexión by-pass con red de riego = 268,38 (cota terreno) – 1,6 (profundidad tubería conexión) = 266,78 m.s.n.m.
- Cota eje nuevas bombas = 253,54 (cota explanada estación de bombeo) – 3,8 (profundidad a eje bombas) = 249,74 m.s.n.m.
- Diferencia cotas = 266,78 – 249,74 = 17,04 m
- Cota de agua en aspiración sobre eje de nuevas bombas = 1,6 m
- Perdidas de carga aspiración = 0,347 mca

Con estos datos se podrá calcular la presión disponible al comienzo de la red de riego para el caudal más desfavorable del nuevo bombeo. Para las presiones de las nuevas bombas funcionado a 60 y 70 mca se consigue la siguiente presión en cabecera:

- **Presión disponible a salida de by-pass con salida de bombas a 60 mca** = 60 – 1,481 – 17,04 + 1,6 – 0,347 = **42,73**
- **Presión disponible a salida de by-pass con salida de bombas a 70 mca** = 70 – 1,481 – 17,04 + 1,6 – 0,347 = **52,73 mca**

8 FILTROS HIDROCICLÓNICOS MULTIHELICE

Consisten básicamente en un filtro cazapiedras con un cartucho filtrante de una malla de acero inoxidable perforado con orificio de 4 mm.

A la entrada del filtro se encuentran unas hélices (fijas, sin movimiento) que generan un al paso del agua un vórtice hidrociclónico. Al poder pasar las almejas por la malla del filtro quedan retenidas y debido al efecto hidrociclónico, hace que golpeen contra las paredes del filtro y entre ellas, produciéndose un efecto triturador que muele las almejas dejándolas a un tamaño más fino de 4 mm hasta el grado de no colapsar la malla filtrante (de manera que pasan por el cartucho filtrante las de menor tamaño, quedando retenidas en los equipos de filtrado que cada Comunero disponga en su propiedad).

Figura 16. Multihelice fija a entrada del filtro

Las pérdidas de carga para los equipos de 32” diseñados se pueden observar en la siguiente gráfica:

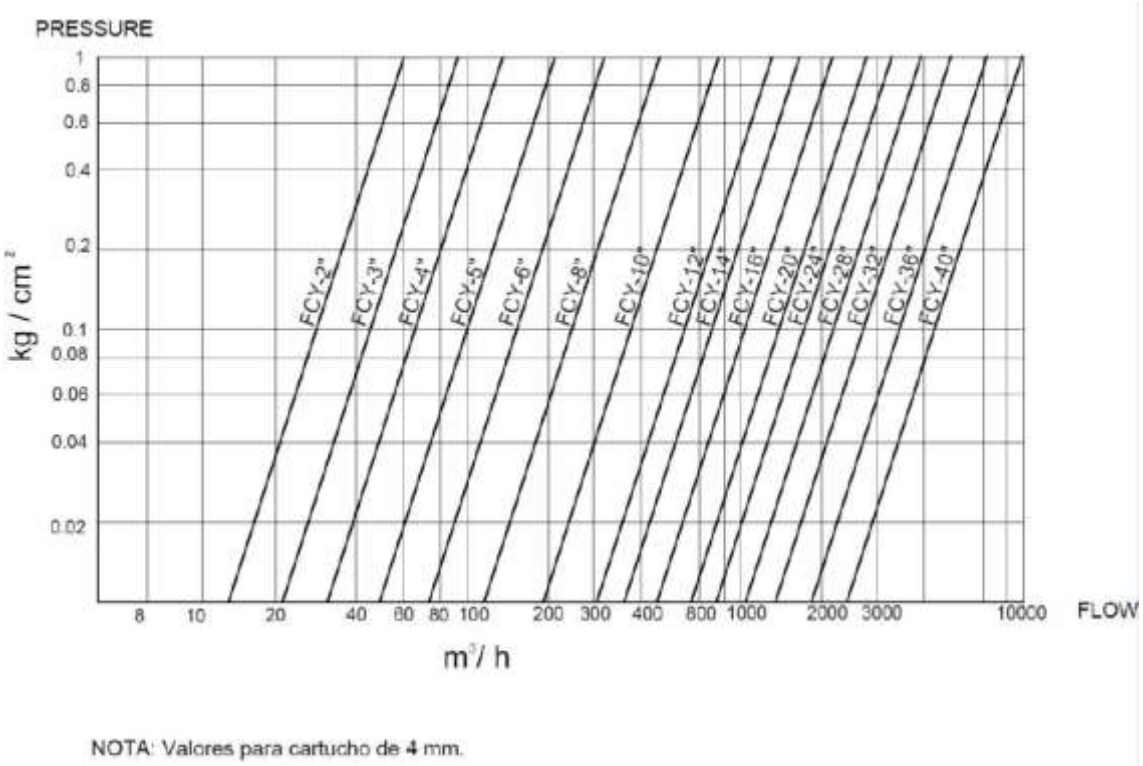


Figura 17. Pérdidas de carga de filtro hidrociclónico multihelice

La tapa dispone de un manguito hembra a la cual se le coloca una válvula de bola ó similar, para la extracción durante el funcionamiento de alguna de los elementos retenidos. La limpieza del cartucho se realiza manualmente para evitar el taponamiento del filtro causado por las partículas adheridas a la malla filtrante que no abandonen el filtro tras la apertura de la válvula de descarga de partículas.

Para colocar los filtros sobre la tubería existente de hormigón armado pretensado de DN=800 mm, se realizará un corte en la misma y se conectará a dos carretes de acero S 275 JR de DN=864 mm y 8 mm de espesor. A partir de estos carretes se monta el filtro hidrociclónicos multihélice con un carrete de desmontaje de DN=800 mm. Se alojará en una arqueta de hormigón armado HA-25/B/20/IIa de 5,50 x 4,50 x 2,50 m de dimensiones interiores (plano 5.1 «Filtros hidrociclónicos multihélice. Planta y alzado»).

