ANEJO 9.- CÁLCULOS HIDRÁULICOS DEL BOMBEO

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PRESENTE ANEJO 1
2 CARACTERÍSTICAS GENERALES 2
3 CÁLCULOS HIDRÁULICOS DE LAS IMPULSIONES 4
3.1 INSTALACIÓN EB SENÉS 4
3.1.1 CÁLCULO DE LA TUBERÍA DE ADMISIÓN 4
3.1.2 IMPULSIÓN A BALSA ELEVADA 4
3.1.2.1 CONSIDERACIONES EN EL DIMENSIONADO 4
3.1.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA IMPULSIÓN 5
3.1.2.3 CAUDAL DE BOMBEO DEL PISO 1 5
3.1.2.4 ALTURA MANOMÉTRICA PARA LOS EQUIPOS DE BOMBEO 5
3.1.2.5 PÉRDIDAS DE CARGA SINGULARES 5
3.1.2.6 CURVA RESISTENTE 6
3.2 INSTALACIÓN EB ROBRES 6
3.2.1 CÁLCULO DE LA TUBERÍA DE ADMISIÓN 6
3.2.2 IMPULSIÓN A BALSA INTERMEDIA. PISO 1 7
3.2.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA IMPULSIÓN 7
3.2.2.2 CAUDAL DE BOMBEO 7
3.2.2.3 ALTURA MANOMÉTRICA PARA LOS EQUIPOS DE BOMBEO 7
3.2.2.4 PÉRDIDAS DE CARGA SINGULARES 7
3.2.2.5 CURVA RESISTENTE 8
3.2.3 IMPULSIÓN A BALSA SUPERIOR. PISO 2 9
3.2.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA IMPULSIÓN 9
3.2.3.2 CAUDAL DE BOMBEO 9
3.2.3.3 ALTURA MANOMÉTRICA PARA LOS EQUIPOS DE BOMBEO 9
3.2.3.4 PÉRDIDAS DE CARGA SINGULARES 9
3.2.3.5 CURVA RESISTENTE 10
4 CÁLCULO DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO 11
4.1 PLANTEAMIENTO. 11
4.2 EB "SENÉS" 11
4.2.1 FRACCIONAMIENTO DEL BOMBEO 11
4.2.2 EQUIPO DE BOMBEO TIPO 1 11
4.2.3 EQUIPO DE BOMBEO TIPO 2 13
4.2.4 RESUMEN Y CONCLUSIONES. 14
4.2.4.1 FUNCIONAMIENTO CON ENERGÍA ELÉCTRICA 15
4.2.4.2 FUNCIONAMIENTO HÍBRIDO 15
4.3 EB "ROBRES" 15
4.3.1 BOMBEO A BALSA INTERMEDIA. PISO 1 15
4.3.1.1 FRACCIONAMIENTO DEL BOMBEO 15
4.3.1.2 EQUIPO DE BOMBEO TIPO 1 15
4.3.1.3 EQUIPO DE BOMBEO TIPO 2 17
4.3.2 BOMBEO A BALSA SUPERIOR. PISO 2 18
4.3.2.1 FRACCIONAMIENTO DEL BOMBEO 18
4.3.2.2 EQUIPO DE BOMBEO TIPO 1 19
4.3.2.3 EQUIPO DE BOMBEO TIPO 2 20
4.3.3 RESUMEN Y CONCLUSIONES. 21
4.3.3.1 FUNCIONAMIENTO CON ENERGÍA ELÉCTRICA 23
4.3.3.2 FUNCIONAMIENTO HÍBRIDO 23
5 COSTES ENERGÉTICOS. 23
5.1 COSTE USO 100% ENERGÍA RED ELÉCTRICA 23
5.2 COSTE USO ENERGÍA RED + ENERGÍA ALTERNATIVA 24
5.3 RESUMEN DEL COSTE ENERGÉTICO DE EXPLOTACIÓN 24
6 ESTUDIO TRANSITORIOS 24

APÉNDICE 1. COSTES ENERGÉTICOS
APÉNDICE 2. ESTUDIO TRANSITORIOS (INCLUYE ANEXO 0)

ANEJO 9.- CÁLCULOS HIDRÁULICOS DEL BOMBEO

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PRESENTE ANEJO

En el presente anejo, una vez determinados los parámetros agronómicos, en el Anejo N.º 3.- "Estudio Agronómico", y delimitada la zona regable objeto de estudio, en el Anejo N.º 2.- "Relación de parcelas y superficies", y por lo tanto, realizada la separación en pisos de la superficie objeto del proyecto, se procede a realizar los cálculos de los bombeos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.

Para la puesta en riego de las parcelas incluidas en el presente proyecto se prevé la implantación de un sistema de riego a la demanda, mediante redes de tuberías enterradas abastecidas desde balsas de regulación.

Debido a las diferencias topográficas de la zona regable la superficie se ha dividido en dos zonas diferenciadas, cada una de las cuales se abastecerá desde un edificio de bombas independiente, EB SENÉS y EB ROBRES. A su vez la EB SENÉS elevará el agua hasta una balsa elevada desde la que se dominará la red de riego de Senés, y la EB ROBRES, que elevará el agua a dos balsas elevadas independientes, mediante dos impulsiones independientes. Del mismo modo, desde cada una de estas balsas elevadas se dominará su correspondiente red de riego, Red de riego Baja, dominada desde la balsa Intermedia, y la red de riego Alta, dominada desde la balsa Superior.

Debido a las exigencias de proyecto toda la zona regable precisará de energía adicional y por lo tanto deberá ser abastecida con la ayuda de bombeos.

En todas las zonas se desarrollará una red de tuberías que permitirá suministrar agua desde las balsas de regulación previstas en cada uno de los pisos, de modo que las diferentes redes (Red Senés, Red Robres Baja y Red Robres Alta) será abastecida desde su correspondiente balsa elevada a través de un bombeo.

De esta forma, se proyectan 3 redes de riego para dar suministro a las 2.878,57 ha incluidas en la modernización de estas 3 zonas:

- La red Senés se abastece desde la Balsa Superior Senés. Abastece un total de 1.095,035 ha.
- La red Robres Baja, se abastece desde la Balsa Intermedia Robres. Abastece un total de 1098,377 ha.
- La red Robres Alta, se abastece desde la Balsa Superior Robres. Abastece un total de 685,1632 ha.

Las redes de distribución que se proyectan sirven para que el usuario pueda organizar el riego en parcela libremente, con unas limitaciones, garantizando una alta calidad de funcionamiento a nivel de toma. Se ha establecido, por lo tanto, un sistema de riego a la demanda con reducción de caudales utilizando el modelo R.Clement.

Para establecer unos criterios acordes con la realidad de la zona a modernizar se ha realizado un minucioso análisis del grado de parcelación y la estructura de la propiedad.

De esta forma, para la asignación de hidrantes se ha decidido recurrir a agrupaciones de varios propietarios hasta alcanzar una superficie tipo, salvo en aquellos propietarios en los que la dimensión de su explotación les permita contar con un hidrante unitario.

Para optimizar los bombeos se plantea la construcción de balsas elevadas que permitan disponer de agua para el riego las 24 horas del día, y que los bombeos solo funcionen cuando haya disponibilidad de energía solar o de energía de la red, pero solo en el periodo más económico.

La actual situación del mercado energético conlleva el análisis de fuentes energéticas distintas a las convencionales. Tras el análisis de las diferentes alternativas se concluye que la alternativa a desarrollar contemplará el suministro energético para el bombeo a balsas elevadas basado en la energía solar fotovoltaica, combinada con la energía eléctrica convencional de la red eléctrica en los periodos donde la energía sea más barata, periodos P6 de la tarifa 6.1TD, evitando consumir energía de la red en el resto de periodos.

Se plantea que el al menos el volumen equivalente a P2, entorno al 30% del volumen del mes de máximas necesidades, julio, deberá ser elevado mediante energía solar fotovoltaica.

El resto de volumen a bombear se elevará con suministro eléctrico convencional pero solo coincidiendo con el periodo 6 de la tarifa 6.1TD.

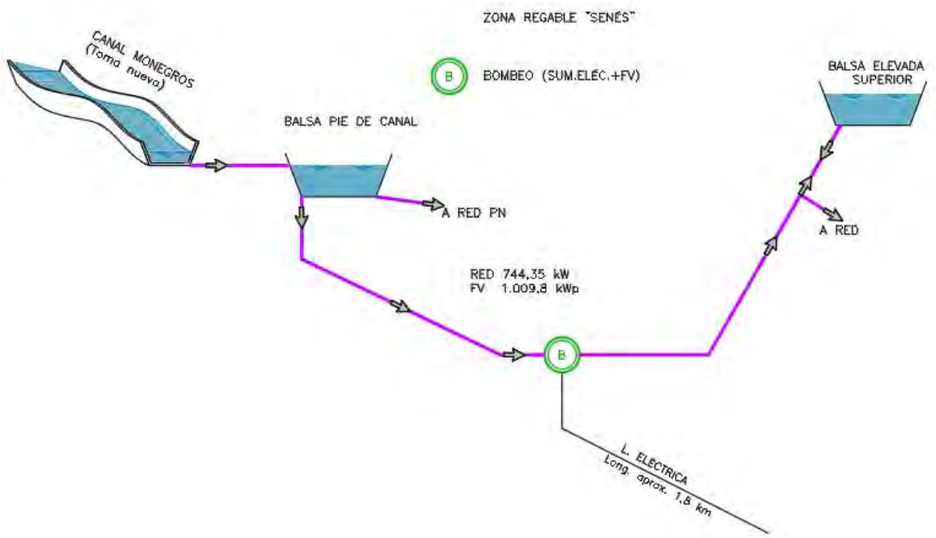
En el presente anejo se exponen las características técnicas generales de la solución adoptada relativa al bombeo, así como de las obras necesarias para su ejecución.

2 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Tal y como se indica en la introducción del presente documento el proyecto aborda la solución hidráulica diferenciando dos zonas, Zona Senés y Zona Robres, cada una de las cuales precisa de sus correspondientes tomas en el Canal, balsas de regulación, bombeos, balsas elevadas de regulación, redes de tuberías y suministro eléctrico con aporte de la red y de energía renovable de origen fotovoltaico.

A continuación, se incluyen las principales características de cada una de estas dos zonas.

ZONA SENÉS. Las obras planteadas en el presente proyecto para esta zona consistirán en:



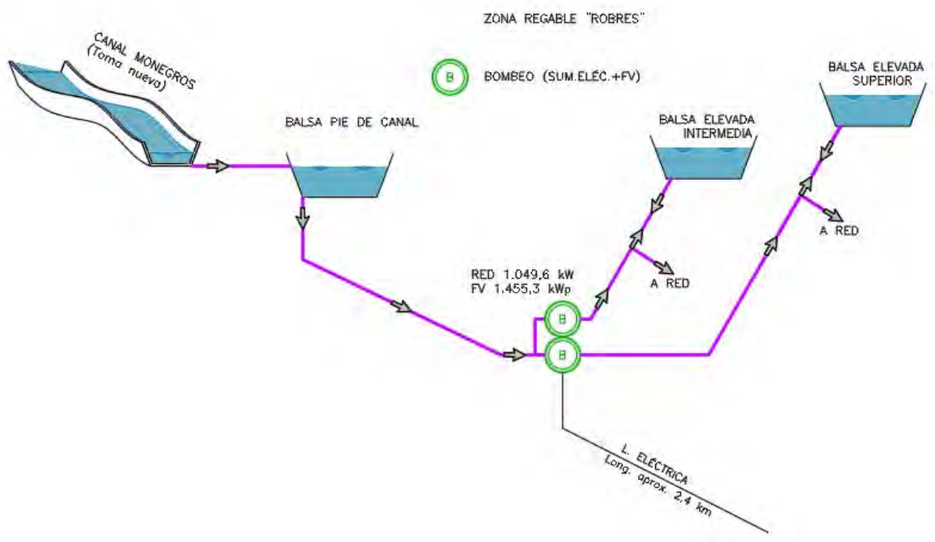
- Toma nueva en Canal de Monegros, desde la que se derivará el agua a la balsa de pie de canal de nueva ejecución, Balsa Inferior Senés.
- Balsa de pie de canal, Balsa Inferior Senés, con volumen aproximado de 98.237 m^3 y con cota NAMO 387,7 msnm, desde la que se abastece a través de una cántara al bombeo que impulsará el agua a la balsa elevada, Balsa Superior Senés.
- Tubería de conexión entre balsa a pie de canal (Balsa Inferior Senés) y Cántara de aspiración de la Estación de bombeo para admisión bombas, Acero DN 1400.
- Balsa elevada, Balsa Superior Senés, con volumen aproximado de 90.814 m^3 y con cota NAMO 439,1 msnm, desde la que se abastece la red de riego de esta zona.
- Tubería de impulsión-distribución, impulsión de balsa a pie de canal (Balsa Inferior Senés) a balsa elevada (Balsa Superior Senés), y distribución a red de riego de esta zona, 2.098 m PRFV DN 1000 PN10.
- Edificio de bombeo, con cántara de aspiración, y bombas verticales con aporte de energía eléctrica en periodo P6 de la tarifa 6.1TD combinado con energía fotovoltaica procedente de planta para autoconsumo.

  Potencia instalada: 910 kW (1x110 kW + 4x200kW),

  Es decir, una potencia total instalada de 910 kW, para una potencia absorbida de 744 kW. Abastecido desde la red eléctrica convencional y desde una instalación fotovoltaica propia para su funcionamiento híbrido de 1.009,8 kWp.
- Redes de riego. El sistema de riego planteado en las redes de riego será a la demanda, es decir se podrá regar en cualquier momento durante las 24 h/día. Abastecido desde la elevada Balsa Superior Senés, cota NAMO 439,1 msnm, con una superficie aproximada de 1.095,035ha.
- Línea eléctrica aérea de unos 1,8 km. Potencia a contratar 910 kW.
- Automatización general del sistema.
- Telecontrol a nivel de hidrante.

La solución definitiva por la que se ha optado está basada en una red de tuberías enterradas, tanto las principales como las secundarias, que darán servicio a todas y cada una de las parcelas a modernizar.

ZONA ROBRES. Las obras planteadas en el presente proyecto para esta zona consistirán en:



- Toma nueva en Canal de Monegros, desde la que se derivará el agua a la balsa de pie de canal de nueva ejecución, Balsa Inferior Robres.
- Balsa de pie de canal, Balsa Inferior Robres, con volumen aproximado de 151.959 m^3 y con cota NAMO 386,0 msnm, desde la que se abastece a través de la tubería de conexión a los dos bombeos que impulsarán el agua a sus respectivas balsas elevadas, Balsa Intermedia Robres y Balsa Superior Robres.
- Tubería de conexión entre balsa a pie de canal (Balsa Inferior Robres) y el colector de aspiración de la Estación de bombeo para admisión bombas, Acero DN 1200.
- Balsa elevada, Balsa Intermedia Robres, con volumen aproximado de 97.535 m^3 y con cota NAMO 424,0 msnm, desde la que se abastece la red de riego del piso Bajo (Piso 1) de esta zona.
- Tubería de impulsión-distribución, impulsión de balsa a pie de canal (Balsa Inferior Robres) a balsa elevada (Balsa Intermedia Robres), y distribución a red de riego de esta zona, 1.308 m PRFV DN 1000 PN10.
- Balsa elevada, Balsa Superior Robres, con volumen aproximado de 61.017 m^3 y con cota NAMO 439,1 msnm, desde la que se abastece la red de riego del piso Alto (Piso 2) de esta zona.
- Tubería de impulsión-distribución, impulsión de balsa a pie de canal (Balsa Inferior Robres) a balsa elevada (Balsa Superior Robres), y distribución a red de riego de esta zona, 1.588 m PRFV DN 800 PN10.
- Edificio de bombeo, con dos líneas de bombas independientes, con aporte de energía eléctrica en periodo P6 de la tarifa 6.1TD combinado con energía fotovoltaica procedente de planta para autoconsumo.

  Potencia instalada:

  - Bombeo a Balsa Intermedia Robres: 618 kW (1x90kW + 4x132kW),
  - Bombeo a Balsa Superior Robres: 590 kW (1x110kW + 3x160kW),

  Es decir, una potencia total instalada de 1.208 kW, para una potencia absorbida de 1.045 kW. Abastecido desde la red eléctrica convencional y desde una instalación fotovoltaica propia para su funcionamiento híbrido de 1.455,3 kWp.
- Redes de riego.
  - El sistema de riego planteado en las redes de riego será a la demanda, es decir se podrá regar en cualquier momento durante las 24 h/día.
  - Piso 1 abastecido desde la Balsa Intermedia Robres, cota 424,0 msnm, con una superficie aproximada de 1098,377 ha.
  - Piso 2, abastecido desde la Balsa Superior Robres, cota 439,1 msnm, con una superficie aproximada 685,1632 ha.
- Línea eléctrica aérea de unos 2,4 km. Potencia a contratar 1.400 kW.
- Automatización general del sistema.
- Telecontrol a nivel de hidrante.

La solución definitiva por la que se ha optado está basada en una red de tuberías enterradas, tanto las principales como las secundarias, que darán servicio a todas y cada una de las parcelas a modernizar.

3 CÁLCULOS HIDRÁULICOS DE LAS IMPULSIONES

En el presente aparatado se analizan las condiciones de funcionamiento de las elevaciones previstas en los dos edificios de bombeo proyectados, EB Senés y EB Robres.

3.1 INSTALACIÓN EB SENÉS

3.1.1 CÁLCULO DE LA TUBERÍA DE ADMISIÓN

En el siguiente apartado se procede a dimensionar la Tubería de conexión entre balsa a pie de canal (Balsa Inferior Senés) y la cántara de la Estación de bombeo para admisión de las bombas.

El caudal de transporte de esta tubería será igual al caudal a impulsar a la balsa Balsa Superior Senés, siendo el dimensionado teórico para caudal ficticio continuo con limitación horaria de 123 horas semanales, que engloban las horas solares aprovechables y las disponibles en el periodo P6 de la tarifa 6.1TD.