Estos filtros se alojan en una arqueta con unas dimensiones interiores de 5,50 x 4,50 x 2,50 m, ejecutada con muros de hormigón armado HA-25/B/20/IIa de 30 cm de espesor empotrados en una losa de canto 30 cm, sobre 10 cm de hormigón de limpieza HM-20/B/20/IIa. No dispondrá de tapa, por lo que se realizará un cerramiento exterior a la arqueta por seguridad. Será un cerramiento de postes de tubo de acero galvanizado en caliente de 5 cm de diámetro y 2,35 m de altura, a 3 m de separación, empotrados y anclados mediante dados de hormigón HM-

20/B/20/IIa de 35x35x35 cm, y guarnecidos con malla galvanizada doble torsión de 50 mm de paso de malla y diámetro 1,8 mm, de 2,0 m de altura, enterrada 10 cm en el terreno. (Ver plano 5.1 «Filtros hidrociclónicos multihélice. Planta y alzado»).

9 VENTOSAS

En las conducciones existe siempre aire, en mayor o menor proporción, siendo su procedencia muy diversa: el que llena totalmente su interior cuando van a ponerse en servicio por primera vez o han sido vaciadas por cualquier causa; el que normalmente lleva el propio agua emulsionado; el que siempre se encuentra disuelto en el agua, siendo mayor su cantidad cuanto mayor es la presión, desprendiéndose por tanto al disminuir esta; el que queda aprisionado en los intersticios de las juntas o se introduce a través de ellas o de ventosas, instaladas precisamente para tal fin, al producirse eventualmente algún vacío en el interior de los conductos, etc.

Las ventosas tienen gran relevancia en lo que a transitorios se refiere, pudiendo actuar como elementos amortiguadores, admitiendo aire para evitar depresión del tubo; pero al mismo tiempo, si el aire admitido no se expulsa adecuadamente, pueden ser causa de males mayores por sobrepresiones de consideración como consecuencia de la compresibilidad de las bolsas de aire. Es importante, pues, proyectar un determinado número de ventosas del tipo o tipos que se requieran para evitar las fatales consecuencias que podrían ocasionar a las instalaciones, tanto el vacío como la cavitación.

Para evitar el colapso durante el proceso de vaciado de la red es necesario permitir la admisión de una determinada cantidad de aire que, posteriormente, pueda ser expulsado cuando se proceda al llenado de las conducciones. Igualmente, si como consecuencia de un transitorio la línea de presión corta el perfil de la tubería, la admisión de aire en el interior garantizará que no se alcance el vacío, de fatales consecuencias para la instalación.

Cada vez es más frecuente el empleo de un mismo elemento que pueda realizar las tres funciones, esto es: aireación durante el vaciado, expulsión de aire durante el llenado y purga a la presión de servicio. Este tipo de ventosas denominadas trifuncionales serán las diseñadas para este proyecto. Presentan dos orificios de diferente sección y requieren menor espacio que el que ocuparían dos cuerpos diferentes para realizar dichas tres funciones, siendo su fiabilidad absoluta.

El dimensionado de este tipo de ventosa se realiza eligiendo como tamaño óptimo el mayor de los obtenidos para el llenado, vaciado y purga.

En el presente proyecto sólo son necesarias en la nueva estación de bombeo y en el by-pass, pues que la tubería de impulsión existente ya cuenta con las suyas operativas.

Procederemos seguidamente a dimensionar las ventosas requeridas, para lo cual, en función de sus características particulares del diámetro de tubería, caudal y presión:

Tabla 10. Dimensionamiento ventosas (I)

D (mm)	Material	Presión (atm)	D Int (mm)	Q (l/s)	V (m/s)
711	ACERO	8	685	747	1,97

Para su dimensionamiento, consideraremos un Caudal de Aire libre a Eliminar (CAE) igual al **caudal de agua a emplear para el llenado**. En conducciones por bombeo, como es nuestro caso, el caudal de llenado podrá regularse con los variadores de velocidad, debiendo comenzar con caudales bajos que irán aumentando pero sin superar la velocidad de 0,5 m/s en la conducción.

Atendiendo a los resultados del dimensionado hidráulico, obtendremos los siguientes CAE para cada tramo. Con cada valor de CAE, entraremos en las gráficas de la figura 5, buscando su intersección con el valor de 1,5 mca de presión diferencial y tomado la curva más próxima a la derecha del punto correspondiente elegiremos cada ventosa.

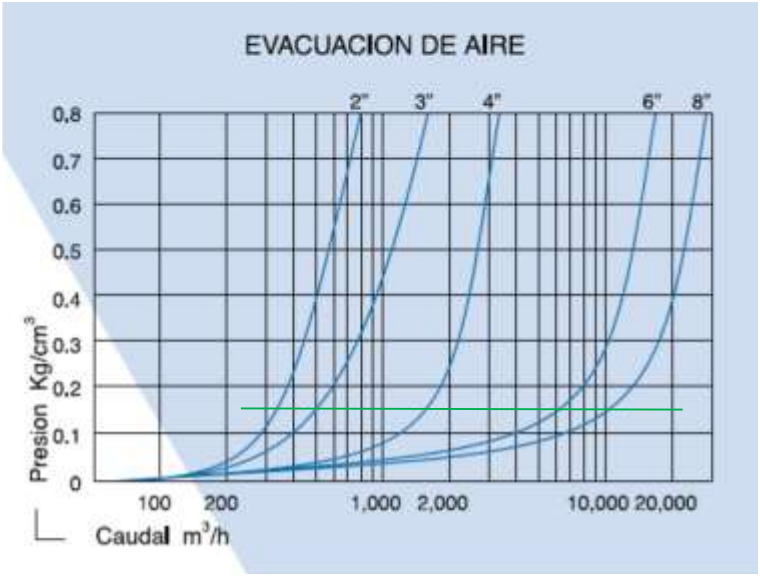


Figura 18.Curvas de evacuación de aire

Tabla 11. Dimensionamiento ventosas (II)

D (mm)	Material	Presión (atm)	D Int (mm)	CAE (l/s)	CAE (m^3/h)	V (m/s)	Ventosa (“)
711	ACERO	8	685	187	673	0,5	1 x 4

Por otro lado, en cuanto al **vaciado de la conducción**, si consideramos un valor de 3,5 mca para la depresión diferencial máxima tolerable por la tubería y presuponemos un vaciado de la tubería con la mitad del caudal de diseño considerado para el dimensionado por ser un bombeo; entrando nuevamente en las mismas gráficas, obtenemos unos nuevos puntos de intersección que quedan a la derecha de la curva correspondiente a la ventosa siendo, por consiguiente, esta la que se precisaría para esta misión.

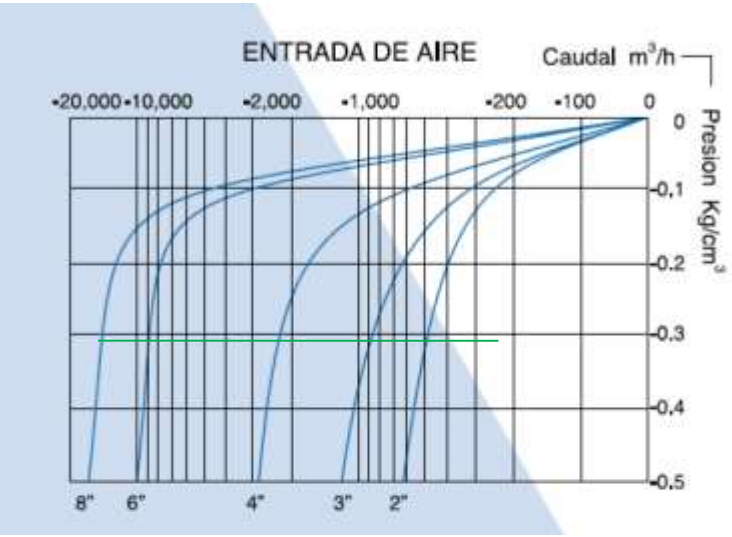


Figura 19. Curvas de entrada de aire

Tabla 12. Dimensionamiento ventosas (III)

D mm	Material	Presión (atm)	D Int (mm)	Q (l/s)	V (m/s)	CAE (m^3/h)	Ventosa (“)
711	ACERO	8	685	747	1,97	1.800	1 x 4

El dimensionamiento de una ventosa en cuanto a su función como purgador, se basa principalmente en una selección racional cimentada en la experiencia y conocimiento de valores de expulsión de aire bajo una serie de parámetros. En cualquier caso, el diámetro de purga siempre es menor que para el llenado o vaciado y, teniendo en cuenta que las ventosas trifuncionales se dimensionan en base al mayor de los tres, se toman para este proyecto ventosas de 4”.

10 CÁLCULO DE ANCLAJES

Será necesario el anclaje de la tubería en los puntos de cambio de dirección y en los emplazamientos de piezas especiales, que garantizan la estabilidad del conjunto de la red. En los tramos rectos de la red, dados los tipos de unión empleados, queda garantizada la absorción de los empujes producidos y esfuerzos a que se ve sometida la tubería con la simple compactación de tierras en zanja.

En el apartado siguiente se especificarán los cálculos de anclajes de la tubería en función de los esfuerzos para cada uno de los casos singulares previstos. Para determinar las cargas a soportar por el terreno se tomarán los valores que muestra el estudio geotécnico.

10.1 DETERMINACIÓN DE LOS EMPUJES

El dimensionamiento de los macizos de anclaje, se basa en la determinación de los empujes de cálculo, tal y como sigue:

- **Codos:**

Si se trata de un codo, donde las alineaciones de entrada y salida forman un ángulo α al empujar desde cada extremo del codo, se tendrá una suma vectorial en la dirección de la bisectriz de valor:

$$F = 2 \cdot P \cdot S \cdot \text{sen}\ (\alpha/2)$$

donde:

- F = empuje total hacia fuera expresado en Tn
- P = presión máxima de trabajo expresada en metros
- S = superficie de la sección interior del tubo en m^2
- α = ángulo que forman los dos tramos de tubería

Como además, el flujo se encuentra en movimiento, también se debe componer el empuje generado por la cantidad de movimiento, de forma que el empuje real será:

$$F = 2 \cdot (P \cdot S + \rho \cdot Q \cdot V) \cdot \text{seno}\ (\alpha/2)$$

donde:

- ρ = peso específico del agua (0,1 $Tn \cdot s^2/m^4$)
- Q = caudal circulante en la tubería en m^3/s
- V = velocidad del agua en la tubería en m/s

En redes a presión las velocidades suelen ser relativamente bajas y normalmente inferiores a 3 m/s, por lo que este empuje dinámico suele resultar despreciable.

10.2 TÉS O DERIVACIONES

En las **tés**, el empuje se dirige según el eje de la derivación y tiene como valor:

$$F = P \cdot S_t$$

siendo S_t la superficie de la sección interior del tubo de la derivación en m^2. Se han calculado para las más desfavorables.

10.3 FUERZAS RESISTENTES

Las fuerzas resistentes consideradas en los cálculos, son la fuerza de rozamiento y el empuje pasivo del terreno. Así, la fuerza de rozamiento adopta la siguiente formulación:

$$F_r = N \cdot tg\ (\varphi)$$

con N el peso del macizo y φ el ángulo de rozamiento interno del terreno.

Por su parte, el empuje pasivo del terreno:

$$F_t = \sigma \cdot A \cdot H$$

con σ resistencia admisible del terreno sobre una pared vertical, A·H = superficie de la cara del anclaje ortogonal al empuje.

10.4 EQUILIBRIO DE FUERZAS

Para el cálculo se supone que el macizo soporta los esfuerzos debidos a los empujes hidráulicos por el rozamiento con el suelo (F_r), y por el apoyo de éste con la pared de la zanja (F_t). Se supone que en la zanja la pared está sana y es capaz de transmitir esfuerzos sin producir un desplazamiento. Consideramos un valor homogéneo de resistencia del terreno en lugar de considerar el empuje pasivo de éste. Así lo recomiendan los expertos que consideran que para contar con el empuje pasivo es necesario un desplazamiento del macizo que lo movilice y esto, en realidad no es lo que ocurre.