Atendiendo al caudal justificados para este bombeo en el punto 3.2.3, el caudal de la tubería de admisión del bombeo es de 1.061,92 l/s. Dicho esto, las características de la conducción de toma, que conducirá el agua desde la Balsa Inferior Senés hasta el bombeo, serán las siguientes:

- Diámetro: ..... 1400 mm
- Material: .....AH S275 JR DN 1.420 e=10mm
- Longitud: ..... 57,63 m

Formulación

Para verificar la funcionalidad de este elemento, se determinó la pérdida de carga de esta conducción en el caso de que funcionara "en carga", mediante la fórmula de Darcy-Weisbach de expresión:

$$H_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2*g}$$

Donde:

Hf = Pérdida de carga en mca.

f = Factor de fricción (adimensional).

L = Longitud del tramo en m.

D = Diámetro interior de la tubería en m.

V = Velocidad de la tubería en m/s.

g = Aceleración de la gravedad 9,8 m/s^2.

El factor de fricción se ha calculado por la fórmula de White Colebrook, de expresión:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{2{,}51}{\mathrm{Re}\sqrt{f}} + \frac{Ka}{3{,}71D}\right)$$

Donde:

Re = Nº de Reynolds.

Ka = Coeficiente de rugosidad absoluta. Se ha considerado Ka = 0,01 mm para las tuberías de PRFV.

Obteniéndose los siguientes resultados:

DN	Vel (m/s)	PdC (m)
1400	0,69	0,015

3.1.2 IMPULSIÓN A BALSA ELEVADA

A continuación, se describen los equipos y los parámetros a tener en cuenta para el bombe a la balsa elevada para toda la superficie.

3.1.2.1 CONSIDERACIONES EN EL DIMENSIONADO

Las bombas proyectadas trabajarán dentro de un rango de funcionamiento variable, en función del número de bombas que estén en marcha y de los niveles de agua existentes entre la balsa inferior y las balsas elevadas. Estas situaciones darán lugar a alturas manométricas diferentes y por tanto puntos diferentes de trabajo en la curva característica de la bomba.

Para la determinación del punto de funcionamiento de los equipos de bombeo, se ha utilizado la situación más probable relativa al estado de llenado de la balsa elevada, encontrándose esta a 1/2 de capacidad al igual que la balsa inferior que se encuentra al 1/2 de su altura máxima y la pérdida de carga del bombeo, considerando el funcionamiento de todos los equipos simultáneamente.

Paralelamente se ha comprobado el funcionamiento de los equipos para las condiciones extremas definidas por:

- Máxima resistencia: obtenida a partir de la curva resistente de la impulsión con la balsa elevada en su nivel máximo de explotación y con la balsa inferior prácticamente en su nivel mínimo.
- Mínima resistencia: obtenido a partir de la curva resistente de la impulsión con la balsa inferior llena y la balsa elevada en su nivel mínimo de explotación.

3.1.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA IMPULSIÓN

Tal y como se ha mencionado anteriormente la tubería de Impulsión servirá a su vez como parte de la infraestructura de distribución de la Red de riego del Piso 1. Así pues, el trazado previsto para la Impulsión a la balsa elevada 1 estará compuesto por una tubería con las siguientes características:

- Longitud: ..... 2.098 m
- Tubería: ..... PRFV DN 1.000 PN10.
- Rugosidad (K): ..... 0,01 mm

3.1.2.3 CAUDAL DE BOMBEO DEL PISO 1

El caudal de diseño máximo de bombeo se ha determinado considerando solo la demanda del piso 1, que son los bombeados a la balsa Elevada, para el mes de mayores necesidades (julio) y para las horas previstas de funcionamiento de las bombas, fijadas en 123 h/semanales (P6+Fotovoltaica).

- Superficie estimada total: ..... 1.095 Ha 03 a 50 ca
- Necesidades diarias del mes de julio: ..... 2.090.460,64 m^3/día
- Caudal Ficticio continuo (julio): ..... 0,71 l/s y ha = 1.909,04 l/s
- Horas de funcionamiento (P6+FV): ..... 123 h/semana
- Caudal bombeo (P6+FV): ..... 1.061,92 l/s

3.1.2.4 ALTURA MANOMÉTRICA PARA LOS EQUIPOS DE BOMBEO

Para el dimensionamiento de los equipos de bombeo a instalar en la Estación de bombeo se han considerado los siguientes parámetros:

Cota N.A.M.O Balsa Inferior	387,70 m.s.n.m.
Cota de Fondo Balsa Inferior	382,70 m.s.n.m.
Cota N.A.M.O Balsa Elevada	439,10 m.s.n.m.
Cota de Fondo Balsa Elevada	435,00 m.s.n.m.

Tal y como se desprende de los parámetros indicados anteriormente, los equipos de bombeo deben estar previstos para un funcionamiento adecuado dentro del rango de alturas manométricas derivadas de los diferentes niveles posibles de almacenamiento de ambas balsas.

3.1.2.5 PÉRDIDAS DE CARGA SINGULARES

Para la determinación de la curva resistente del sistema se han considerado una serie de **pérdidas de carga sobre los elementos singulares** y del propio trazado de la tubería (valvulería y piezas de calderería como puedan ser codos y Tes) que se estima en un 10% adicional a aplicar sobre las pérdidas de carga generadas por el caudal en cada una de las hipótesis analizadas.

Formulación.

Para verificar la funcionalidad de este elemento, se determinó la pérdida de carga de esta conducción en el caso de que funcionara "en carga", mediante la fórmula de Darcy-Weisbach:

$$H_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

Donde:

- Hf = Pérdida de carga en m.c.a..
- f = Factor de fricción (adimensional).
- L = Longitud del tramo en m.
- D = Diámetro interior de la tubería en m.
- V = Velocidad de la tubería en m/seg.
- g = Aceleración de la gravedad 9,8 m/seg^2.

El factor de fricción se ha calculado por la fórmula de White Colebrook, de expresión:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{2{,}51}{\mathrm{Re}\sqrt{f}} + \frac{Ka}{3{,}71D}\right)$$

Donde:

- Re = Núm. de Reynolds.
- Ka = Coeficiente de rugosidad absoluta.
- (Ka = 0,01 mm para las tuberías de PRFV)

Obteniéndose los siguientes resultados:

Diámetro	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Hf (mca)
1.000	1.061,92	1,35	2,20

De esta forma, el valor total considerado en la pérdida de carga para la impulsión en la conducción será de 2,20 m.c.a en la situación de diseño, además de considerar por otro lado, los 4,00 m.c.a para las pérdidas del bombeo (admisión, bombeo y filtrado). Las pérdidas de carga que se dan en la impulsión y en la valvulería pueden cambiar en función de la hipótesis estudiada, a continuación se presentan las tres hipótesis valoradas y los datos de estas.

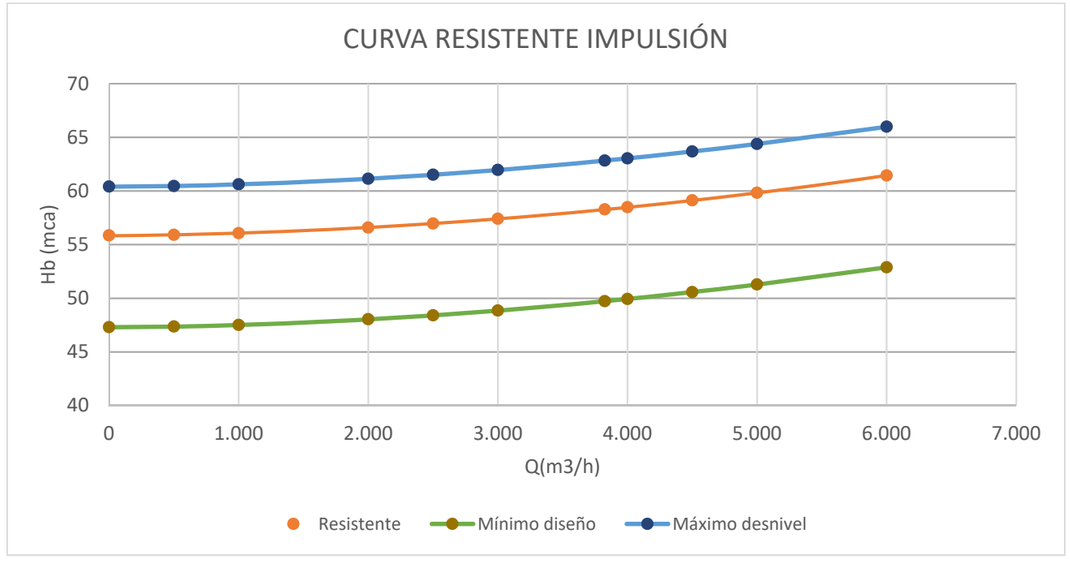
Pérdidas de Carga	DISEÑO	Mínima Resistencia	Máxima Resistencia
Admisión, Estación de bombeo y Filtrado:	4,00 mca	0 mca	4,00 mca
Tubería Impulsión:	+10% s/PC en tramo para la tubería		

3.1.2.6 CURVA RESISTENTE

Tomando en consideración lo expuesto anteriormente la situación previa establecida en la determinación de la curva resistente en cada una de las tres situaciones estudiada será:

Pérdidas de Carga	DISEÑO	Mínima Resistencia	Máxima Resistencia
Cota Balsa Inferior:	385,2	387,7	382,7
Cota Balsa Elevada:	437,05	435,0	439,1
Diferencia de cota:	51,85	47,3	56,4
PC Bombeo:	4,00	0	4,00
TOTAL P.C. Fija:	**55,85**	**47,3**	**60,4**
TOTAL P.C. Variable:	Pérdidas de Carga lineales + 10% adicional por Pérdidas de Carga singulares		

Y la curva para los diferentes caudales impulsados será:



Aplicando las pérdidas de carga de la impulsión a los escenarios analizados obtendremos los siguientes puntos de funcionamiento:

	Diseño	**Min**	**Max**
Cota Balsa Inferior:	385,2	387,7	382,7
Cota Balsa Elevada:	437,05	435,0	439,1
Diferencia de cota:	51,85	47,3	56,4
PC Admin, filtro y Bombeo:	4,00	-	4,00
PdC tubería	2,42	-	2,423
Bombeo	**58,27**	**47,3**	**66,82**

3.2 INSTALACIÓN EB ROBRES

3.2.1 CÁLCULO DE LA TUBERÍA DE ADMISIÓN

En el siguiente apartado se procede a dimensionar la Tubería de conexión entre balsa a pie de canal (Balsa Inferior Robres) y la cántara de la Estación de bombeo para admisión de las bombas.

El caudal de transporte de esta tubería será la suma del caudal a elevar a la Balsa Intermedia Robres y Balsa Superior Robres, siendo el dimensionado teórico para caudal ficticio continuo con limitación horaria de 123 horas semanales, que engloban las horas solares aprovechables y las disponibles en el periodo P6 de la tarifa 6.1TD.

Atendiendo al caudal justificados para este bombeo en el punto 3.2.2.2 y 3.2.3.2, el caudal de la tubería de admisión del bombeo es de 1.729,6 l/s (1.065,16+664,44 l/s). Dicho esto, las características de la conducción de toma, que conducirá el agua desde la Balsa Inferior Robres hasta el bombeo, serán las siguientes:

- Diámetro: .....1200 mm
- Material: ..... PRFV DN 1.200 PN10
- Longitud: ..... 148 m

Formulación

Para verificar la funcionalidad de este elemento, se determinó la pérdida de carga de esta conducción en el caso de que funcionara "en carga", mediante la fórmula de Darcy-Weisbach de expresión:

$$H_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2*g}$$

Donde:

Hf = Pérdida de carga en mca.

f = Factor de fricción (adimensional).

L = Longitud del tramo en m.

D = Diámetro interior de la tubería en m.

V = Velocidad de la tubería en m/s.

g = Aceleración de la gravedad 9,8 m/s^2.

El factor de fricción se ha calculado por la fórmula de White Colebrook, de expresión:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{2{,}51}{\mathrm{Re}\sqrt{f}} + \frac{Ka}{3{,}71D}\right)$$

Donde:

Re = Nº de Reynolds.

Ka = Coeficiente de rugosidad absoluta. Se ha considerado Ka = 0,01 mm para las tuberías de PRFV.

Obteniéndose los siguientes resultados:

DN	Vel (m/s)	PdC (m)
1200	1,53	0,132

3.2.2 IMPULSIÓN A BALSA INTERMEDIA. PISO 1

3.2.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA IMPULSIÓN

Tal y como se ha mencionado anteriormente la tubería de Impulsión servirá a su vez como parte de la infraestructura de distribución de la Red de riego del Piso Bajo (Piso 1). Así pues, el trazado previsto para la Impulsión a la balsa elevada (Balsa Intermedia Robres) estará compuesto por una tubería con las siguientes características:

- Longitud: ..... 1.308 m
- Tubería: ..... PRFV DN 1000 PN10
- Rugosidad (K): ..... 0,01 mm

3.2.2.2 CAUDAL DE BOMBEO

El caudal de diseño máximo de bombeo se ha determinado considerando solo la demanda del piso 1, que son los bombeados a la balsa Elevada, para el mes de mayores necesidades (julio) y para las horas previstas de funcionamiento de las bombas, fijadas en 123 h/semanales (P6+Fotovoltaica).

- Superficie estimada total: ..... 1.098 Ha 37 a 70 ca
- Necesidades diarias del mes de julio: ..... 2.096.840,64 m^3/día
- Caudal Ficticio continuo (julio): ..... 0,71 l/s y ha = 1.909,04 l/s
- Horas de funcionamiento (P6+FV): ..... 123 h/semana
- Caudal bombeo (P6+FV): ..... 1.065,16 l/s

3.2.2.3 ALTURA MANOMÉTRICA PARA LOS EQUIPOS DE BOMBEO

Para el dimensionamiento de los equipos de bombeo a instalar en la Estación de bombeo se han considerado los siguientes parámetros:

Cota N.A.M.O Balsa Inferior	386,00 m.s.n.m.
Cota de Fondo Balsa Inferior	381,00 m.s.n.m.
Cota N.A.M.O Balsa Elevada	424,00 m.s.n.m.
Cota de Fondo Balsa Elevada	417,00 m.s.n.m.

Tal y como se desprende de los parámetros indicados anteriormente, los equipos de bombeo deben estar previstos para un funcionamiento adecuado dentro del rango de alturas manométricas derivadas de los diferentes niveles posibles de almacenamiento de ambas balsas.

3.2.2.4 PÉRDIDAS DE CARGA SINGULARES

Para la determinación de la curva resistente del sistema se han considerado una serie de **pérdidas de carga sobre los elementos singulares** y del propio trazado de la tubería (valvulería y piezas de calderería como puedan ser codos y Tes) que se estima en un 10% adicional a aplicar sobre las pérdidas de carga generadas por el caudal en cada una de las hipótesis analizadas.

Formulación

Para verificar la funcionalidad de este elemento, se determinó la pérdida de carga de esta conducción en el caso de que funcionara "en carga", mediante la fórmula de Darcy-Weisbach:

Donde:

$$H_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

- Hf = Pérdida de carga en m.c.a..
- f = Factor de fricción (adimensional).
- L = Longitud del tramo en m.
- D = Diámetro interior de la tubería en m.
- V = Velocidad de la tubería en m/seg.
- g = Aceleración de la gravedad 9,8 m/seg^2.

El factor de fricción se ha calculado por la fórmula de White Colebrook, de expresión:

Donde:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{2{,}51}{\mathrm{Re}\sqrt{f}} + \frac{Ka}{3{,}71D}\right)$$

- Re = Núm. de Reynolds.
- Ka = Coeficiente de rugosidad absoluta.
- (Ka = 0,01 mm para las tuberías de PRFV)

Obteniéndose los siguientes resultados:

Diámetros	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Hf (mca)
1,0	1.065,16	1,36	1,38

De esta forma, el valor total considerado en la pérdida de carga para la impulsión en la conducción será de 1,38 m.c.a en la situación de diseño, además de considerar por otro lado, los 4,00 m.c.a para las pérdidas del bombeo (admisión, bombeo y filtrado). Las pérdidas de carga que se dan en la impulsión y en la valvulería pueden cambiar en función de la hipótesis estudiada, a continuación se presentan las tres hipótesis valoradas y los datos de estas.

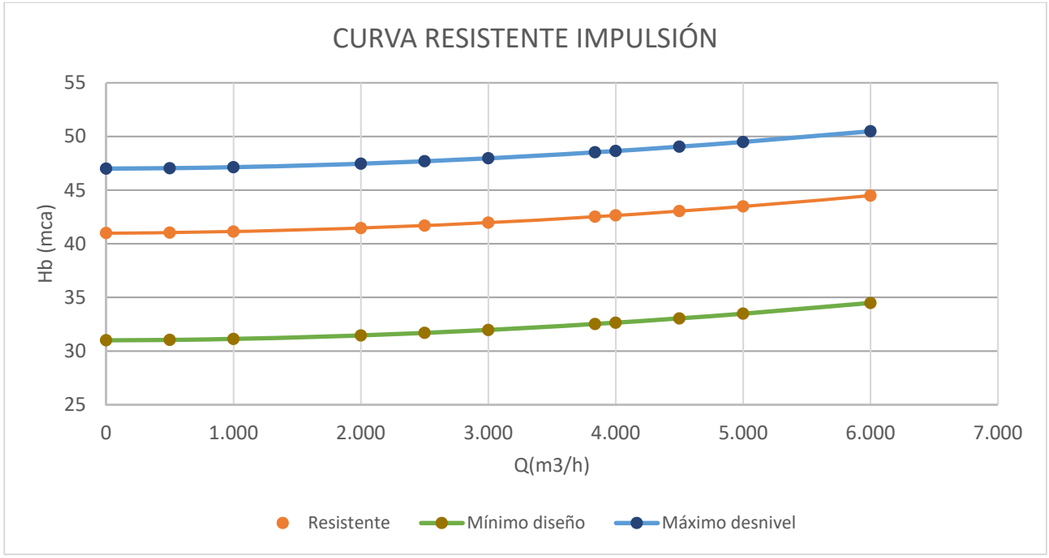
Pérdidas de Carga	DISEÑO	Mínima Resistencia	Máxima Resistencia
Admisión, Estación de bombeo y Filtrado:	4,00 mca	0 mca	4,00 mca
Tubería Impulsión:	+10% s/PC en tramo para la tubería		

3.2.2.5 CURVA RESISTENTE

Tomando en consideración lo expuesto anteriormente la situación previa establecida en la determinación de la curva resistente en cada una de las tres situaciones estudiada será:

Pérdidas de Carga	DISEÑO	Mínima Resistencia	Máxima Resistencia
Cota Balsa Inferior:	383,5	386,0	381,0
Cota Balsa Elevada:	420,5	417,0	424,0
Diferencia de cota:	37,0	31,0	43,0
PC Bombeo:	4,00	0	4,00
TOTAL P.C. Fija:	**41,0**	**31,0**	**47,0**
TOTAL P.C. Variable:	Pérdidas de Carga lineales + 10% adicional por Pérdidas de Carga singulares		

Y la curva para los diferentes caudales impulsados será:



Aplicando las pérdidas de carga de la impulsión a los escenarios analizados obtendremos los siguientes puntos de funcionamiento:

	Diseño	**Min**	**Max**
Cota Balsa Inferior:	383,5	386,0	381,0
Cota Balsa Elevada:	420,5	417,0	424,0
Diferencia de cota:	37,0	31,0	43,0
PC Admin, filtro y Bombeo:	4,00	-	4,00
PdC tubería	1,52	-	1,52
Bombeo	**42,52**	**31,0**	**48,52**

3.2.3 IMPULSIÓN A BALSA SUPERIOR. PISO 2

3.2.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA IMPULSIÓN

Tal y como se ha mencionado anteriormente la tubería de Impulsión servirá a su vez como parte de la infraestructura de distribución de la Red de riego del Piso Alto (Piso 2). Así pues, el trazado previsto para la Impulsión a la balsa elevada (Balsa Superior Robres) estará compuesto por una tubería con las siguientes características:

- Longitud: ..... 1.588 m
- Tubería: ..... PRFV DN 800 PN10
- Rugosidad (K): ..... 0,01 mm

3.2.3.2 CAUDAL DE BOMBEO

El caudal de diseño máximo de bombeo se ha determinado considerando solo la demanda del Piso Alto (Piso 2), que son los bombeados a la balsa Elevada, para el mes de mayores necesidades (julio) y para las horas previstas de funcionamiento de las bombas, fijadas en 123 h/semanales (P6+Fotovoltaica).