Así pues, el cálculo se materializa en el equilibrio de las fuerzas actuantes de la siguiente forma:

$$F = F_r + F_t = N \cdot tg\ (\varphi) + \sigma \cdot A \cdot H$$

donde:

- F = empuje hidráulico
- N = peso del macizo (densidad del hormigón 2,4 t/m^3)
- φ = ángulo de rozamiento interno del terreno (en este caso 26º)
- σ = resistencia admisible del terreno (en este caso 10 Tn/m^2)
- A·H = superficie de la cara del anclaje ortogonal al empuje en m^2

Se comprobará en todos los casos, que el empuje hidráulico (F), mayorado un 30 % es menor que la resistencia que ofrece el anclaje ($F_r + F_t$):

$$\mathbf{F_r + F_t > 1{,}3 \times F}$$

10.5 MACIZOS DE ANCLAJE

De acuerdo con la metodología anteriormente expuesta, se exponen en las páginas siguientes los cálculos efectuados para el dimensionamiento de los anclajes de hormigón para diferentes ángulos de codos y diámetros de tuberías, así como los propios para las piezas en T. Los anclajes envolverán a las piezas de calderería de forma que además servirán como protección ante la corrosión.

Para los anclajes de las piezas especiales de tuberías mayores de 300 mm, tendrá la siguiente forma:

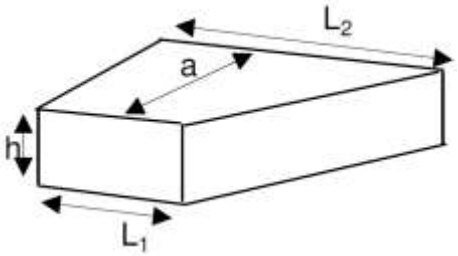


Figura 20. Dimensiones de anclajes

A continuación, se adjuntan los cálculos de los anclajes de los codos y T de derivación.

CÁLCULO DE EMPUJES EN CODOS

Tabla 13. Cálculo de anclajes en codos

D (mm)	MATERIAL	Hest (kg/cm2)	Dint (mm)	CAUDAL (l/s)	VEL (m/s)	Longitud (a)	Altura (b)	VOLUMEN	ÁNGULO	F (Tn)	Fr (Tn)	Ft (Tn)	Fr+Ft	L1	L2	a	h
700	ACERO	8	700	747	1,94	1,5	1,3	2,925	45	30,78	3,72	29,25	32,97	**1,5**	**1,5**	**1,5**	**1,3**

CÁLCULO DE EMPUJES EN DERIVACIONES EN TES

Se calculan las de mayor diámetro por ser la variable que más influye en el resultado, dado que el rango de presiones que se dan en la red de riego.

Tabla 14. Cálculo de anclajes en T

DIAM T. PRIN	DIAM SALIDA	MATERIAL	Hest (m.c.a.)	P.N.	S (m2) salida	F (Tn)	Longitud (a)	Altura (b)	VOLUMEN m3	Fr (Tn)	Ft (Tn)	Fr+Ft	1,3F	DIMENSIONES			
														L2	**L1**	**a**	**h**
900	700	ACERO	80	8	1,539	123,15	4	1,6	25,60	39,87	128,00	167,87	160,10	4	4	4	1,6
900	700	ACERO	63	6,3	1,539	96,98	3,5	1,5	18,38	28,62	105,00	133,62	126,08	3,5	3,5	3,5	1,5
1200	700	ACERO	63	6,3	1,539	96,98	3,5	1,5	18,38	28,62	105,00	133,62	126,08	3,5	3,5	3,5	1,5

Debe cumplirse :Fr+Ft > 1,3F (sombreado en verde)

11 CÁLCULO NPSH

NPSH son las siglas formadas con las iniciales de la frase anglosajona: *Net Positive Suction Head*. En castellano se traduce como **altura neta positiva de aspiración** y se trata de la diferencia entre la presión del líquido en el eje del impulsor y la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, o dicho de otra forma, es la presión absoluta mínima que debe haber a la entrada de la bomba para evitar fenómenos de cavitación, y representa una de las características más importantes para una bomba.

Se distingue entre NPSH de la instalación o disponible (NPSHdisp) y NPSH de la bomba o requerido (NPSHreq).

Para que una bomba funcione sin cavitación debe de cumplirse la relación siguiente, en la que se añade 0,5 metros de seguridad:

$$NPSHdisp \geq NPSHreq + 0,5$$

- **NPSH de la bomba o requerido (NPSHreq)**

El valor de NPSHreq solamente depende de las características de la bomba y no de las características de la instalación. Es variable para cada bomba, siempre es positivo y cambia según el caudal y el número de revoluciones del motor. Los valores y las curvas son suministrados por la casa fabricante. El valor de NPSHreq informa sobre la capacidad de aspiración de una bomba en un punto determinado de su curva característica de funcionamiento: cuanto menor es el valor de NPSHreq tanto mayor es su capacidad de aspiración.

- **NPSH de la instalación o disponible (NPSHdisp)**

El valor de NPSHdisp depende de las características de la instalación y equivale a la reserva total de presión por encima de la tensión de vapor del fluido y que se encuentra disponible en la zona de la brida de aspiración de la bomba. Debemos de calcularlo. Este valor resume en un sólo concepto todas las características de la instalación que influyen en la altura de aspiración de una bomba.

Una instalación de bombeo puede serlo en aspiración o bien en carga, dependiendo de si el nivel de líquido a bombear se sitúa por debajo o por encima del eje de la bomba. La siguiente figura ayudará a aclararlo.

Los cálculos de NPSHdisp que se llevaran a cabo serán para una instalación en carga, debido a que el nivel de líquido a bombear se encuentra por encima del propio eje de la bomba.

$$NPSH_{disp} = 10^5 \times \frac{P_l - P_v}{\rho \times g} + H_a - h_a$$

donde:

- P_l = presión sobre el líquido en el depósito de aspiración.
- P_v = presión de vapor líquido a una determinada temperatura (en este caso 20º)
- ρ = densidad del líquido (agua: 1.000 kg/m^3)
- g = aceleración de la gravedad (9,81 m/s^2)
- H_a = altura de aspiración en m (1,6 m)
- h_a = perdida de carga en el caso más desfavorable producida en el tramo de aspiración (en dicho caso sería de 0,347 m)

Teniéndose en cuenta que se desprecia la altura de la bomba sobre el nivel del mar, la presión sobre el líquido de aspiración (P_l) equivale a la presión atmosférica, es decir, 10 mca (1 bar).

En cuanto a la presión de vapor líquido, a una temperatura de 20º, le corresponde una tensión de vapor de 0,24 mca (0,024 bar).

Tabla 15.Valores de la tensión de vapor según la temperatura

Temperatura (ºC)	0	4	10	20	30	40	50	60	80	100
Tensión de vapor (mca)	0,06	0,08	0,12	0,24	0,43	0,75	1,26	2,03	4,83	10,33

De tal forma, el valor de NPSHdisp es el siguiente:

$$\mathrm{NPSH}_{disp} = 10^5 \times \frac{1 - 0{,}024}{1.000 \times 9{,}81} + 1{,}6 - 0{,}347 = 11{,}20 \text{ m}$$

Esto implica que, cualquier bomba con un valor de NPSHreq < 10,7 puede ser utilizada en esta Instalación.

El NPSH en el punto de funcionamiento más desfavorable para las bombas elegidas es de 6,7 m para la bomba de 160 kW y de 6 m para la bomba de 250 kW, por lo que no existe ningún problema de posible cavitación con el diseño realizado.

12 CÁLCULO GOLPE DE ARIETE

Es fundamental en toda impulsión estudiar las posibles sobrepresiones o depresiones que pudieran producirse como consecuencia de la parada brusca de los equipos de bombeo; tal caso puede presentarse ante un corte inesperado de la energía eléctrica.

El estudio se va a realizar mediante el método de Mendiluce siendo los datos de partida los siguientes:

Tabla 16.Datos de partida para calculo golpe ariete

Caudal impulsado	642 l/s
Desnivel geométrico	17 m
Altura manométrica	70 m.c.a.
Nº de tramos distintos	3

Las características de los distintos tramos en que se divide la impulsión son:

Tabla 17. Datos de partida para calculo golpe ariete

Tramo	Dint (mm)	Dext (mm)	Material	Mód.elastic. (E) (kg/cm^2)	Long. (m)	Velocidad (m/s)
1	695	711	Acero	2.100.000	36	1,69
2	898	914	Acero	2.100.000	560	1,01
3	695	711	Acero	2.100.000	27	1,69

De estos valores se obtiene una impulsión equivalente de las siguientes características:

Tabla 18. Datos de partida para calculo golpe ariete

Longitud total	623 m
Velocidad equivalente	1,05 m/s

12.1 TIEMPO DE PARADA.

Resulta éste de la siguiente expresión de Mendiluce:

$$T = C + \frac{K \cdot L \cdot v}{g \cdot Hm}$$

en la que:

- T = Tiempo de parada, en segundos
- C = Coeficiente adimensional que toma los siguientes valores:

C = 1,0 cuando Hm / L < 0,2

C = 0,8 cuando Hm / L = 0,25 aprox.

C = 0,6 cuando Hm / L =0,35 aprox.

C = 0,4 cuando Hm / L = 0,35 aprox.

C = 0,2 cuando Hm / L = 0,37 aprox.

C = 0 cuando Hm / L = 0,4 aprox.

- K= Coeficiente experimental adimensional, cuyo valor depende de la longitud de la impulsión y vale:

K=2 para L<500 m

K=1,75 para L=500 m

K=1,5 para 500<L<1500 m

K=1,25 para L=1.500 m aprox.

K=1 para L>1.500 m

- L = Longitud de la impulsión, en metros.
- v = Velocidad de circulación del fluido, en m/s.
- g = aceleración de la gravedad, en m/s^2.
- Hm = Altura manométrica total, en m.c.a.

En este caso se obtienen: C = 1 y K = 1,5

Resultando un tiempo de parada de: T = 2,43 s

12.2 CELERIDAD DE LA ONDA DE PROPAGACIÓN.

Para conocer la forma de calcular la sobrepresión; es decir, para elegir la fórmula que se debe emplear, es preciso conocer el valor de la celeridad de la onda, para lo que se emplea la siguiente expresión de Allievi:

$$a = \frac{9.900}{\sqrt{48,3 + K_1 \cdot \frac{D_i}{e}}}$$

en la que:

- a= Velocidad de propagación de la onda, en m/s
- D_i= Diámetro interior del tubo, en mm
- e= Espesor del tubo, en mm
- K_1= 10^6/ E; siendo E el Módulo de elasticidad del material en kg/cm^2.

En este caso, se han calculado dos celeridades distintas correspondientes a los dos diámetros internos diferentes, obteniendo posteriormente una celeridad ponderada cuyo valor es,

a = 985,51 m/s

12.3 LONGITUD CRÍTICA.

La longitud crítica es aquella distancia que separa el final de la impulsión del punto crítico o de coincidencia de los valores de Michaud y Allievi, y determina si la impulsión es "corta" o "larga". Viene dada por la siguiente expresión:

$$L_c = \frac{a \times T}{2}$$

Si Lc>L, la impulsión es "corta" y el máximo golpe de ariete vendrá dado por la siguiente expresión de Michaud:

$$\Delta H = \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot T}$$

Si Lc<L, la impulsión es "larga" y la sobrepresión que origina el golpe de ariete se obtiene mediante la fórmula de Allievi:

$$\Delta H = \frac{a \cdot v}{g}$$

en todo el tramo que exceda de la longitud crítica, mientras que, en el resto de la tubería, el golpe de ariete será el dado por la fórmula de Michaud, decreciente con la distancia al final.