- Superficie estimada total: ..... 685 Ha 16 a 32 ca
- Necesidades diarias del mes de julio: ..... 1.308.000,84 m^3/día
- Caudal Ficticio continuo (julio): ..... 0,71 l/s y ha = 1.909,04 l/s
- Horas de funcionamiento (P6+FV): ..... 123 h/semana
- Caudal bombeo (P6+FV): ..... 664,44 l/s

3.2.3.3 ALTURA MANOMÉTRICA PARA LOS EQUIPOS DE BOMBEO

Para el dimensionamiento de los equipos de bombeo a instalar en la Estación de bombeo se han considerado los siguientes parámetros:

Cota N.A.M.O Balsa Inferior	386,00 m.s.n.m.
Cota de Fondo Balsa Inferior	381,00 m.s.n.m.
Cota N.A.M.O Balsa Elevada	439,10 m.s.n.m.
Cota de Fondo Balsa Elevada	435,00 m.s.n.m.

Tal y como se desprende de los parámetros indicados anteriormente, los equipos de bombeo deben estar previstos para un funcionamiento adecuado dentro del rango de alturas manométricas derivadas de los diferentes niveles posibles de almacenamiento de ambas balsas.

3.2.3.4 PÉRDIDAS DE CARGA SINGULARES

Para la determinación de la curva resistente del sistema se han considerado una serie de **pérdidas de carga sobre los elementos singulares** y del propio trazado de la tubería (valvulería y piezas de calderería como puedan ser codos y Tes) que se estima en un 10% adicional a aplicar sobre las pérdidas de carga generadas por el caudal en cada una de las hipótesis analizadas.

Formulación

Para verificar la funcionalidad de este elemento, se determinó la pérdida de carga de esta conducción en el caso de que funcionara "en carga", mediante la fórmula de Darcy-Weisbach:

$$H_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

Donde:

- Hf = Pérdida de carga en m.c.a..
- f = Factor de fricción (adimensional).
- L = Longitud del tramo en m.
- D = Diámetro interior de la tubería en m.
- V = Velocidad de la tubería en m/seg.
- g = Aceleración de la gravedad 9,8 m/seg^2.

El factor de fricción se ha calculado por la fórmula de White Colebrook, de expresión:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{2{,}51}{\mathrm{Re}\sqrt{f}} + \frac{Ka}{3{,}71D}\right)$$

Donde:

- Re = Núm. de Reynolds.
- Ka = Coeficiente de rugosidad absoluta.
- (Ka = 0,01 mm para las tuberías de PRFV)

Obteniéndose los siguientes resultados:

Diámetros	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Hf (mca)
0,8	664,44	1,32	2,08

De esta forma, el valor total considerado en la pérdida de carga para la impulsión en la conducción será de 2,08 m.c.a en la situación de diseño, además de considerar por otro lado, los 4,00 m.c.a para las pérdidas del bombeo (admisión, bombeo y filtrado). Las pérdidas de carga que se dan en la impulsión y en la valvulería pueden cambiar en función de la hipótesis estudiada, a continuación se presentan las tres hipótesis valoradas y los datos de estas.

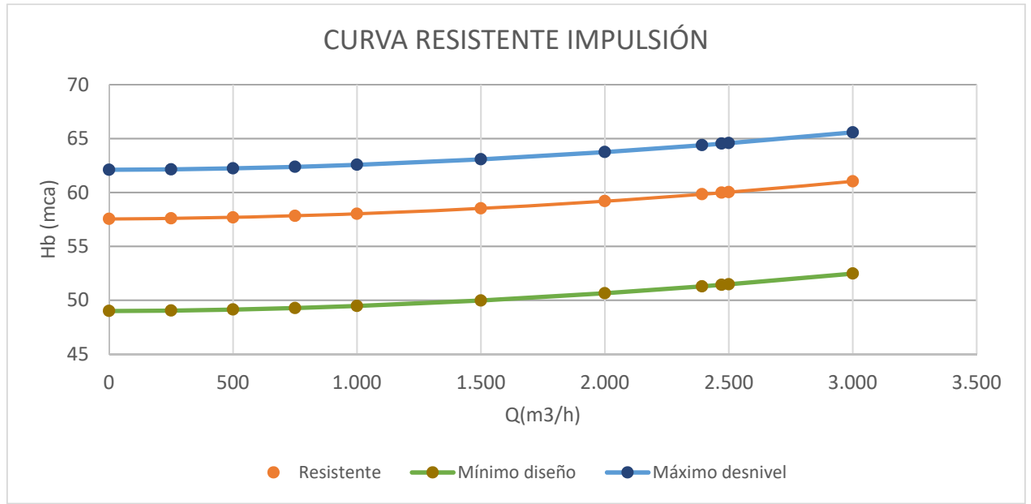
Pérdidas de Carga	DISEÑO	Mínima Resistencia	Máxima Resistencia
Admisión, Estación de bombeo y Filtrado:	4,00 mca	0 mca	4,00 mca
Tubería Impulsión:	+10% s/PC en tramo para la tubería		

3.2.3.5 CURVA RESISTENTE

Tomando en consideración lo expuesto anteriormente la situación previa establecida en la determinación de la curva resistente en cada una de las tres situaciones estudiada será:

Pérdidas de Carga	DISEÑO	Mínima Resistencia	Máxima Resistencia
Cota Balsa Inferior:	383,5	386,0	381,0
Cota Balsa Elevada:	437,05	435,0	439,1
Diferencia de cota:	53,55	49,0	58,1
PC Bombeo:	4,00	-	4,00
TOTAL P.C. Fija:	**57,55**	**49,0**	**62,1**
TOTAL P.C. Variable:	Pérdidas de Carga lineales + 10% adicional por Pérdidas de Carga singulares		

Y la curva para los diferentes caudales impulsados será:



Aplicando las pérdidas de carga de la impulsión a los escenarios analizados obtendremos los siguientes puntos de funcionamiento:

	Diseño	**Min**	**Max**
Cota Balsa Inferior:	383,5	386,0	381,0
Cota Balsa Elevada:	437,05	435,0	439,1
Diferencia de cota:	53,55	49,0	58,1
PC Admin, filtro y Bombeo:	4,00	-	4,00
PdC tubería	2,28	-	2,28
Bombeo	**59,83**	**49,0**	**64,38**

4 CÁLCULO DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO

4.1 PLANTEAMIENTO.

En este apartado se procede al dimensionamiento de las características de los equipos electromecánicos a instalar en las Estaciones de Bombeo previstas.

Para la estimación de los equipos de bombeo a instalar en la impulsión a balsa se cuenta con el valor del caudal obtenido en los apartados anteriores así como la altura manométrica que se calcula en apartados anteriores para cada una de las impulsiones.

Se plantea el fraccionamiento de los bombeos para una mejor optimización de los mismos, adaptándose mejor a la energía fotovoltaica disponible, maximizando el rendimiento hidráulico de los equipos, y a su vez, permitiendo adaptarse a las necesidades de la demanda a lo largo de la campaña y no condenar toda la instalación ante eventuales averías o mantenimiento.

4.2 EB "SENÉS"

En este apartado se procede al dimensionamiento de las características de los equipos electromecánicos a instalar en el colector del bombeo a la balsa elevada, Balsa Superior Senés, en la Estación de Bombeo prevista.

4.2.1 FRACCIONAMIENTO DEL BOMBEO

Tras el estudio de diferentes combinaciones, se plantea la instalación de un total de 4+1 bombas alimentadas mediante energía fotovoltaica y/o energía convencional para el periodo energético tarifario P6 de la tarifa 6.1TD. En este caso el dimensionado del bombeo se establece para el funcionamiento de las 4+1 bombas, 1.061,92 l/s.

Para mejorar las condiciones de funcionamiento del conjunto ante las previsibles variaciones en la disponibilidad energética y de la demanda de la red se prevé un fraccionamiento del bombeo, planteándose la instalación de un total de cinco bombas (4+1):

- Una bomba pequeña (tipo 1) de 118,56 l/s (425 m^3/h) a 58,27 m.c.a., con caudal mínimo de 38,89 l/s (140 m^3/h), accionada mediante variador de frecuencia solar híbrido de forma que pueda trabajar a 47,3 mca con el mismo caudal, y a 66,82 mca con algo menos del caudal nominal, y que a su vez sea capaz de trabajar al menor caudal posible para maximizar el aprovechamiento de la energía fotovoltaica disponible.
- Cuatro bombas grandes (tipo 2), que impulsarán un caudal de hasta 236,11 l/s (850 m^3/h) a 58,27 m.c.a., cada una. Todas ellas reguladas mediante variador de frecuencia solar híbrido de forma que pueda trabajar a 47,3 mca con el mismo caudal, y a 66,82 mca con algo menos del caudal nominal, y a su vez serán capaces de solaparse con los otros equipos con rendimientos hidráulicos elevados.

Al estar accionados por variador de frecuencia solar híbrido todos los equipos serán capaces de trabajar correctamente en todo el rango de funcionamiento posible, es decir entre los 47,3 mca de la situación más favorable y los 66,82mca de la situación más desfavorable, y de garantizar estos puntos de funcionamiento para el caudal mínimo de cada equipo, garantizando así el solape entre ellos.

4.2.2 EQUIPO DE BOMBEO TIPO 1

Este equipo de bombeo consta de una bomba pequeña. Esta bomba tipo 1 será la que se accionará en primera instancia, para permitir un inicio del bombeo más progresivo. Además, con esta bomba de pequeñas dimensiones, conseguimos un mayor aprovechamiento de la energía fotovoltaica disponible, pudiéndose accionar en otros momentos para complementar a los otros equipos, tal y como puede verse en la secuencia de funcionamiento del apartado resumen.

A continuación se refleja el punto de funcionamiento para el bombeo en la situación de diseño, balsas en nivel medio. Así pues, el caudal a impulsar por cada bomba según la curva facilitada por el fabricante será de 118,56 l/s a 58,27m.c.a. En el gráfico se indica el caudal mínimo de 38,89 l/s para esta misma altura.

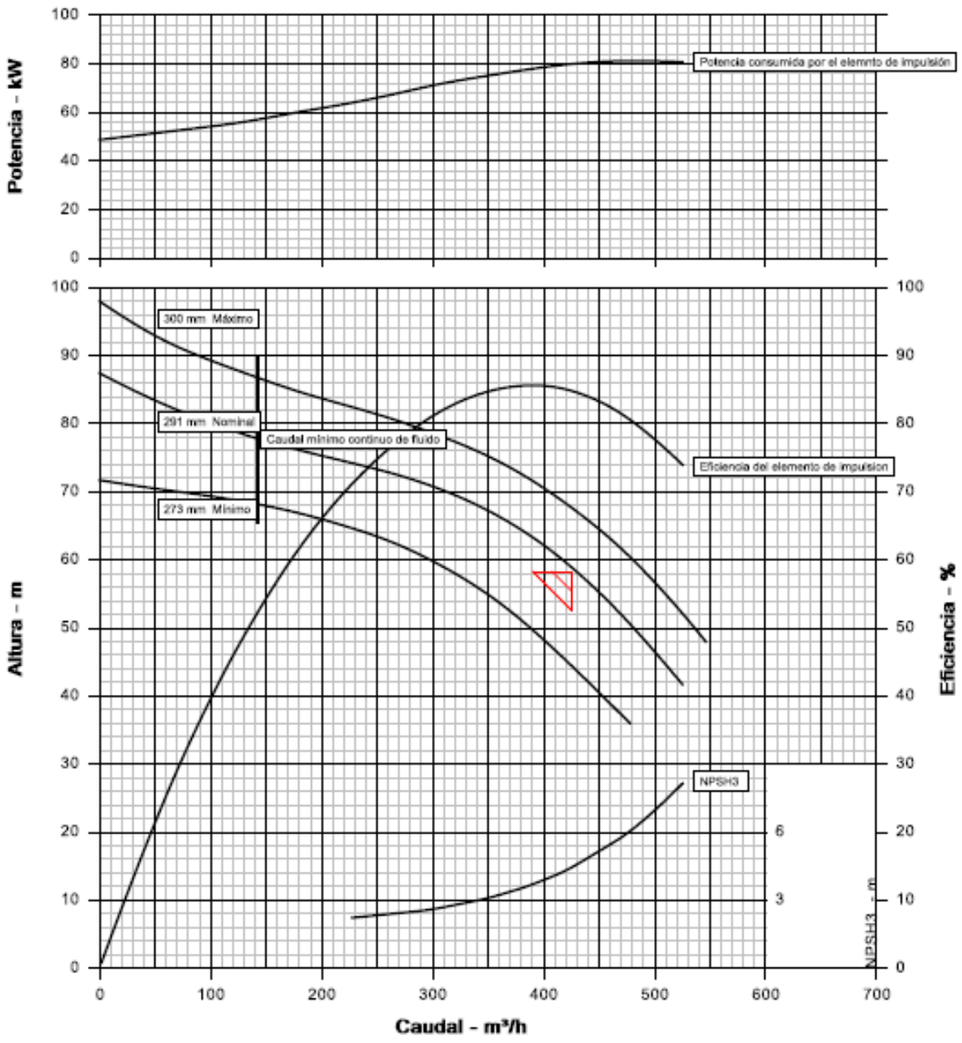
Para este punto tendremos:

- Rendimiento de la Bomba ..... 85,2 %
- Rendimiento del Motor..... 95 %
- Altura Manométrica de Bombeo (Hm):..... 58,27 mca

$$\text{Potencia absorbida} = \frac{118{,}56\ (l/s) \times 58{,}27 (mca)}{75 \times 0{,}852 \times 0{,}95} = \text{ 113,8 C.V (83,76 kW)}$$

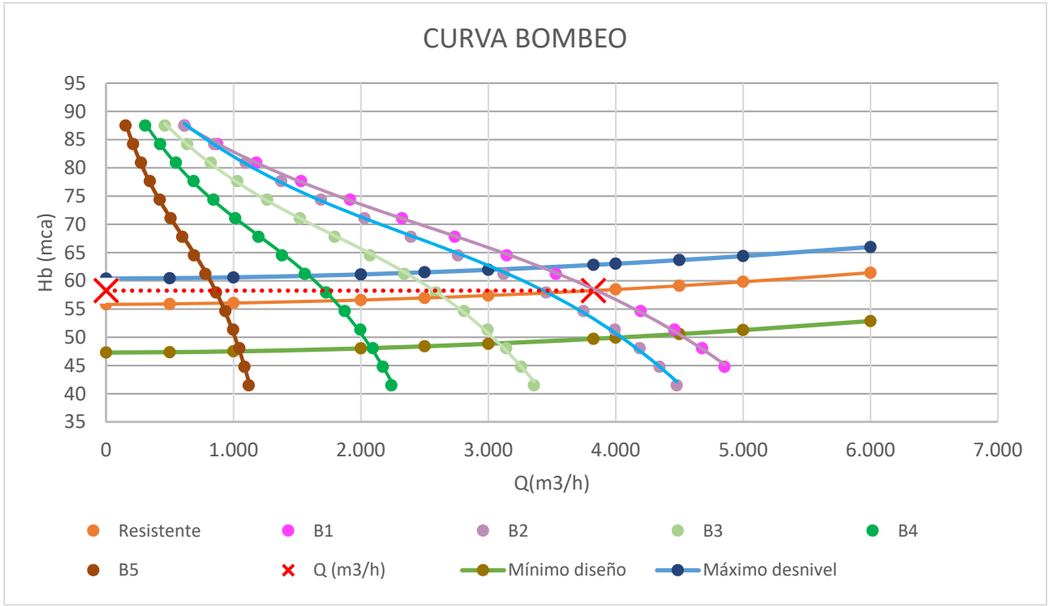
Siendo la potencia hidráulica requerida al eje motor de 79,57 kW.

Figura 1. ***Curva de la bomba funcionamiento en situación media. TIPO 1***



Se dimensiona un equipo de bombeo vertical sumergido capaz de proporcionar 118,56 l/s a una altura de 58,27 m.c.a., accionados mediante motor eléctrico de 110 kW, 50 Hz 400 V a 1480 rpm, accionado por variador de frecuencia híbrido específico para funcionamiento solar. Además, deberá ser capaz de cubrir el rango entre los 38,89 l/s y los 118,56l/s previstos con rendimientos de cuerdo a la curva anterior.