En este caso resulta: Lc = 1.197,39 m, con lo que la **impulsión es corta**.

La máxima sobrepresión que se alcanzará en el origen de la impulsión es de 55,03 m.c.a. y, por consiguiente, la máxima presión a soportar por la tubería en dicho punto será de: 72,03 m.c.a. Esta presión es similar a la altura manométrica de la impulsión. No obstante, para evitar los efectos de la depresión y dotar de una mayor protección a todos los elementos que conforman el bombeo, se estima disponer algún dispositivo antiariete.

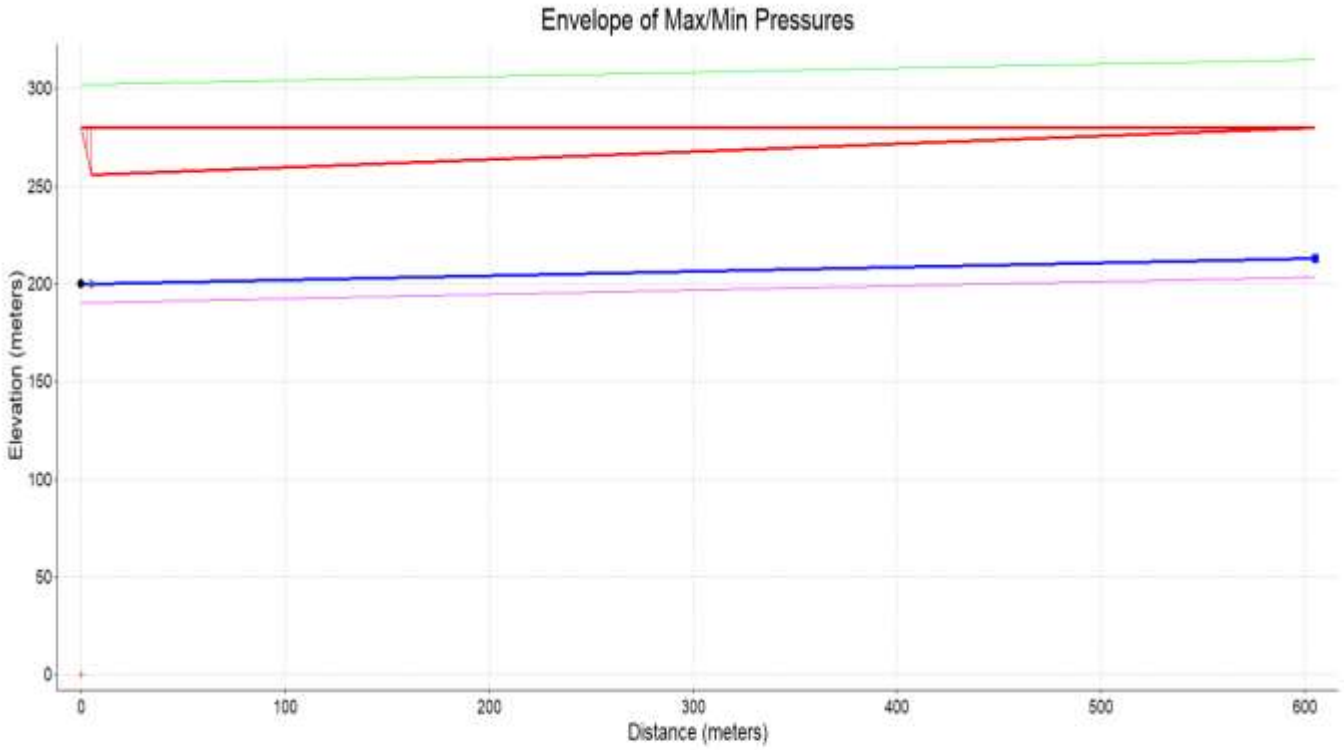
12.4 DISPOSITIVO ANTIARIETE.

Cuando una parada brusca de las bombas en una impulsión da lugar a un golpe de ariete sin movimiento apreciable del agua, la energía cinética queda automáticamente transformada en energía de ondas. Estas ondas se mueven a velocidades enormes y se reflejan prácticamente en todo su valor, de manera que, las depresiones y sobrepresiones máximas son muy semejantes.

Para amortiguar el efecto de las depresiones y sobrepresiones que se producirán en la tubería de impulsión, se colocará una válvula hidráulica anticipadora de onda de DN=250 mm y PN 16 atm (justo después de las bombas y en derivación con la tubería de impulsión o colector principal) y ventosas tanto en el colector de impulsión como en la tubería).

La válvula anticipadora de onda es una válvula instalada fuera de la línea, de operación hidráulica y accionada por diafragma. La válvula se abre en reacción a la caída de presión generada por la súbita parada de la bomba. Mediante la preapertura de la válvula se disipa la onda de alta presión de retorno y así se elimina el golpe de ariete. La válvula se cierra con suavidad y herméticamente en cuanto lo permite la función de alivio, evitando la onda de cierre. Esta válvula sirve también para aliviar la presión excesiva en el sistema.

La simulación de la envolvente de presiones a lo largo de la conducción (figura 18) muestra, contrariamente a lo que sucedería en el sistema sin protección, como la válvula hidráulica anticipadora de onda limita el valor de sobrepresión máximo a lo largo de la tubería y las ventosas evitan la formación de condiciones de vacío en ningún punto de la red.



- Linea azul representa el perfil de la conducción
- Linea rojo representa la distribución de la presión en la línea a lo largo de la conducción
- Linea purpura establece el nivel de depresión máxima admisible que se ha considerado para la tubería de la conducción
- Linea verde representa el nivel de presión máxima admisible que se ha considerado para la tubería de la conducción

Figura 21. Líneas piezométricas de la conducción de impulsión

Al dimensionar una solución anti-ariete mediante el uso de una válvula anticipadora es importante comprobar que la capacidad de alivio es suficiente para limitar la depresión máxima en la instalación, lo cual se muestra en la siguiente figura (la línea verde representa caudal expulsado).

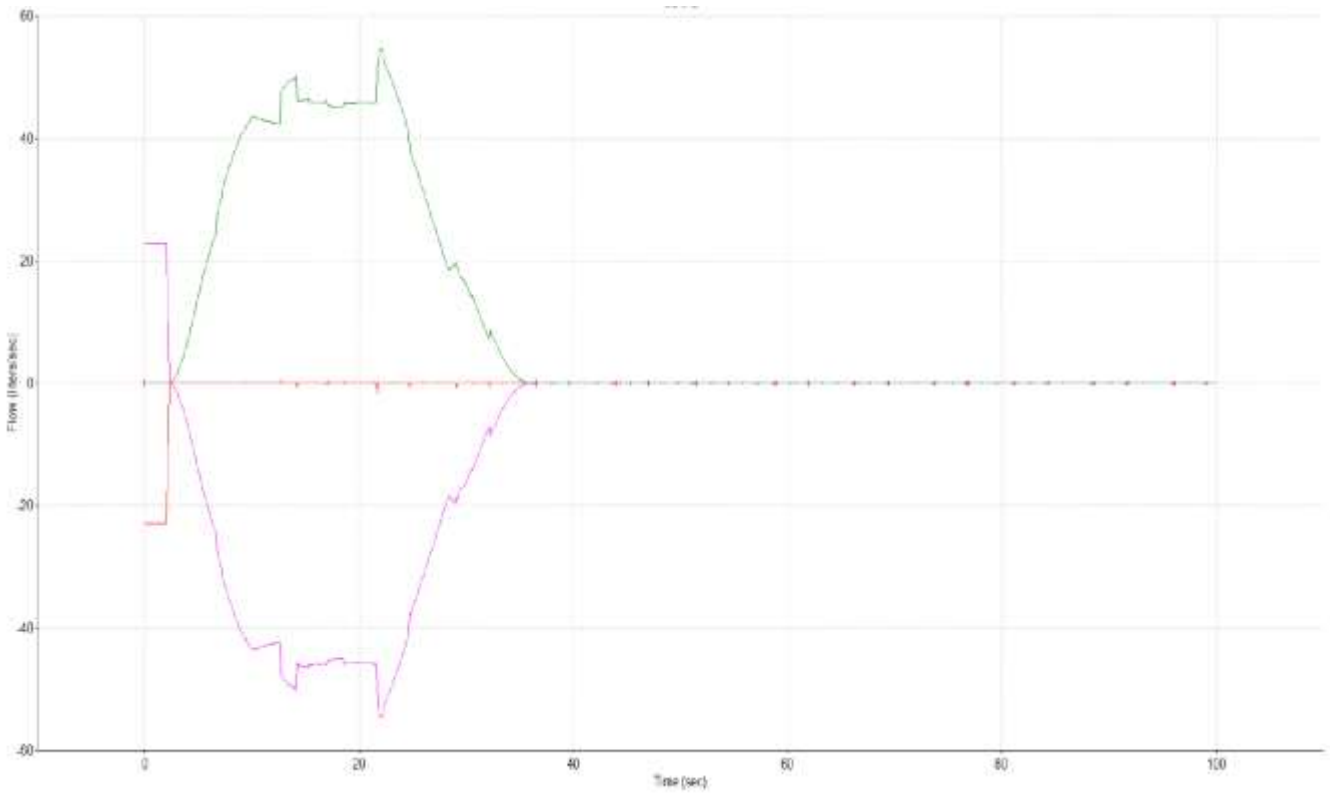


Figura 22. Caudal expulsado

La eliminación de esa onda requiere anticiparla y actuar de antemano. La válvula estará equipada con un piloto de baja presión que percibe la caída de presión inicial y se abre. Esta respuesta inmediata permite que la presión que queda en la línea abra rápidamente la válvula principal. La válvula, ya abierta, libera la columna de agua que retorna, minimizando así la subida de presión en la línea. Si el grado de alivio fuera insuficiente, y la presión superara el ajuste del piloto de alta presión, el piloto actuaría inmediatamente para abrir aún más la válvula principal. Cuando la presión en el sistema se estabiliza en el nivel de presión estática, los dos pilotos se cierran y la válvula empieza a cerrarse. Si la presión en la línea sube durante el cierre de la válvula principal, el piloto de alta presión detiene brevemente el proceso para evitar que la presión siga elevándose. La presión de calibración del piloto de alta será 95 mca y la presión de calibración del piloto de baja de 50 mca.

Complementariamente, se colocarán ventosas trifuncionales de DN=100 mm en la tubería de impulsión, en dos puntos diferentes, a la salida del bombeo y en el by-pass, para facilitar la entrada de aire en la misma cuando se produce la depresión de la onda, y la expulsión del aire durante la expansión de la onda. El resto de la impulsión, correspondiente a la tubería existente de DN=900 mm, ya dispone de varias ventosas que harán la misma función (ya la están haciendo para mayores caudales de bombeo, lo que implica mayores valores del golpe de ariete, luego se está del lado de la seguridad).

13 CÁLCULOS DE AHORRO ENERGÉTICO

En base a esta adaptación de la presión de bombeo a la demanda real que exista en cada fase de la campaña de riego, se obtendrá un importante ahorro energético. Para ello la Comunidad de Regantes fijará la presión de consigna del bombeo a la que pretende suministrar el agua en cada fase de la campaña de riego.

La campaña de riego tiende a alargarse mucho comenzando algunos años en marzo y llegando hasta principios de noviembre.

Según las indicaciones de la Comunidad de Regantes, al comienzo de la campaña se empezará bombeando con una presión de 60 mca para ir subiéndola progresivamente, hasta que el caudal suministrado por las nuevas bombas no sea suficiente para abastecer la demanda y entren en funcionamiento las bombas existentes (junio, julio y agosto). En el periodo punta de la campaña de riego se podrá bajar la potencia durante la noche pues el consumo desciende también (junio y agosto). Para el mes de Julio no se considera bajar la presión de 80 mca, aunque tal vez se pudiera en horas y días concretos.