Del mismo modo se comprueban las situaciones extremas para los equipos en la curva nominal del motor ante la variación de niveles en balsas y diferentes situaciones de explotación, comprobando el correcto funcionamiento de la bomba elegida a dichas situaciones.



Punto de funcionamiento	Q unitario (m^3/h)	Hman m.c.a.	Rendimiento %	Sumergencia mínima (m)	P absorbida (kW)	P motor seleccionada (kW)
Punto diseño	425	58,27	86,0	0,813	83,76	110 kW (1uds)
Punto mínima resistencia	495	47,3	79,0		85,04	
Punto máxima resistencia	350	66,82	84,5		79,42	

4.2.3 EQUIPO DE BOMBEO TIPO 2

Este equipo de bombeo consta de cuatro bombas iguales. Esta bomba tipo 2 será la que se accionará una vez que la bomba pequeña llegue al 100 % y haya disponibilidad de energía adicional para accionar más bombas. En este momento la bomba tipo 1 saldrá del sistema temporalmente.

A continuación se refleja el punto de funcionamiento para el bombeo en la situación de diseño, balsas en nivel medio. Así pues, el caudal a impulsar por cada bomba según la curva facilitada por el fabricante será de 236,11 l/s a 58,27m.c.a. En el gráfico se indica el caudal mínimo de 118,56 l/s para esta misma altura.

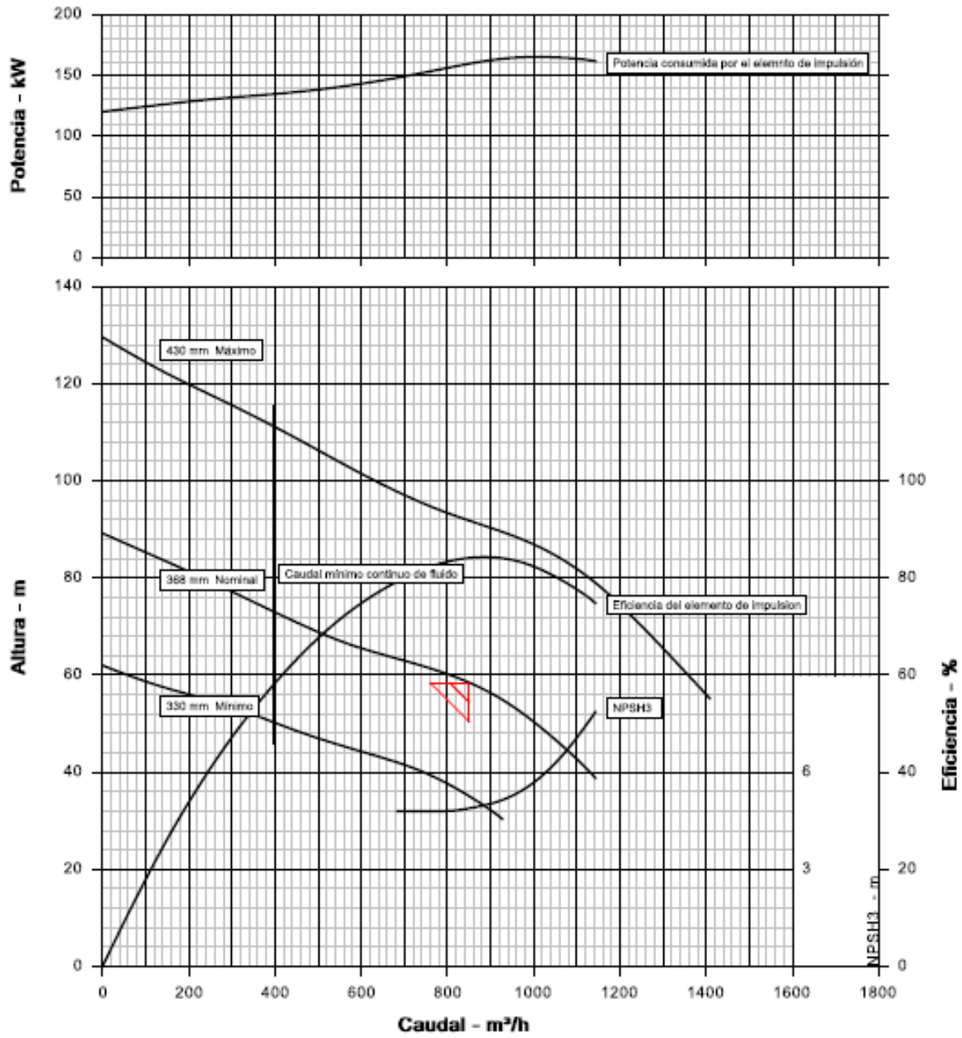
Para este punto tendremos:

- Rendimiento de la Bomba ..... 83,8 %
- Rendimiento del Motor..... 95 %
- Altura Manométrica de Bombeo (Hm):..... 58,27 mca

$$\text{Potencia absorbida} = \frac{236{,}11\ (l/s) \times 58{,}27 (mca)}{75 \times 0{,}838 \times 0{,}95} = 230{,}43 \text{ C.V (169,59 kW)}$$

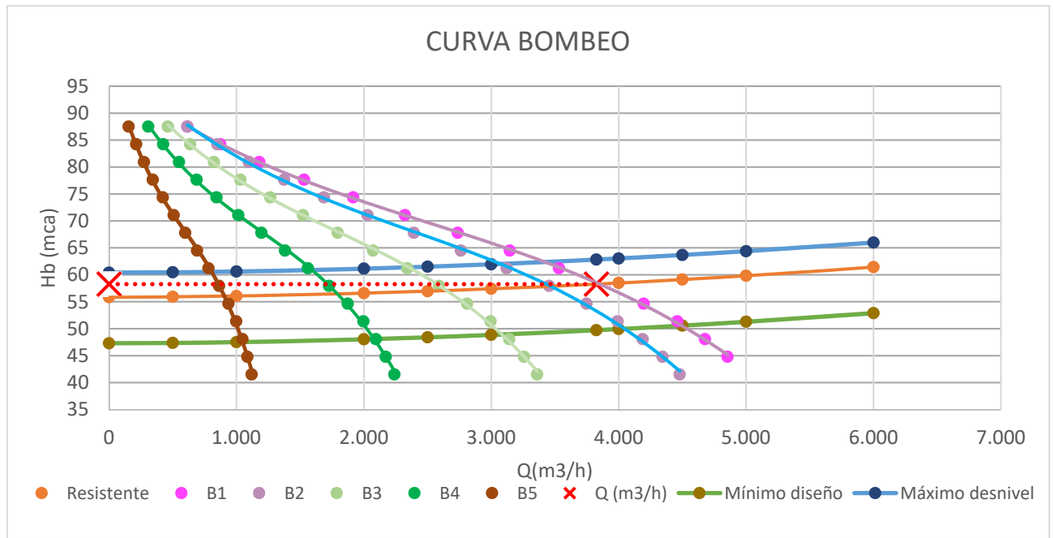
Siendo la potencia hidráulica requerida al eje motor de 161,11 kW.

Figura 2. ***Curva de la bomba funcionamiento en situación media. TIPO 2***



Se dimensiona un equipo de bombeo vertical sumergido capaz de proporcionar 236,11 l/s a una altura de 58,27 m.c.a., accionados mediante motor eléctrico de 200 kW, 50 Hz 400 V a 1.486 rpm, accionado por variador de frecuencia híbrido específico para funcionamiento solar. Además, deberá ser capaz de cubrir el rango entre los 118,56 l/s y los 236,11l/s previstos con rendimientos de cuerdo a la curva anterior.

Del mismo modo se comprueban las situaciones extremas para los equipos en la curva nominal del motor ante la variación de niveles en balsas y diferentes situaciones de explotación, comprobando el correcto funcionamiento de la bomba elegida a dichas situaciones.



Punto de funcionamiento	Q unitario	Hman	Rendimiento	Sumergencia mínima	P absorbida	P motor seleccionada
	(m^3/h)	m.c.a.	%	(m)	(kW)	(kW)
Punto diseño	850	58,27	83,8	1,067	169,59	200 kW (4uds)
Punto mínima resistencia	1049	47,3	81,2		175,34	
Punto máxima resistencia	552	66,82	71,9		147,20	

4.2.4 RESUMEN Y CONCLUSIONES.

Así pues, como conclusión a todo lo expuesto anteriormente se prevé la instalación de:

- Bomba Tipo 1. Se dimensiona **un equipo de bombeo** bombeo vertical sumergido capaz 118,56 l/s a una altura de 58,27 m.c.a., accionados mediante motor eléctrico de 110 kW, 50 Hz 400 V a 1480 rpm, accionado por variador de frecuencia híbrido específico para funcionamiento solar. Además deberá ser capaz de cubrir el rango entre los 38,89 l/s y los 118,56l/s previstos con rendimientos de cuerdo a la curva anterior.

- Bomba Tipo 2. Este equipo de **bombeo consta de cuatro bombas**. Se accionará una vez que la bomba pequeña llegue al 100 % y haya disponibilidad de energía adicional para accionar más bombas. En este momento la bomba tipo 1 saldrá des sistema temporalmente.
  Se dimensiona un equipo de bombeo vertical sumergido capaz de proporcionar 236,11 l/s a una altura de 58,27 m.c.a., accionados mediante motor eléctrico de 200 kW, 50 Hz 400 V a 1.486 rpm, accionado por variador de frecuencia híbrido específico para funcionamiento solar. Además, deberá ser capaz de cubrir el rango entre los 118,56 l/s y los 236,11l/s previstos con rendimientos de cuerdo a la curva anterior.

En ambos casos, tanto para los equipos tipo 1 como los tipo 2, al estar todos ellos accionados por variador de velocidad, no habrá problema en adaptarse a los condicionantes de la curva resistente de cada momento.

La potencia total instalada será de 1x110 + 4x200 kW. La potencia total absorbida será la suma de las potencias absorbidas por todas las bombas, tipo 1 y tipo 2, 744 kW. Para el suministro eléctrico convencional se plantea un trafo de 1.600 kVA, y para el suministro fotovoltaico para no incurrir en el periodo tarifario P2 se prevé un total del 1.009,8 kWp (todos los equipos a la vez, tipo 1 y tipo 2) para una potencia demandada de 744 kW.

A esta potencia será necesario añadir la potencia prevista para los servicios auxiliares.

A continuación se muestran las secuencias de funcionamiento de la instalación en su punto de diseño tanto para el suministro eléctrico solar como para el suministro eléctrico de la red eléctrica (1 bomba tipo 1 y 4 bombas tipo 2).

La secuencia de arranque prevista es la siguiente:

Tabla 1. ***Secuencia de arranque de las bombas***

	Caudal	Bomba 1	Bomba 2	Bomba 3	Bomba 4	Bomba 5
	(l/s)	110 kW **(VV)** (Tipo 1)	200 kW **(VV)** (Tipo 2)	200 kW **(VV)** (Tipo 2)	200 kW **(VV)** (Tipo 2)	200 kW **(VV)** (Tipo 2)
Paso 1	38,89-118,56	Conexión				
Paso 2	118,56-236,11	Desconexión	Conexión			
Paso 3	236,11-472,22		Conectada	Conexión		
Paso 4	472,22-708,33		Conectada	Conectada	Conexión	
Paso 5	708,33-944,44		Conectada	Conectada	Conexión	Conexión
Paso 6	944,44-1.063	Conexión	Conectada	Conectada	Conexión	Conexión

NOTA. VV: Velocidad Variada (Variador). VF: Velocidad fija (Arrancador)

La secuencia de funcionamiento será la misma independientemente de si el suminitro energético es solar o es de la red eléctrica. La secuencia de funcionamiento planteará la entrada progresiva y suave de todas las bombas y hasta completar el 100% de la secuencia de bombeo en la fase de aumento de caudal. En la fase de disminución de caudal se invirtirá la secuencia de forma suave y pregresiva. En ambos casos se tratará de compensar horas de funcionamiento entre equipos con las mismas prestaciones. El cambio de bomba se realizará con los equipos trabajando al 50%.

4.2.4.1 FUNCIONAMIENTO CON ENERGÍA ELÉCTRICA

El funcionamiento con energía eléctrica, que exclusivamente se dará en el periodo 6 de la tarifa 6.1TD, se producirá cuando no sea suficiente el suministro de energía solar para satisfacer todas las necesidades de la zona regable. Este se dará principalmente en los meses de mayo, junio, julio y agosto, tal y como se puede comprobar en el Anejo 13.- Instalación solar fotovoltaica.

En todos estos meses, se dará un consumo en las horas denominadas P6, que equivalen al periodo más económico. Por lo tanto, se dispondrá de 88 horas a la semana para bombear agua en este periodo.

La secuencia de arranque serán las expuestas en los apartados anteriores.

4.2.4.2 FUNCIONAMIENTO HÍBRIDO

Existe la posibilidad de que en cuanto el campo fotovoltaico genere energía suficiente para el funcionamiento solar, una o varias bombas ya estén en funcionamiento mediante energía eléctrica convencional en periodo P6. En este caso, se reduciría la energía convencional conforme la generada por el campo fotovoltaico va aumentando, pudiendo estar alimentados los equipos por ambas fuentes.

4.3 EB "ROBRES"

En este apartado se procede al dimensionamiento de las características de los equipos electromecánicos a instalar en el colector del bombeo a instalar en el edificio de bombeo de esta zona, donde se prevé dos impulsiones independientes, una a una balsa elevada situada a menor cota, Balsa Intermedia Robres, y otra a la balsa elevada de mayor cota, Balsa Superior Robres.

4.3.1 BOMBEO A BALSA INTERMEDIA. PISO 1

En este apartado se procede al dimensionamiento de las características de los equipos electromecánicos a instalar en el colector del bombeo a la balsa elevada, Balsa Intermedia Robres, en la Estación de Bombeo prevista.

4.3.1.1 FRACCIONAMIENTO DEL BOMBEO

Tras el estudio de diferentes combinaciones, se plantea la instalación de un total de 4+1 bombas alimentadas mediante energía fotovoltaica y/o energía convencional para el periodo energético tarifario P6 de la tarifa 6.1TD. En este caso el dimensionado del bombeo se establece para el funcionamiento de las 4+1 bombas, 1.065,16 l/s.

Para mejorar las condiciones de funcionamiento del conjunto ante las previsibles variaciones en la disponibilidad energética y de la demanda de la red se prevé un fraccionamiento del bombeo, planteándose la instalación de un total de cinco bombas (4+1):

- Una bomba pequeña (tipo 1) de 152,78 l/s (550 m^3/h) a 42,52 m.c.a., con caudal mínimo de 44,44 l/s (160 m^3/h), accionada mediante variador de frecuencia solar híbrido de forma que pueda trabajar a 31,0 mca con el mismo caudal, y a 48,52 mca con algo menos del caudal nominal, y que a su vez sea capaz de trabajar al menor caudal posible para maximizar el aprovechamiento de la energía fotovoltaica disponible.
- Cuatro bombas grandes (tipo 2), que impulsarán un caudal de hasta 228,33 l/s (822 m^3/h) a 42,52 m.c.a., cada una. Todas ellas reguladas mediante variador de frecuencia solar híbrido de forma que pueda trabajar a 31,0 mca con el mismo caudal, y a 48,52 mca con algo menos del caudal nominal, y a su vez serán capaces de solaparse con los otros equipos con rendimientos hidráulicos elevados.

Al estar accionados por variador de frecuencia solar híbrido todos los equipos serán capaces de trabajar correctamente en todo el rango de funcionamiento posible, es decir entre los 31,0 mca de la situación más favorable y los 48,52mca de la situación más desfavorable, y de garantizar estos puntos de funcionamiento para el caudal mínimo de cada equipo, garantizando así el solape entre ellos.

4.3.1.2 EQUIPO DE BOMBEO TIPO 1

Este equipo de bombeo consta de una bomba pequeña. Esta bomba tipo 1 será la que se accionará en primera instancia, para permitir un inicio del bombeo más progresivo. Además, con esta bomba de pequeñas dimensiones, conseguimos un mayor aprovechamiento de la energía fotovoltaica disponible, pudiéndose accionar en otros momentos para complementar a los otros equipos, tal y como puede verse en la secuencia de funcionamiento del apartado resumen.

A continuación se refleja el punto de funcionamiento para el bombeo en la situación de diseño, balsas en nivel medio. Así pues, el caudal a impulsar por cada bomba según la curva facilitada por el fabricante será de 152,78 l/s a 42,52m.c.a. En el gráfico se indica el caudal mínimo de 44,44 l/s para esta misma altura.

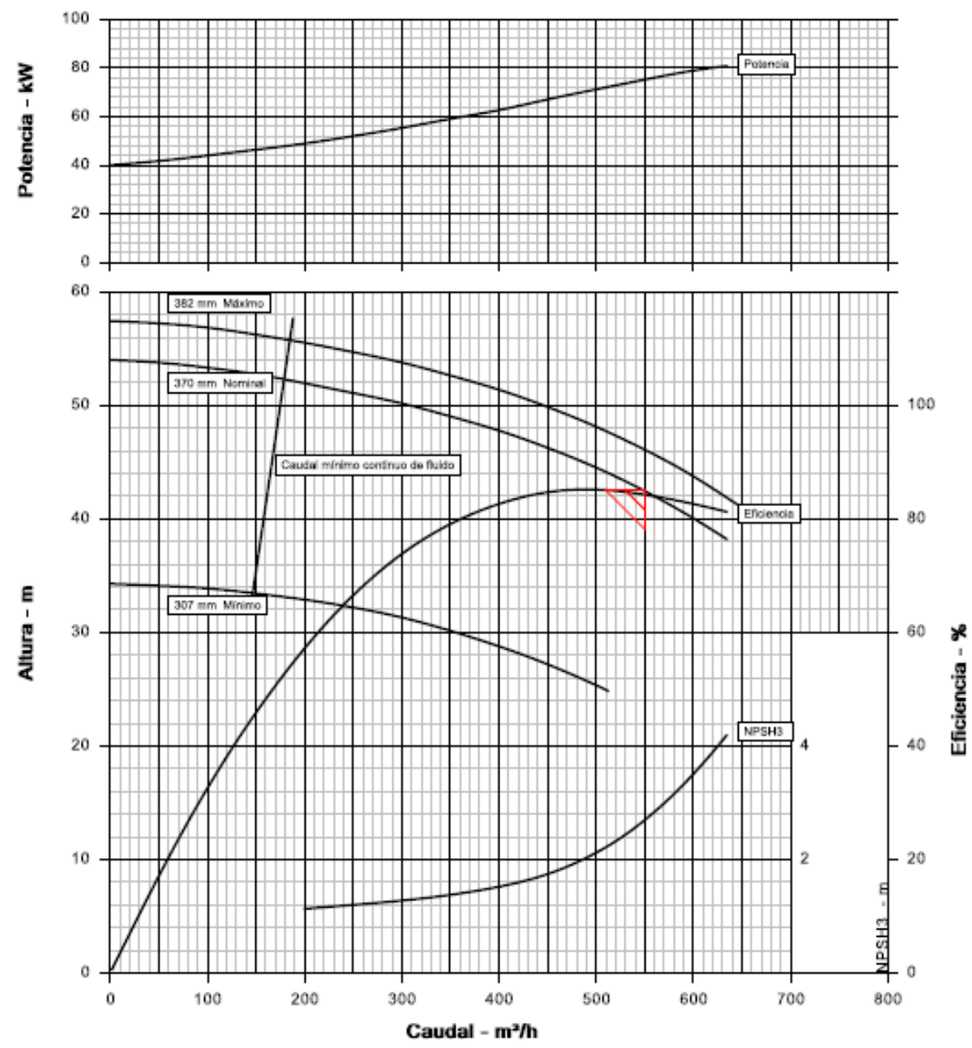
Para este punto tendremos:

- Rendimiento de la Bomba ..... 84,5 %
- Rendimiento del Motor..... 95 %
- Altura Manométrica de Bombeo (Hm):..... 42,52 mca

Potencia absorbida= $\frac{152{,}78\ (l/s)\times 42{,}52(mca)}{75\times 0{,}845\times 0{,}95}$= 107,9 C.V (79,41 kW)

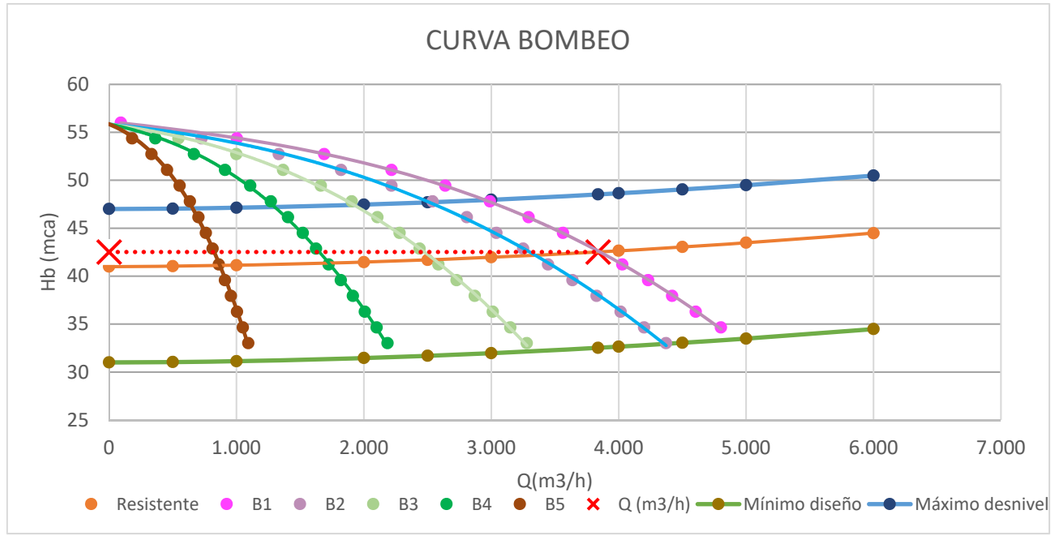
Siendo la potencia hidráulica requerida al eje motor de 75,44 kW.

Figura 3. ***Curva de la bomba funcionamiento en situación media. TIPO 1***



Se dimensiona un equipo de bombeo vertical sumergido capaz de proporcionar 152,78 l/s a una altura de 42,52 m.c.a., accionados mediante motor eléctrico de 90 kW, 50 Hz 400 V a 1485 rpm, accionado por variador de frecuencia híbrido específico para funcionamiento solar. Además, deberá ser capaz de cubrir el rango entre los 44,44 l/s y los 152,78 /s previstos con rendimientos de cuerdo a la curva anterior.

Del mismo modo se comprueban las situaciones extremas para los equipos en la curva nominal del motor ante la variación de niveles en balsas y diferentes situaciones de explotación, comprobando el correcto funcionamiento de la bomba elegida a dichas situaciones. Para el punto de mínima resistencia se ajustará la curva mediante variador para garantizar el correcto funcionamiento a 31 mca.



Punto de funcionamiento	Q unitario (m^3/h)	Hman m.c.a.	Rendimiento %	$NPSH_3$ Requerido (m)	P absorbida (kW)	P motor seleccionada (kW)
Punto diseño	550	42,52	84,5	2,6	79,41	90 kW (1uds)
Punto mínima resistencia	580	31,0	81,0	3,6	63,68	
Punto máxima resistencia	372	48,52	81,1	1,4	63,76	

4.3.1.3 EQUIPO DE BOMBEO TIPO 2

Este equipo de bombeo consta de cuatro bombas iguales. Esta bomba tipo 2 será la que se accionará una vez que la bomba pequeña llegue al 100 % y haya disponibilidad de energía adicional para accionar más bombas. En este momento la bomba tipo 1 saldrá del sistema temporalmente.

A continuación se refleja el punto de funcionamiento para el bombeo en la situación de diseño, balsas en nivel medio. Así pues, el caudal a impulsar por cada bomba según la curva facilitada por el fabricante será de 228,33 l/s a 42,52m.c.a. En el gráfico se indica el caudal mínimo de 152,78 l/s para esta misma altura.

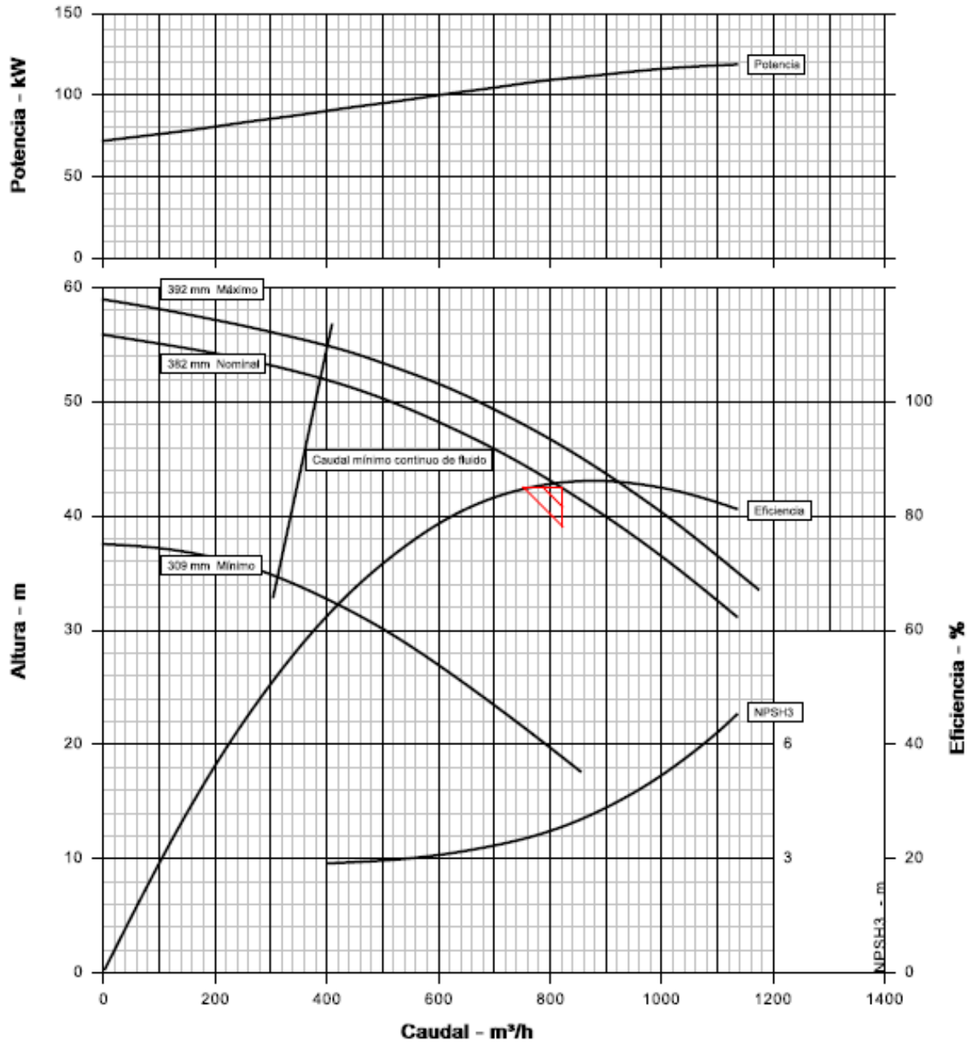
Para este punto tendremos:

- Rendimiento de la Bomba ..... 86,3 %
- Rendimiento del Motor..... 95 %
- Altura Manométrica de Bombeo (Hm):..... 42,52 mca

$$\text{Potencia absorbida} = \frac{228{,}33\ (l/s) \times 42{,}52 (mca)}{75 \times 0{,}863 \times 0{,}95} = 157{,}89\ \text{C.V}\ (116{,}21\ \text{kW})$$

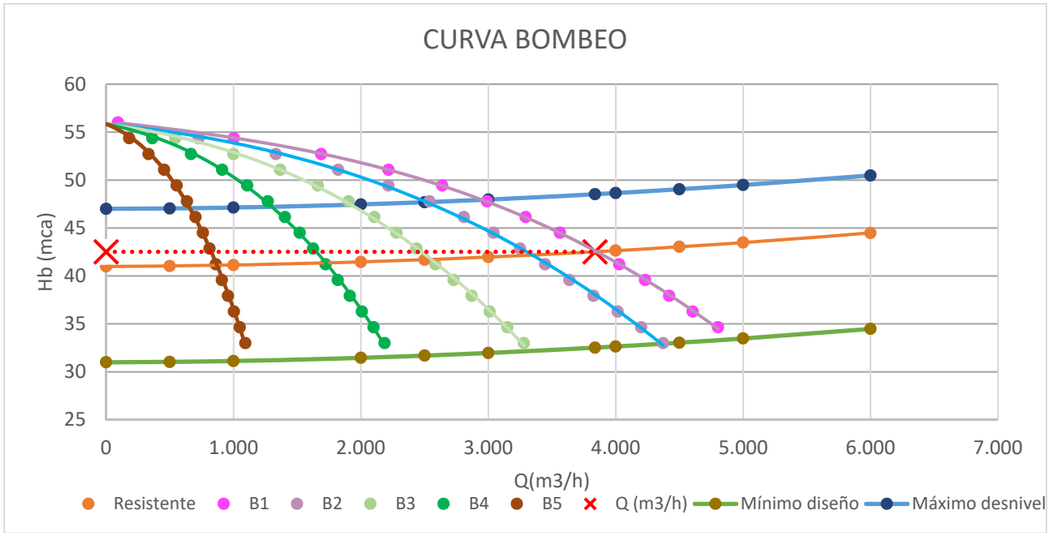
Siendo la potencia hidráulica requerida al eje motor de 110,40 kW.

Figura 4. ***Curva de la bomba funcionamiento en situación media. TIPO 2***



Se dimensiona un equipo de bombeo vertical sumergido capaz de proporcionar 228,33 l/s a una altura de 42,52 m.c.a., accionados mediante motor eléctrico de 132 kW, 50 Hz 400 V a 1.490 rpm, accionado por variador de frecuencia híbrido específico para funcionamiento solar. Además, deberá ser capaz de cubrir el rango entre los 152,78 l/s y los 228,33 l/s previstos con rendimientos de cuerdo a la curva anterior.

Del mismo modo se comprueban las situaciones extremas para los equipos en la curva nominal del motor ante la variación de niveles en balsas y diferentes situaciones de explotación, comprobando el correcto funcionamiento de la bomba elegida a dichas situaciones.



Punto de funcionamiento	Q unitario	Hman	Rendimiento	$NPSH_3$ Requerido	P absorbida	P motor seleccionada
	(m^3/h)	m.c.a.	%	(m)	(kW)	(kW)
Punto diseño	822	42,52	86,3	3,8	116,21	132 kW (4uds)
Punto mínima resistencia	1130	31,0	81,5	6,7	123,33	
Punto máxima resistencia	590	48,52	78,0	3,1	105,31	

4.3.2 BOMBEO A BALSA SUPERIOR. PISO 2

En este apartado se procede al dimensionamiento de las características de los equipos electromecánicos a instalar en el colector del bombeo a la balsa elevada, Balsa Superior Robres, en la Estación de Bombeo prevista.

4.3.2.1 FRACCIONAMIENTO DEL BOMBEO

Tras el estudio de diferentes combinaciones, se plantea la instalación de un total de 3+1 bombas alimentadas mediante energía fotovoltaica y/o energía convencional para el periodo energético tarifario P6 de la tarifa 6.1TD. En este caso el dimensionado del bombeo se establece para el funcionamiento de las 3+1 bombas, 664,44 l/s.

Para mejorar las condiciones de funcionamiento del conjunto ante las previsibles variaciones en la disponibilidad energética y de la demanda de la red se prevé un fraccionamiento del bombeo, planteándose la instalación de un total de cinco bombas (3+1):

- Una bomba pequeña (tipo 1) de 117,78 l/s (424 m^3/h) a 59,83 m.c.a., con caudal mínimo de 36,11 l/s (130 m^3/h), accionada mediante variador de frecuencia solar híbrido de forma que pueda trabajar a 49,0 mca con el mismo caudal, y a 64,38 mca con algo menos del caudal nominal, y que a su vez sea capaz de trabajar al menor caudal posible para maximizar el aprovechamiento de la energía fotovoltaica disponible.
- Cuatro bombas grandes (tipo 2), que impulsarán un caudal de hasta 182,22 l/s (656 m^3/h) a 59,83 m.c.a., cada una. Todas ellas reguladas mediante variador de frecuencia solar híbrido de forma que pueda trabajar a 49,0 mca con el mismo caudal, y a 64,38 mca con algo menos del caudal nominal, y a su vez serán capaces de solaparse con los otros equipos con rendimientos hidráulicos elevados.

Al estar accionados por variador de frecuencia solar híbrido todos los equipos serán capaces de trabajar correctamente en todo el rango de funcionamiento posible, es decir entre los 49,0 mca de la situación más favorable y los 64,38 mca de la situación más desfavorable, y de garantizar estos puntos de funcionamiento para el caudal mínimo de cada equipo, garantizando así el solape entre ellos.

4.3.2.2 EQUIPO DE BOMBEO TIPO 1

Este equipo de bombeo consta de una bomba pequeña. Esta bomba tipo 1 será la que se accionará en primera instancia, para permitir un inicio del bombeo más progresivo. Además, con esta bomba de pequeñas dimensiones, conseguimos un mayor aprovechamiento de la energía fotovoltaica disponible, pudiéndose accionar en otros momentos para complementar a los otros equipos, tal y como puede verse en la secuencia de funcionamiento del apartado resumen.

A continuación se refleja el punto de funcionamiento para el bombeo en la situación de diseño, balsas en nivel medio. Así pues, el caudal a impulsar por cada bomba según la curva facilitada por el fabricante será de 117,78 l/s a 59,83 m.c.a. En el gráfico se indica el caudal mínimo de 36,11 l/s para esta misma altura.