Conforme se ha definido anteriormente en base a las bombas seleccionadas cuando la Comunidad de Regantes desee una presión de salida de salida de estación de bombeo de 60 mca y de entrada en la zona regable de 42,73 mca, la nueva estación de bombeo con las tres bombas funcionando en simultaneo proporcionarían un máximo caudal de 747 l/s. Cuando la Comunidad de Regantes fije una presión de salida de salida de estación de bombeo de 70 mca y de entrada en la zona regable de 52,73 mca, la nueva estación de bombeo con las tres bombas funcionando en simultaneo proporcionarían un máximo caudal de 642 l/s.

El ahorro energético se estimará de forma proporcional a la disminución de la altura de bombeo que se produce con las nuevas bombas frente a los 80 mca de altura de bombeo fijo actual, lo cual equivale a suponer que las bombas actuales y las futuras tienen el mismo rendimiento. Se podría haber considerado el ahorro energético que se produce por usar las bombas nuevas frente a las antiguas, por los mejores rendimientos que aportan las nuevas bombas, pero se ha preferido no hacerlo pues no se conocen los rendimientos reales de las bombas existentes y, de este modo, la estimación realizada queda del lado de la seguridad.

Para cada mes se fijará una altura de bombeo en función de las necesidades de agua (proporcional al consumo de energía) y se recoge en la siguiente tabla:

Tabla 19. Altura de bombeo para cada mes

MES	CONSUMO ACTUAL (kWh)	ALTURA DE BOMBEO FUTURA (mca)
ENERO	11.150	Sin riego
FEBRERO	9.603	Sin riego
MARZO	25.574	60 mca
ABRIL	133.699	60 mca
MAYO	366.531	63 mca (se toma 60 mca los primeros 10 días del mes y el resto del mes 70 mca)
JUNIO	735.356	80 mca menos 8 horas al día que se bombeo a 70 mca
JULIO	1.015.015	80 mca todo el mes
AGOSTO	951.703	80 mca menos 8 horas al día que se bombeo a 70 mca
SEPTIEMBRE	498.607	63 mca (se toma 60 mca los últimos 10 días del mes y el resto del mes 70 mca)
OCTUBRE	207.453	60
NOVIEMBRE	36.235	60
DICIEMBRE	15.367	Sin riego
TOTAL	**4.006.295**	**3.653.125**

Detrayendo del consumo actual (media de los años 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020), el ahorro de energía conseguido por la disminución de la altura de bombeo sería:

Tabla 20.Cálculo de ahorro de energía

MES	CONSUMO ACTUAL (kWh)	AHORRO ENERGIA (kWh)	CONSUMO FUTURO (kWh)
ENERO	11.150	0	11.150
FEBRERO	9.603	0	9.603
MARZO	25.574	6.394	19.181
ABRIL	133.699	33.425	100.274
MAYO	366.531	77.888	288.643
JUNIO	735.356	29.319	706.037
JULIO	1.015.015	0	1.015.015
AGOSTO	951.703	39.268	912.436
SEPTIEMBRE	498.607	105.954	392.653
OCTUBRE	207.453	51.863	155.590
NOVIEMBRE	36.235	9.059	27.177
DICIEMBRE	15.367	0	15.367
TOTAL	**4.006.295**	**353.170**	**3.653.125**

El ahorro de 353.170 kWh/año frente a los 4.006.295 kWh/año de consumo actual suponen un 8,82 % de ahorro de energía.

Tomando como base los datos del documento *Factores de emisión. Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono* publicado en julio de 2022 por el MITERD y la Oficina Española de Cambio Climático, los factores de emisión a aplicar y los cálculos correspondientes son los siguientes:

Tabla 21.estimación de la reducción de las emisiones de CO_2 equivalente

COMPAÑÍA	AHORRO ENERGIA (kWh/año)	FACTOR MIX (kgCO2e/kWh/año)	AHORRO EMISIONES (kgCO2e/año)
ENDESA	**353.170**	**0,258**	**91.117,86**

Por tanto, con la actuación proyectada se conseguirá una reducción de las emisiones de **91.117,86 kg CO_2e/año.**

El consumo de agua medio de la Comunidad de Regantes de Guadiana es de 10.724.850 m^3/año (consumo medio de las campañas 2018, 2019 y 2020 facilitado por la Comunidad General de Regantes del Canal de Montijo). Partiendo del consumo de energía medio actual anteriormente indicado (4.006.295 kWh/año), se obtiene que para bombear un metro cúbico de agua son necesarios 0,3736 kWh/m^3.

Tras la actuación de mejora el consumo de energía pasara a ser de 3.653.125 kWh/año. Si consideramos el mismo consumo de agua actual (10.724.850 m^3/año) se obtiene que para bombear un metro cúbico de agua son necesarios 0,3406 kWh/m^3. Por tanto, el ahorro medio obtenido será de 0,0329 kWh/m^3 (que equivale al 8,82 % de ahorro).

El ahorro energético obtenido implicará una disminución de los costes energéticos de la Comunidad de Regantes. El término de potencia no cambiará ya que no se tiene que contratar más potencia para el nuevo bombeo (pues funcionará cuando no funciona el existente) ni se puede reducir la potencia actualmente contratada (en máxima demanda el bombeo existente funcionará igual que antes de la actuación). Por tanto, el ahorro se producirá directamente por la disminución del consumo de energía (kWh).

La Comunidad de Regantes tiene un consumo discriminado en seis periodos tarifarios y al ser un riego a la demanda, el consumo se distribuye más o menos uniformemente a lo largo de dichos periodos. Los precios medios de actuales de la energía pagados son muy variables, pues la comunidad tiene un contrato indexado por lo que el precio del kWh cambia todos los días y en la factura aparecen precios medios mensuales. Para estimar los ahorros en costes energéticos actuales y futuros se puede tomar un precio de 0,15 €/kWh más IVA (0,1815 €/kWh). Con este precio del kWh, el ahorro previsto de 353.170 kWh/año implicará un ahorro económico de 64.100,36 €/año.