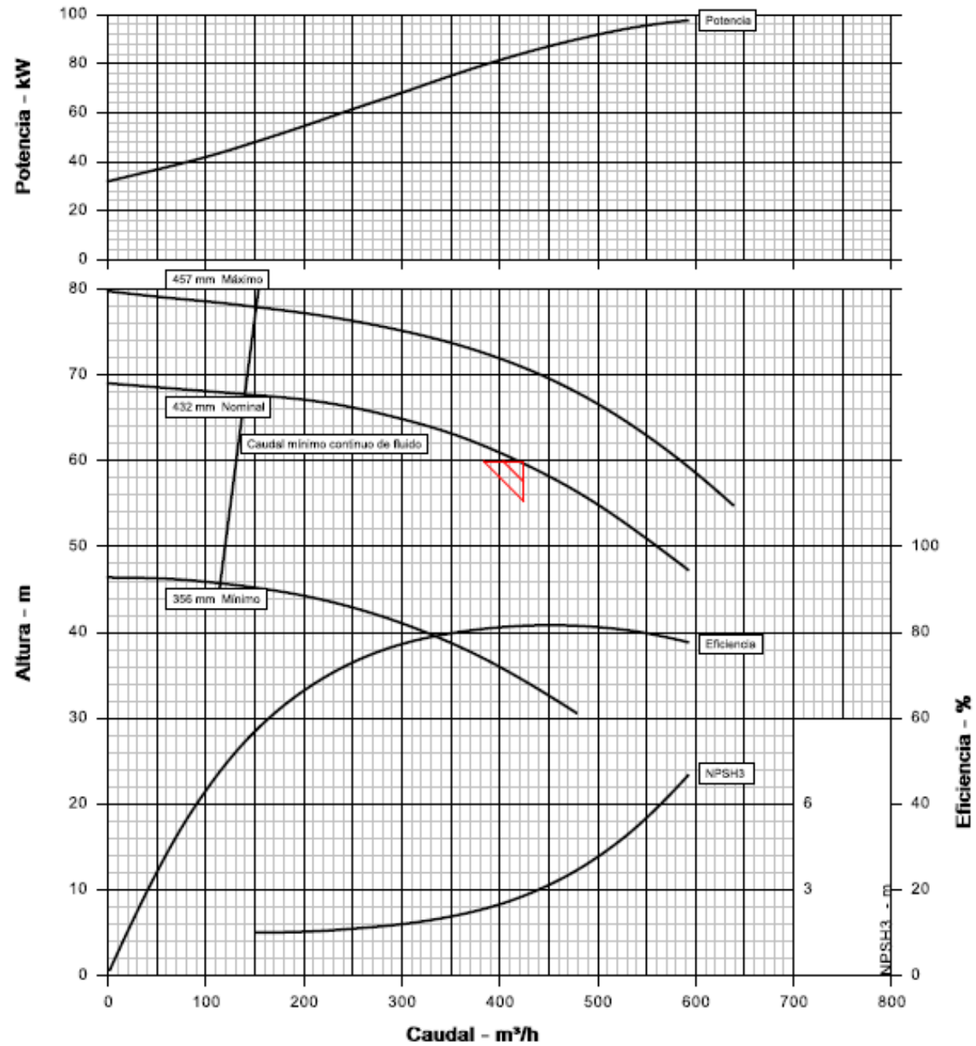
Para este punto tendremos:

- Rendimiento de la Bomba ..... 81,7 %
- Rendimiento del Motor..... 95 %
- Altura Manométrica de Bombeo (Hm):..... 59,83 mca

$$\text{Potencia absorbida} = \frac{117{,}78\ (l/s) \times 59{,}83 (mca)}{75 \times 0{,}817 \times 0{,}95} = \text{ 121,06 C.V (89,1 kW)}$$

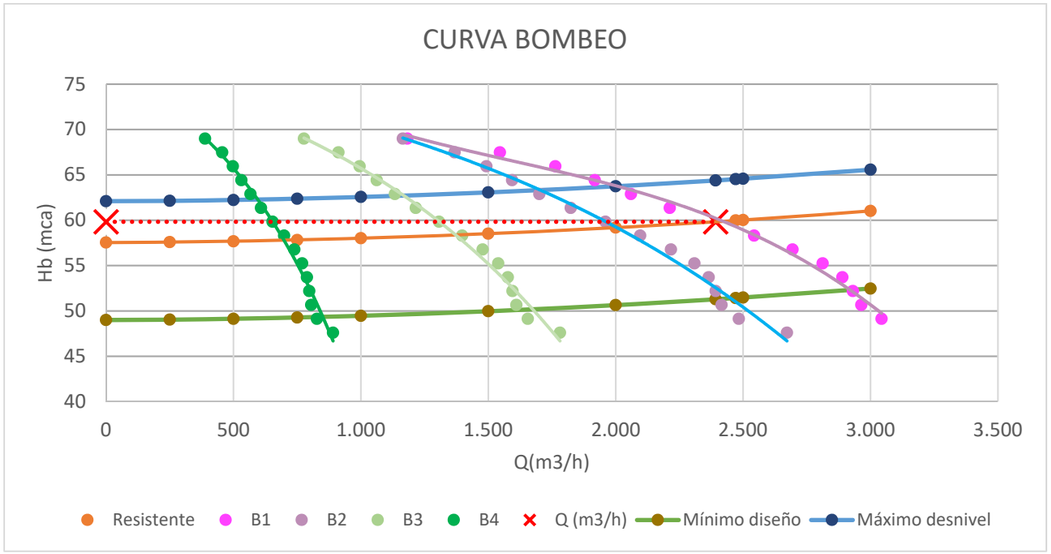
Siendo la potencia hidráulica requerida al eje motor de 84,64 kW.

Figura 5. ***Curva de la bomba funcionamiento en situación media. TIPO 1***



Se dimensiona un equipo de bombeo vertical sumergido capaz de proporcionar 117,78 l/s a una altura de 59,83 m.c.a., accionados mediante motor eléctrico de 110 kW, 50 Hz 400 V a 1490 rpm, accionado por variador de frecuencia híbrido específico para funcionamiento solar. Además, deberá ser capaz de cubrir el rango entre los 36,11 l/s y los 117,78 /s previstos con rendimientos de cuerdo a la curva anterior.

Del mismo modo se comprueban las situaciones extremas para los equipos en la curva nominal del motor ante la variación de niveles en balsas y diferentes situaciones de explotación, comprobando el correcto funcionamiento de la bomba elegida a dichas situaciones.



Punto de funcionamiento	Q unitario (m^3/h)	Hman m.c.a.	Rendimiento %	$NPSH_3$ Requerido (m)	P absorbida (kW)	P motor seleccionada (kW)
Punto diseño	424	59,83	81,7	2,8	89,1	110 kW (1uds)
Punto mínima resistencia	570	49,0	78,0	6,2	102,75	
Punto máxima resistencia	320	64,38	78,0	1,9	75,79	

4.3.2.3 EQUIPO DE BOMBEO TIPO 2

Este equipo de bombeo consta de TRES bombas iguales. Esta bomba tipo 2 será la que se accionará una vez que la bomba pequeña llegue al 100 % y haya disponibilidad de energía adicional para accionar más bombas. En este momento la bomba tipo 1 saldrá del sistema temporalmente.

A continuación se refleja el punto de funcionamiento para el bombeo en la situación de diseño, balsas en nivel medio. Así pues, el caudal a impulsar por cada bomba según la curva facilitada por el fabricante será de 182,22 l/s a 59,83 m.c.a. En el gráfico se indica el caudal mínimo de 117,78 l/s para esta misma altura.

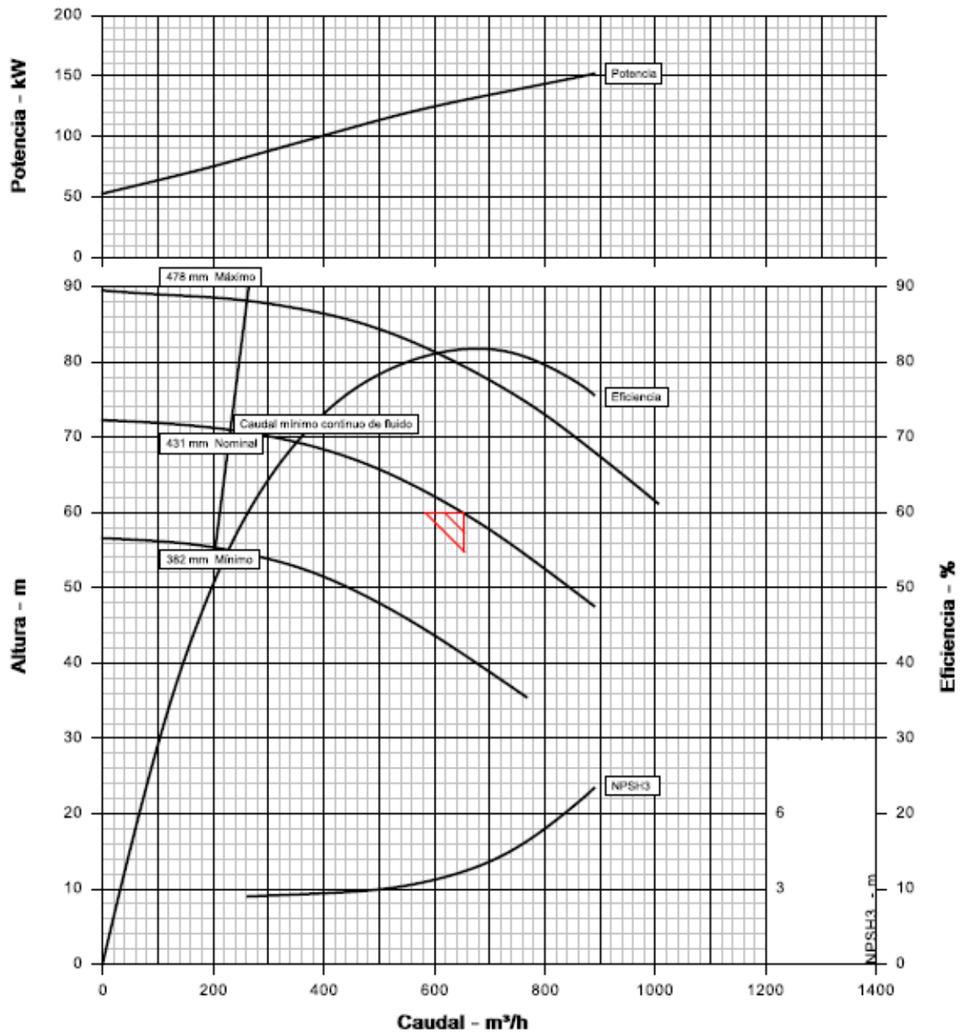
Para este punto tendremos:

- Rendimiento de la Bomba ..... 82,0 %
- Rendimiento del Motor..... 95 %
- Altura Manométrica de Bombeo (Hm):..... 59,83 mca

Potencia absorbida= $\frac{182{,}22\ (l/s)\times 59{,}83(mca)}{75\times 0{,}82\times 0{,}95}$= 186,6 C.V (137,34 kW)

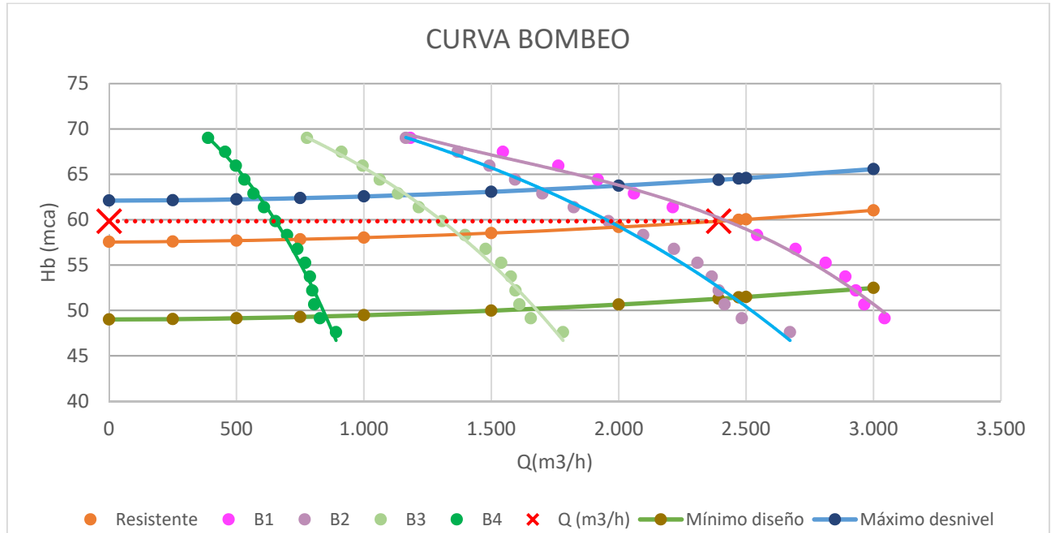
Siendo la potencia hidráulica requerida al eje motor de 130,47 kW.

Figura 6. ***Curva de la bomba funcionamiento en situación media. TIPO 2***



Se dimensiona un equipo de bombeo vertical sumergido capaz de proporcionar 182,22 l/s a una altura de 59,83 m.c.a., accionados mediante motor eléctrico de 160 kW, 50 Hz 400 V a 1.490 rpm, accionado por variador de frecuencia híbrido específico para funcionamiento solar. Además, deberá ser capaz de cubrir el rango entre los 117,78 l/s y los 182,22 l/s previstos con rendimientos de cuerdo a la curva anterior.

Del mismo modo se comprueban las situaciones extremas para los equipos en la curva nominal del motor ante la variación de niveles en balsas y diferentes situaciones de explotación, comprobando el correcto funcionamiento de la bomba elegida a dichas situaciones.



Punto de funcionamiento	Q unitario (m^3/h)	Hman m.c.a.	Rendimiento %	$NPSH_3$ Requerido (m)	P absorbida (kW)	P motor seleccionada (kW)
Punto diseño	656	59,83	82,0	3,7	137,34	160 kW (3uds)
Punto mínima resistencia	860	49,0	77,0	6,4	157,03	
Punto máxima resistencia	540	64,38	80,0	3,1	124,69	

4.3.3 RESUMEN Y CONCLUSIONES.

Así pues, como conclusión a todo lo expuesto anteriormente se prevé la instalación de:

- **BOMBEO A BALSA INTERMEDIA. PISO 1.**
  - Bomba Tipo 1. Se dimensiona **un equipo de bombeo** de cámara partida horizontal capaz de suministrar 152,78 l/s a una altura de 42,52 m.c.a., accionados mediante motor eléctrico de 90 kW, 50 Hz 400 V a 1485 rpm, accionado por variador de frecuencia híbrido específico para funcionamiento solar. Además, deberá ser capaz de cubrir el rango entre los 44,44 l/s y los 152,78 l/s previstos con rendimientos de cuerdo a la curva anterior.
  - Bomba Tipo 2. Este equipo de **bombeo consta de cuatro bombas**. Se accionará una vez que la bomba pequeña llegue al 100 % y haya disponibilidad de energía adicional para accionar más bombas. En este momento la bomba tipo 1 saldrá des sistema temporalmente.

    Se dimensiona un equipo de bombeo de cámara partida horizontal capaz de suministrar 228,33 l/s a una altura de 42,52 m.c.a., accionados mediante motor eléctrico de 132 kW, 50 Hz 400 V a 1490 rpm, accionado por variador de frecuencia híbrido específico para funcionamiento solar. Además, deberá ser capaz de cubrir el rango entre los 152,78 l/s y los 228,33 l/s previstos con rendimientos de cuerdo a la curva anterior.

En ambos casos, tanto para los equipos tipo 1 como los tipo 2, al estar todos ellos accionados por variador de velocidad, no habrá problema en adaptarse a los condicionantes de la curva resistente de cada momento.

- **BOMBEO A BALSA SUPERIOR. PISO 2.**
  - Bomba Tipo 1. Se dimensiona **un equipo de bombeo** de cámara partida horizontal capaz de suministrar 117,78 l/s a una altura de 59,83 m.c.a., accionados mediante motor eléctrico de 110 kW, 50 Hz 400 V a 1490 rpm, accionado por variador de frecuencia híbrido específico para funcionamiento solar. Además, deberá ser capaz de cubrir el rango entre los 36,11 l/s y los 117,78 l/s previstos con rendimientos de cuerdo a la curva anterior.

- Bomba Tipo 2. Este equipo de **bombeo consta de tres bombas**. Se accionará una vez que la bomba pequeña llegue al 100 % y haya disponibilidad de energía adicional para accionar más bombas. En este momento la bomba tipo 1 saldrá des sistema temporalmente.

  Se dimensiona un equipo de bombeo de cámara partida horizontal capaz de suministrar 182,22 l/s a una altura de 59,83 m.c.a., accionados mediante motor eléctrico de 160 kW, 50 Hz 400 V a 1490 rpm, accionado por variador de frecuencia híbrido específico para funcionamiento solar. Además, deberá ser capaz de cubrir el rango entre los 117,78 l/s y los 182,22 l/s previstos con rendimientos de cuerdo a la curva anterior.

En ambos casos, tanto para los equipos tipo 1 como los tipo 2, al estar todos ellos accionados por variador de velocidad, no habrá problema en adaptarse a los condicionantes de la curva resistente de cada momento.

En este caso, el suministro previsto para el bombeo a la balsa Intermedia, como a la balsa elevada, compartirán acometida eléctrica de la red convencional como del campo solar fotovoltaico. En este sentido, la potencia total instalada será de (1x90 + 4x132 kW) +(1x110 + 3x160 kW) es decir, 1.208 kW, y la potencia total absorbida será la suma de las potencias absorbidas por todas las bombas, tipo 1 y tipo 2 de cada bombeo, es decir, (544+501 kW) 1.045 kW.

Para el suministro eléctrico convencional se plantea un trafo de 2.000 kVA, y para el suministro fotovoltaico para no incurrir en el periodo tarifario P2 se prevé un total del 1.455,3 kWp (todos los equipos a la vez, tipo 1 y tipo 2) para una potencia demandada de 1.045 kW.

A esta potencia será necesario añadir la potencia prevista para los servicios auxiliares.

A continuación se muestran las secuencias de funcionamiento de la instalación en su punto de diseño tanto para el suministro eléctrico solar como para el suministro eléctrico de la red eléctrica de ambos bombeos. El autómata del bombeo determinará en función de las necesidades de cada piso y la disponibilidad de energía qué equipos se accionan en cada momento.

La secuencia de arranque prevista es la siguiente:

Tabla 2. ***Secuencia de arranque de las bombas. Piso 1***

	Caudal	Bomba 1	Bomba 2	Bomba 3	Bomba 4	Bomba 5
	(l/s)	90 kW **(VV)** (Tipo 1)	132 kW **(VV)** (Tipo 2)	132 kW **(VV)** (Tipo 2)	132 kW **(VV)** (Tipo 2)	132 kW **(VV)** (Tipo 2)
Paso 1	44,44-152,78	Conexión				
Paso 2	152,78-228,33	Desconexión	Conexión			
Paso 3	228,33-456,66		Conectada	Conexión		
Paso 4	456,66-684,99		Conectada	Conectada	Conexión	
Paso 5	684,99-913,32		Conectada	Conectada	Conexión	Conexión
Paso 6	913,32-1.066	Conexión	Conectada	Conectada	Conexión	Conexión

NOTA. VV: Velocidad Variada (Variador). VF: Velocidad fija (Arrancador)

Tabla 3. ***Secuencia de arranque de las bombas. Piso 2***

	Caudal	Bomba 1	Bomba 2	Bomba 3	Bomba 4
	(l/s)	110 kW **(VV)** (Tipo 1)	160 kW **(VV)** (Tipo 2)	160 kW **(VV)** (Tipo 2)	160 kW **(VV)** (Tipo 2)
Paso 1	36,11-117,78	Conexión			
Paso 2	117,78-182,22	Desconexión	Conexión		
Paso 3	182,22-364,44		Conectada	Conexión	
Paso 4	364,44-546,66		Conectada	Conectada	Conexión
Paso 5	546,66-664,44	Conexión	Conectada	Conectada	Conexión

NOTA. VV: Velocidad Variada (Variador). VF: Velocidad fija (Arrancador)

En ambas impulsiones la secuencia de funcionamiento será la misma independientemente de si el suministro energético es solar o es de la red eléctrica. La secuencia de funcionamiento planteará la entrada progresiva y suave de todas las bombas y hasta completar el 100% de la secuencia de bombeo en la fase de aumento de caudal. En la fase de disminución de caudal se invertirá la secuencia de forma suave y progresiva. En ambos casos se tratará de compensar horas de funcionamiento entre equipos con las mismas prestaciones. El cambio de bomba se realizará con los equipos trabajando al 50%.

4.3.3.1 FUNCIONAMIENTO CON ENERGÍA ELÉCTRICA

El funcionamiento con energía eléctrica, que exclusivamente se dará en el periodo 6 de la tarifa 6.1TD, se producirá cuando no sea suficiente el suministro de energía solar para satisfacer todas las necesidades de la zona regable. Este se dará principalmente en los meses de mayo, junio, julio y agosto, tal y como se puede comprobar en el Anejo 13.- Instalación solar fotovoltaica.

En todos estos meses, se dará un consumo en las horas denominadas P6, que equivalen al periodo más económico. Por lo tanto, se dispondrá de 88 horas a la semana para bombear agua en este periodo.

La secuencia de arranque serán las expuestas en los apartados anteriores.

4.3.3.2 FUNCIONAMIENTO HÍBRIDO

Existe la posibilidad de que en cuanto el campo fotovoltaico genere energía suficiente para el funcionamiento solar, una o varias bombas ya estén en funcionamiento mediante energía eléctrica convencional en periodo P6. En este caso, se reduciría la energía convencional conforme la generada por el campo fotovoltaico va aumentando, pudiendo estar alimentados los equipos por ambas fuentes.

5 COSTES ENERGÉTICOS.

Para la realización de este estudio se ha partido de precios existentes en otras Comunidades de Regantes de tarifas para la modalidad de 6 periodos horarios.

En la siguiente tabla se muestra la distribución de los 6 periodos horarios a lo largo del año.

HORA/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	FESTIVO
00 a 01h	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
01 a 02h	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
02 a 03h	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
03 a 04h	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
04 a 05h	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
05 a 06h	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
06 a 07h	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
07 a 08h	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
08 a 09h	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
09 a 10h	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
10 a 11h	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
11 a 12h	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
12 a 13h	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
13 a 14h	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
14 a 15h	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
15 a 16h	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
16 a 17h	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
17 a 18h	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
18 a 19h	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
19 a 20h	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
20 a 21h	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
21 a 22h	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
22 a 23h	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
23 a 24h	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6

Nuevos periodos tarifarios para zona península. Fuente: MyEnergyMap

Periodos horarios. Modalidad de 6 periodos

El coste del término de potencia depende de las potencias contratadas en cada período tarifario y el término de energía de las potencias realmente demandadas en el mismo durante el período de facturación, según la siguiente tabla de precios:

	Periodos horarios eléctricos					
	P1	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**
Término de POTENCIA (€/kWh · año)	22,41711	20,370815	11,478137	9,055455	1,992116	1,185268
Término de ENERGÍA (€/kWh)	0,151097	0,135441	0,1252745	0,115108	0,1049415	0,094775

5.1 COSTE USO 100% ENERGÍA RED ELÉCTRICA

En la tabla se resume el cálculo de los costes energéticos en el caso de que todos los bombeos se alimentaran exclusivamente con energía eléctrica.

Tabla 4. ***Estimación coste energético en el caso de utilización energía eléctrica P6+P2***

BOMBEO	Coste T. POTENCIA	Coste T. ENERGÍA	COSTE TOTAL Con impuesto e IVA	Energía Eléctrica Consumida (MWh/año)
Senés	60.738,17 €	172.909,91 €	284.882,33 €	1.746,53
Robres. Piso 1	41.320,49 €	126.110,29 €	204.144,93 €	1.273,90
Robres. Piso 2	39.458,52 €	116.517,60 €	190.178,50 €	1.176,80

Así pues, el coste energético anual en el caso de que se empleara exclusivamente energía eléctrica ascendería a 679.205,76 €, si consideramos el coste energético durante el plazo de vida útil de la instalación, que en este caso se han considerado 25 años, ascenderá a un total de 16.980.143,96 € impuestos eléctricos e I.V.A. incluidos.

5.2 COSTE USO ENERGÍA RED + ENERGÍA ALTERNATIVA

En la tabla se resume el cálculo de los costes energéticos teniendo en cuenta la energía eléctrica proporcionada por la instalación fotovoltaica y la energía eléctrica consumida en periodo P6.

Tabla 5. ***Estimación coste energético en el caso de utilización energía eléctrica P6 + FV***

BOMBEO	Coste T. POTENCIA	Coste T. ENERGÍA	COSTE TOTAL Con impuesto e IVA	Energía Eléctrica Consumida (MWh/año)
Senés	1.302,76 €	60.618,39 €	75.499,20 €	639,60
Robres. Piso 1	732,50 €	43.059,84 €	53.395,10 €	454,34
Robres. Piso 2	699,31 €	38.940,63 €	48.332,16 €	410,87

Así pues, el coste energético anual en el caso de que se empleara energía eléctrica y fotovoltaica ascendería a 177.226,46 €, si consideramos el coste energético durante el plazo de vida útil de la instalación, que en este caso se han considerado 25 años, ascenderá a un total de 4.430.661,50 € impuestos eléctricos e I.V.A. incluidos.

5.3 RESUMEN DEL COSTE ENERGÉTICO DE EXPLOTACIÓN

El resumen de los datos obtenidos de la estimación de los costes energéticos de las diferentes situaciones estudiadas, quedan recogidos en la tabla dispuesta a continuación.

BOMBEO	Coste T. POTENCIA	Coste T. ENERGÍA	COSTE TOTAL Con impuesto e IVA	Energía Eléctrica Consumida (MWh/año)
P6 + SOLAR	2.734,57 €	142.618,86 €	177.226,46 €	1.504,81 €
P6 + P2	141.517,19 €	415.537,81 €	679.205,76 €	4.197,23 €

En primer lugar, hay que indicar que, si no existieran los bombeos solares se tendría que consumir en los periodos tarifarios P6 y P2 de la tarifa eléctrica 6.1 (más económico y segundo más caro respectivamente). El coste anual previsto se situaría en los 679.205,76 €/año.

En segundo lugar, indicar que la instalación del bombeo solar permite eliminar la necesidad de incurrir en el periodo tarifario P2 y disminuir las necesidades de P6, lo cual reduce el coste energético hasta los 177.226,46 €/año. Es decir, el planteamiento mediante bombeo fotovoltaico permite reducir un 73,9 % el coste energético de la instalación.

Por otro lado, si atendemos a las necesidades hídricas del proyecto podemos decir que el volumen total anual en el conjunto de la zona regable es de 23.615.078,21 m^3/año, por lo que el coste unitario del metro cúbico de agua impulsada después de impuestos e IVA se sitúa en los 0,007505 €/m^3.

En el Apéndice 1 se detalla el cálculo de los costes energéticos.

En el Anejo 13 Instalación fotovoltaica se detallan las características del parque solar proyectado y su aporte al bombeo general.

6 ESTUDIO TRANSITORIOS

Como se detalla en el Apéndice 2 al presente anejo, las instalaciones están completamente protegidas frente a los posibles transitorios que se pueden generar durante la vida útil de la instalación.

Planteándose los siguientes elementos de protección:

- **Impulsión a Balsa Intermedia Robres**. Válvula anticipadora DN 200, con tarado 38-43 mca, y ventosas trifuncionales DN 150. Pmáx, 54,2 mca. Pmín, -2,9.
- **Impulsión a Balsa Superior Robres**. Válvula alivio DN 200, con tarado 61 mca, y ventosas trifuncionales y antivacío DN 150. Pmáx, 66,6 mca. Pmín, -3,5.

  En los puntos altos con antivacío se complementarán con purgadores de 1" para garantizar la evacuación de aire con la tubería presurizada.

- **<u>Impulsión a Balsa Superior Senés</u>**. Válvula anticipadora DN 300, con tarado 55-59,5 mca, y ventosas antivacío DN 150. Pmáx, 68,4 mca. Pmín, -4,4.

  En los puntos altos con antivacío se complementarán con purgadores de 1" para garantizar la evacuación de aire con la tubería presurizada.

APÉNDICE 1.- COSTES ENERGÉTICOS

BOMBEO EB SENÉS_100% Eléctrico

NECESIDAES HIDRICAS [m^3/ha]

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
	0,00	14,72	326,84	475,72	1162,88	1335,70	1909,04	1907,16	979,63	92,08	0,00	0,00	8203,76

HORAS DE RIEGO [horas/año]

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,81
P2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	155,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	155,00
P3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,42	0,00	0,00	0,00	0,00	23,42
P4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,24	0,00	132,86	0,00	0,00	0,00	0,00	138,10
P5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P6	0,00	4,21	93,57	136,19	332,91	377,14	389,71	389,71	280,45	26,36	0,00	0,00	2030,27
													0,00
													0,00
													0,00

POTENCIA CONSUMIDA KW

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
743,65	743,65	743,65	743,65	743,65	743,65	743,65	743,65	743,65	910,00	743,65	743,65

DATOS

Superficies [ha]	1095
Caudal [l/s]	1063
Altura bombeo m.c.a.	58,27
Potencias [kW]	
Consumida	744
Contratada	910

TÉRMINO DE ENERGÍA

	CONSUMO [kWh]												COSTE			TÉRMINO DE POTENCIA			COSTES TOTALES
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	Tarifa €/Kw	Coste	POTEN Contrat	COSTES Tarifa €/kw	Coste	
P1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1346,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1346,7	0,151097	203,47 €	920	22,417110	20.623,74 €	20.827,22 €
P2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	115265,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	115265,3	0,135441	15.611,65 €	910	20,370815	18.537,44 €	34.149,09 €
P3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17413,9	0,0	0,0	0,0	0,0	17413,9	0,125275	2.181,51 €	910	11,478137	10.445,10 €	12.626,62 €
P4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3900,4	0,0	98798,8	0,0	0,0	0,0	0,0	102699,3	0,115108	11.821,51 €	910	9,055455	8.240,46 €	20.061,97 €
P5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,104942	0,00 €	910	1,992116	1.812,83 €	1.812,83 €
P6	0,0	3133,3	69582,9	101278,5	247570,0	280461,2	289810,0	289810,0	208556,4	19602,7	0,0	0,0	1509805,0	0,094775	143.091,77 €	910	1,185268	1.078,59 €	144.170,36 €
													0,0						
													0,0						
													0,0						

Coste Anual Antes de Impuestos eléctricos sin IVA	172.909,91 €	60.738,17 €	233.648,08 €
Impuesto Eléctrico			1.791,86 €
			235.439,94 €
IVA 21 %			49.442,39 €
COSTE ENERGETICO TOTAL ANUAL CON IMPUESTOS ELECTRICO E IVA[€]			284.882,33 €

BOMBEO EB SENÉS_FV+P6

NECESIDAES HIDRICAS [m^3/ha]

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
0,00	0,00	0,00	0,00	310,56	477,47	957,87	1015,53	242,90	0,00	0,00	0,00	3004,33

HORAS DE RIEGO [horas/año]

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P6	0,00	0,00	0,00	0,00	88,91	136,69	274,22	290,73	69,54	0,00	0,00	0,00	860,09
													0,00
													0,00
													0,00

POTENCIA CONSUMIDA KW

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
743,65	743,65	743,65	743,65	743,65	743,65	743,65	743,65	743,65	910,00	743,65	743,65

DATOS

Superficies [ha]	1095
Caudal [l/s]	1063
Altura bombeo m.c.a.	58,27
Potencias [kW]	
Consumida	744
Contratada	910

TÉRMINO DE ENERGÍA

	CONSUMO [kWh]													COSTE		
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	Tarifa €/Kw	Coste
P1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,151097	0,00 €
P2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,135441	0,00 €
P3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,125275	0,00 €
P4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,115108	0,00 €
P5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,104942	0,00 €
P6	0,0	0,0	0,0	0,0	66116,1	101650,8	203923,7	216199,7	51713,0	0,0	0,0	0,0	639603,2	0,094775	60.618,39 €
													0,0		
													0,0		
													0,0		

TÉRMINO DE POTENCIA

POTEN	COSTES		COSTES TOTALES
Contrat	Tarifa €/kw	Coste	
10	22,417110	224,17 €	224,17 €
0	20,370815	0,00 €	0,00 €
0	11,478137	0,00 €	0,00 €
0	9,055455	0,00 €	0,00 €
0	1,992116	0,00 €	0,00 €
910	1,185268	1.078,59 €	61.696,99 €

Coste Anual Antes de Impuestos eléctricos sin IVA	60.618,39 €	1.302,76 €	**61.921,16 €**
Impuesto Eléctrico			474,88 €
			62.396,03 €
IVA 21 %			13.103,17 €
COSTE ENERGETICO TOTAL ANUAL CON IMPUESTOS ELECTRICO E IVA[€]			**75.499,20 €**

BOMBEO EB ROBRES. PISO 1_100% Eléctrico

NECESIDAES HIDRICAS [m^3/ha]

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
	0,00	14,72	326,84	475,72	1162,88	1335,70	1909,04	1907,16	979,63	92,08	0,00	0,00	8203,76

HORAS DE RIEGO [horas/año]

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,62
P2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	155,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	155,00
P3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,23	0,00	0,00	0,00	0,00	23,23
P4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,11	0,00	132,86	0,00	0,00	0,00	0,00	137,97
P5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P6	0,00	4,21	93,54	136,14	332,80	377,14	389,71	389,71	280,35	26,35	0,00	0,00	2029,97
													0,00
													0,00
													0,00

POTENCIA CONSUMIDA KW

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
542,60	542,60	542,60	542,60	542,60	542,60	542,60	542,60	542,60	618,00	542,60	542,60

DATOS

Superficies [ha]	1098
Caudal [l/s]	1066
Altura bombeo m.c.a.	42,52
Potencias [kW]	
Consumida	543
Contratada	618

TÉRMINO DE ENERGÍA

CONSUMO [kWh]

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	880,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	880,7
P2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	84102,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	84102,3
P3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12604,1	0,0	0,0	0,0	0,0	12604,1
P4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2774,6	0,0	72087,6	0,0	0,0	0,0	0,0	74862,3
P5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P6	0,0	2285,4	50753,1	73871,5	180575,0	204635,9	211457,1	211457,1	152118,9	14298,0	0,0	0,0	1101452,1
													0,0
													0,0
													0,0

COSTE

	Tarifa €/Kw	Coste
P1	0,151097	133,07 €
P2	0,135441	11.390,89 €
P3	0,125275	1.578,97 €
P4	0,115108	8.617,25 €
P5	0,104942	0,00 €
P6	0,094775	104.390,12 €
		126.110,29 €

TÉRMINO DE POTENCIA

POTEN	COSTES	
Contrat	Tarifa €/kw	Coste
628	22,417110	14.077,95 €
618	20,370815	12.589,16 €
618	11,478137	7.093,49 €
618	9,055455	5.596,27 €
618	1,992116	1.231,13 €
618	1,185268	732,50 €
		41.320,49 €

COSTES TOTALES

14.211,01 €
23.980,06 €
8.672,46 €
14.213,52 €
1.231,13 €
105.122,61 €
167.430,79 €
1.284,03 €
168.714,82 €
35.430,11 €
204.144,93 €

Coste Anual Antes de Impuestos eléctricos sin IVA

Impuesto Eléctrico

IVA 21 %

COSTE ENERGETICO TOTAL ANUAL CON IMPUESTOS ELECTRICO E IVA[€]

BOMBEO EB ROBRES. PISO 1_P6+FV

NECESIDAES HIDRICAS [m^3/ha]

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
	0,00	0,00	0,00	0,00	293,10	463,84	943,02	1000,04	225,87	0,00	0,00	0,00	2925,87

HORAS DE RIEGO [horas/año]

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P6	0,00	0,00	0,00	0,00	83,88	132,74	269,88	286,20	64,64	0,00	0,00	0,00	837,34
													0,00
													0,00
													0,00

POTENCIA CONSUMIDA KW

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
542,60	542,60	542,60	542,60	542,60	542,60	542,60	542,60	542,60	618,00	542,60	542,60

DATOS

Superficies [ha]	1098
Caudal [l/s]	1066
Altura bombeo m.c.a.	42,52
Potencias [kW]	
Consumida	543
Contratada	618

TÉRMINO DE ENERGÍA

	CONSUMO [kWh]												COSTE			TÉRMINO DE POTENCIA			COSTES TOTALES
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	Tarifa €/Kw	Coste	POTEN Contrat	COSTES Tarifa €/kw	Coste	
P1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,151097	0,00 €	0	22,417110	0,00 €	0,00 €
P2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,135441	0,00 €	0	20,370815	0,00 €	0,00 €
P3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,125275	0,00 €	0	11,478137	0,00 €	0,00 €
P4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,115108	0,00 €	0	9,055455	0,00 €	0,00 €
P5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,104942	0,00 €	0	1,992116	0,00 €	0,00 €
P6	0,0	0,0	0,0	0,0	45513,5	72025,5	146434,7	155289,6	35074,3	0,0	0,0	0,0	454337,5	0,094775	43.059,84 €	618	1,185268	732,50 €	43.792,34 €
													0,0						
													0,0						
													0,0						

Coste Anual Antes de Impuestos eléctricos sin IVA	43.059,84 €	732,50 €	43.792,34 €
Impuesto Eléctrico			335,85 €
			44.128,18 €
IVA 21 %			9.266,92 €
COSTE ENERGETICO TOTAL ANUAL CON IMPUESTOS ELECTRICO E IVA[€]			53.395,10 €

BOMBEO EB ROBRES. PISO 2_100% Eléctrico

NECESIDAES HIDRICAS [m^3/ha]

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
	0,00	14,72	326,84	475,72	1162,88	1335,70	1909,04	1907,16	979,63	92,08	0,00	0,00	8203,76

HORAS DE RIEGO [horas/año]

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,11
P2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	155,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	155,00
P3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,72	0,00	0,00	0,00	0,00	23,72
P4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,46	0,00	132,86	0,00	0,00	0,00	0,00	138,31
P5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P6	0,00	4,22	93,62	136,27	333,10	377,14	389,71	389,71	280,61	26,37	0,00	0,00	2030,75
													0,00
													0,00
													0,00

POTENCIA CONSUMIDA KW

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
500,79	500,79	500,79	500,79	500,79	500,79	500,79	500,79	500,79	590,00	500,79	500,79

DATOS

Superficies [ha]	685
Caudal [l/s]	664
Altura bombeo m.c.a.	59,83
Potencias [kW]	
Consumida	501
Contratada	590

TÉRMINO DE ENERGÍA

	CONSUMO [kWh]												COSTE			TÉRMINO DE POTENCIA			COSTES TOTALES
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	Tarifa €/Kw	Coste	POTEN Contrat	COSTES Tarifa €/kw	Coste	
P1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1057,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1057,9	0,151097	159,84 €	600	22,417110	13.450,27 €	13.610,11 €
P2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	77621,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	77621,9	0,135441	10.513,18 €	590	20,370815	12.018,78 €	22.531,96 €
P3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11877,7	0,0	0,0	0,0	0,0	11877,7	0,125275	1.487,97 €	590	11,478137	6.772,10 €	8.260,07 €
P4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2732,3	0,0	66533,0	0,0	0,0	0,0	0,0	69265,3	0,115108	7.972,99 €	590	9,055455	5.342,72 €	13.315,71 €
P5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,104942	0,00 €	590	1,992116	1.175,35 €	1.175,35 €
P6	0,0	2111,2	46884,3	68240,5	166810,3	188868,0	195163,6	195163,6	140523,4	13208,1	0,0	0,0	1016972,9	0,094775	96.383,61 €	590	1,185268	699,31 €	97.082,92 €
													0,0						
													0,0						
													0,0						

Coste Anual Antes de Impuestos eléctricos sin IVA	116.517,60 €	39.458,52 €	155.976,13 €
Impuesto Eléctrico			1.196,19 €
			157.172,31 €
IVA 21 %			33.006,19 €
COSTE ENERGETICO TOTAL ANUAL CON IMPUESTOS ELECTRICO E IVA[€]			190.178,50 €

BOMBEO EB ROBRES. PISO 2_P6+FV

NECESIDAES HIDRICAS [m^3/ha]

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
	0,00	0,00	0,00	0,00	279,89	450,57	930,22	989,49	214,14	0,00	0,00	0,00	2864,32

HORAS DE RIEGO [horas/año]

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P6	0,00	0,00	0,00	0,00	80,17	129,06	266,45	283,43	61,34	0,00	0,00	0,00	820,46
													0,00
													0,00
													0,00

POTENCIA CONSUMIDA KW

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
500,79	500,79	500,79	500,79	500,79	500,79	500,79	500,79	500,79	590,00	500,79	500,79

DATOS

Superficies [ha]	685
Caudal [l/s]	664
Altura bombeo m.c.a.	59,83
Potencias [kW]	
Consumida	501
Contratada	590

TÉRMINO DE ENERGÍA

	CONSUMO [kWh]												COSTE			TÉRMINO DE POTENCIA			COSTES TOTALES
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN 1ª	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	Tarifa €/Kw	Coste	POTEN Contrat	COSTES Tarifa €/kw	Coste	
P1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,151097	0,00 €	0	22,417110	0,00 €	0,00 €
P2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,135441	0,00 €	0	20,370815	0,00 €	0,00 €
P3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,125275	0,00 €	0	11,478137	0,00 €	0,00 €
P4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,115108	0,00 €	0	9,055455	0,00 €	0,00 €
P5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,104942	0,00 €	0	1,992116	0,00 €	0,00 €
P6	0,0	0,0	0,0	0,0	40148,9	64633,0	133436,0	141938,4	30718,1	0,0	0,0	0,0	410874,5	0,094775	38.940,63 €	590	1,185268	699,31 €	39.639,93 €
													0,0						
													0,0						
													0,0						

Coste Anual Antes de Impuestos eléctricos sin IVA	38.940,63 €	699,31 €	39.639,93 €
Impuesto Eléctrico			304,00 €
			39.943,93 €
IVA 21 %			8.388,23 €
COSTE ENERGETICO TOTAL ANUAL CON IMPUESTOS ELECTRICO E IVA[€]			48.332,16 €

APÉNDICE 2.- ESTUDIO TRANSITORIOS

ANEJO 9.- CÁLCULOS HIDRÁULICOS DEL BOMBEO

APÉNDICE 2.- ESTUDIO TRANSITORIOS

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PRESENTE ANEJO 1
2 DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO Y METODOLOGÍA DE CÁLCULO 1
2.1 DESCRIPCIÓN DEL GOLPE DE ARIETE 1
2.1.1 GOLPE DE ARIETE. DESCRIPCIÓN POR FASES 1
2.1.2 SOLUCIONES A ADOPTAR PARA MINIMIZAR SU EFECTO 2
2.2 METODOLOGÍA DE CÁLCULO UTILIZADA 2
3 CARACTERÍSTICAS Y MODELIZACIÓN DEL SISTEMA 2
3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA IMPULSIONES 3
3.1.1 EB ROBRES. IMPULSIÓN A BALSA INTERMEDIA (P1) 3
3.1.2 EB ROBRES. IMPULSIÓN A BALSA SUPERIOR (P2) 3
3.1.3 EB SENÉS. IMPULSIÓN A BALSA SUPERIOR 3
3.2 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN 3
4 ESCENARIOS E HIPÓTESIS DEL PRESENTE ESTUDIO 3
5 EB ROBRES. IMPULSIÓN A BALSA INTERMEDIA (P1) 4
5.1 PERFIL 4
5.2 HIPÓTESIS 0 4
5.3 HIPÓTESIS 1 5
5.3.1 CON VÁLVULA DE ALIVIO 5
5.3.2 CON VÁLVULA ANTICIPADORA DE ONDA 5
5.4 CONCLUSIONES GENERALES DEL ESTUDIO 6
6 EB ROBRES. IMPULSIÓN A BALSA SUPERIOR (P2) 6
6.1 PERFIL 6
6.2 HIPÓTESIS 0 7
6.3 HIPÓTESIS 1 7
6.3.1 CON VÁLVULA DE ALIVIO Y VENTOSAS ANTIVACÍO 7
6.3.2 CON VÁLVULA ANTICIPADORA DE ONDA 8
6.4 CONCLUSIONES GENERALES DEL ESTUDIO 8
7 EB SENÉS. IMPULSIÓN A BALSA SUPERIOR 9
7.1 PERFIL 9
7.2 HIPÓTESIS 0 9
7.3 HIPÓTESIS 1 9
7.3.1 CON VÁLVULA ANTICIPADORA DE ONDA Y VENTOSAS ANTIVACÍO 10
7.3.2 CON CALDERÍN ANTIARIETE DE VEJIGA 10
7.4 CONCLUSIONES GENERALES DEL ESTUDIO 11
8 CONCLUSIONES GENERALES 11

APÉNDICE 2.- ESTUDIO TRANSITORIOS

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PRESENTE ANEJO

El estudio hidráulico detallado de los fenómenos transitorios en redes a presión es importante por tres motivos:

- Garantiza la seguridad de las instalaciones ante los efectos potencialmente destructivos de los mismos.
- Define y optimiza los sistemas de protección, si son necesarios, en el sentido de realizar su proyecto eficaz y del lado de la seguridad, sin incurrir en sobredimensionados.
- Ahorra costes en la construcción de la red, cuando es posible, ajustando los diámetros y timbrajes respecto a los dados por los criterios iniciales durante el dimensionado.

En cualquier caso, se consigue una mayor fiabilidad en el diseño, y ello se traduce en menores problemas y riesgos en explotación, que también tiene una clara traducción económica.

En las siguientes páginas se va a proceder a realizar una explicación de los fenómenos transitorios, teniendo en cuenta la teoría aplicar, los métodos de protección frente a los fenómenos transitarios, la metodología de cálculo de los mismos para la distintas hipótesis para las tuberías de impulsión, así como la descripción de las protecciones propuestas.

2 DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO Y METODOLOGÍA DE CÁLCULO

2.1 DESCRIPCIÓN DEL GOLPE DE ARIETE

El fenómeno del golpe de ariete, también denominado transitorio, consiste en la alternancia de depresiones y sobrepresiones debido al movimiento oscilatorio de ondas de presión generadas por variaciones de caudal repentinas en un tramo o en la instalación.

Este fenómeno, el cual se puede dar en instalaciones de transporte de fluido tanto en impulsiones directas como en abastecimientos por presión natural, puede generar por un lado situaciones de sobrepresión y/o depresión que puede afectar al comportamiento mecánico de los materiales de la tubería y por tanto a la instalación, y por otro, situaciones de cavitación que si llega a ser severa pueda derivar en daños por cavitación a la instalación.

El valor de la sobrepresión y de la depresión debe tenerse en cuenta a la hora de dimensionar la capacidad mecánica de las tuberías y por tanto del timbraje de las mismas, no obstante, y de forma genérica, el peligro de rotura debido a la depresión no es importante si los diámetros son muy pequeños. Otro aspecto fundamental en el diseño de las instalaciones es el estudio de equipos de protección que garanticen la viabilidad y durabilidad de la instalación.

Otro aspecto a tener en cuenta en el diseño es la posibilidad de que se produzca el fenómeno de la cavitación. Este se producirá si en algún caso el valor de la depresión iguala a la presión de vapor del líquido. En ese momento se producirán cavidades de vapor en el fluido, las cuales colapsarán con el incremento de presión producido en la fase de sobrepresión del transitorio, el colapso de estas cavidades de vapor de agua producirá un chorro de agua. Si este colapso se produce en las proximidades de algún elemento puede ocasionar erosiones en los materiales de la instalación y por tanto en su deterioro.

Por lo tanto, el correcto estudio del golpe de ariete es fundamental en el dimensionamiento de las tuberías, ya que un dimensionado erróneo puede conducir a:

1. Un sobredimensionamiento de las conducciones, con lo que la instalación se encarece de forma innecesaria.

2. Tubería calculada por defecto, con el consiguiente riesgo de que se produzca una rotura.

2.1.1 GOLPE DE ARIETE. DESCRIPCIÓN POR FASES

En el caso de impulsiones, se inicia una depresión aguas abajo de la bomba, que se traslada hacia el final para transformarse en compresión que retrocede a la bomba.

Cuando se produce la parada del grupo de bombeo, el fluido, inicialmente circulando con velocidad (v), continuará en movimiento a lo largo de la tubería hasta que la depresión a la salida del grupo ocasionada por la ausencia de líquido (el que avanza no es repuesto, no es "empujado"), provoque su parada. En estas condiciones, viaja una onda depresiva, que además va deteniendo el fluido, de tal manera que al cabo de un cierto tiempo toda la tubería está bajo los efectos de una depresión y con el líquido en reposo. Ha concluido la primera etapa del golpe de ariete.

Como la presión al final del sistema es siempre superior a la de la tubería, que se encuentra bajo los efectos de la depresión, se inicia un retroceso del fluido hacia la válvula de retención con velocidad (-v). Con el agua en sentido contrario, nuevamente se tiene la presión de partida en la tubería, de manera que al cabo de un cierto tiempo toda ella estará sometida a la presión inicial y con el fluido circulando a velocidad (-v).

El inicio de la tercera fase es una consecuencia del choque del líquido contra la válvula de retención. El resultado es un brusco aumento de presión y una detención progresiva del fluido, de modo que al cabo de un cierto tiempo todo el líquido de la tubería está en reposo y la conducción sometida a una sobrepresión de la misma magnitud que la depresión inicial.

En la cuarta fase comienza la descompresión, iniciándose de nuevo el movimiento, por lo que al cabo de un tiempo la situación es idéntica a la que teníamos al principio. Comienza un nuevo ciclo.

2.1.2 SOLUCIONES A ADOPTAR PARA MINIMIZAR SU EFECTO

Para reducir el efecto del golpe de ariete se pueden instalar alguno o una combinación de los equipos que se enumeran a continuación.

- Ventosas
- Ventosas amortiguadoras del golpe de ariete
- Válvulas de retención
- Válvula de alivio rápido
- Válvulas anticipadoras de onda
- Tanques unidireccionales
- Volante de inercia
- Chimenea de equilibrio
- Calderín

2.2 METODOLOGÍA DE CÁLCULO UTILIZADA

Para el cálculo del golpe de ariete se utiliza el software informático HAMMER desarrollado por Bentley. Este software permite:

- Desarrollar rentables estrategias de control
- Evitar costosos daños de infraestructura
- Modelar cualquier dispositivo de protección
- Minimizar el desgaste de las tuberías
- Simular cualquier condición transitoria
- Asegurar la longevidad del sistema de abastecimiento de agua
- Preparar suministros eléctricos y reducir al mínimo las interrupciones de servicio

HAMMER utiliza el Método de las Características cómo norma de referencia y, sin duda, el más riguroso y robusto algoritmo de análisis de flujos transitorios hidráulicos.

Algoritmos como el Método Wave Plan (a.k.a. the Wave Characteristic Method) aseguran la exactitud de sus soluciones sólo computando resultados y cruces. El Método de las Características calcula los resultados a lo largo de la tubería, y captura con precisión cambios críticos que podrían haberse perdido.

La versión del software utilizada es Bentley Hammer v8i.

Una de las ecuaciones más importantes es la que permite el cálculo de la celeridad, que rige la velocidad de propagación de la onda del transitorio a lo largo del sistema:

Donde:

e= espesor de la tubería

D= diámetro exterior de la tubería

K= módulo elástico del material

Para el caso que nos ocupa la celeridad calculada para las tuberías de PRFV DN1000 y DN800 PN10 es de 415 m/s y 425 m/s respectivamente.

3 CARACTERÍSTICAS Y MODELIZACIÓN DEL SISTEMA

Para el estudio se han parametrizado las tuberías, la geometría de las rasantes y la ubicación de los elementos, así como la definición de los equipos de bombeo.

En este sentido el programa permite cargar los parámetros generales, la geometría de la impulsión, los datos de nodos y elementos, las especificaciones del análisis y realizar la consulta de resultados, numérica o gráfica. Los detalles de la configuración de la red, tales como equipos de bombeo y elementos de protección (ventosas, válvulas, ...) se introducen cumplimentando todos los formularios y etapas necesarios para su definición.

Los tramos de tuberías de impulsión se han creado eligiendo, como nodos extremos de los tramos, los vértices significativos, donde es posible instalar elementos de protección (tales como las ventosas, tanques unidireccionales, chimenea de equilibrio, ...), los nodos con cotas desfavorables (puntos más elevados y con cotas relativas más bajas de cada tramo) así como los puntos de potencial cambio de timbraje y ubicación de estaciones de bombeo.

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA IMPULSIONES

3.1.1 EB ROBRES. IMPULSIÓN A BALSA INTERMEDIA (P1)

El trazado previsto para la impulsión a la Balsa Intermedia de Robres, estará compuesto por una tubería con las siguientes características:

- Diámetro: 1000 mm
- Material: PRFV PN10
- Longitud: 1.331 m (+admisión 156m DN1200 PRFV).
- Rugosidad (k): 0,007 mm

En cuanto a los equipos de bombeo, tenemos:

- 1 bomba de 90 kW con un caudal máximo de 152,78 l/s
- 4 bomba de 160 kW con un caudal máximo de 228,33 l/s
- Altura de bombeo: 42,52 mca
- Caudal máximo bombeado: 1.065 l/s

Cotas:

- Cota del agua en la Balsa Inferior (Nivel Medio): 383,5 m
- Cota del agua en la Balsa Intermedia (Nivel Medio): 420,5 m

3.1.2 EB ROBRES. IMPULSIÓN A BALSA SUPERIOR (P2)

El trazado previsto para la impulsión a la Balsa Superior de Robres, estará compuesto por una tubería con las siguientes características:

- Diámetro: 800 mm
- Material: PRFV PN10
- Longitud: 1.589 m (+admisión 156m DN1200 PRFV).
- Rugosidad (k): 0,007 mm

En cuanto a los equipos de bombeo, tenemos:

- 1 bomba de 110 kW con un caudal máximo de 117,78 l/s
- 3 bomba de 200 kW con un caudal máximo de 182,22 l/s
- Altura de bombeo: 59,83 mca
- Caudal máximo bombeado: 664,44 l/s

Cotas:

- Cota del agua en la Balsa Inferior (Nivel Medio): 383,5 m
- Cota del agua en la Balsa Superior (Nivel Medio): 437,05 m

3.1.3 EB SENÉS. IMPULSIÓN A BALSA SUPERIOR

El trazado previsto para la impulsión a la Balsa Superior de Senés, estará compuesto por una tubería con las siguientes características:

- Diámetro: 1000 mm
- Material: PRFV PN10
- Longitud: 2.098 m
- Rugosidad (k): 0,007 mm

En cuanto a los equipos de bombeo, tenemos:

- 1 bomba de 110 kW con un caudal máximo de 118,56 l/s
- 4 bomba de 200 kW con un caudal máximo de 236,11 l/s
- Altura de bombeo: 58,27 mca
- Caudal máximo bombeado: 1.062,5 l/s

Cotas:

- Cota del agua en la Cántara (Nivel Medio): 385,2 m
- Cota del agua en la Cántara (Nivel Mínimo): 382,7 m
- Cota del agua en la Cántara (Nivel Máximo): 387,7 m
- Cota del agua en la Balsa Superior (Nivel Medio): 437,05 m

3.2 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

A lo largo de ambas tuberías de impulsión se instalarán una serie de elementos de protección como son ventosas, válvulas de retención y válvulas anticipadoras de onda (éstas últimas en el interior de la estación de bombeo).

4 ESCENARIOS E HIPÓTESIS DEL PRESENTE ESTUDIO

En el presente estudio se consideran diferentes hipótesis, las cuales determinarán las necesidades de protección y su influencia en el funcionamiento, o de manejo de la red para que no se produzcan sobrepresiones ni depresiones importantes.

Se estudia el comportamiento de las Impulsiones frente a los transitorios que se puedan dar durante su explotación. Se pueden dar estos fenómenos por varios motivos, como pueden ser las operaciones normales del bombeo como pueden ser el arranque y el paro de bombas, cierre de válvulas de seccionamiento o válvulas antirretorno, colapso de tuberías o el paro brusco de un equipo de bombeo por el corte eléctrico.

Esta situación de parada de bomba por desconexión instantánea de la alimentación eléctrica, es sin lugar a duda, la situación crítica. Por lo que se puede concluir que, si la tubería está protegida frente al golpe de ariete por corte eléctrico, estará protegida frente al resto de fenómenos.

Para ello se estudia el periodo de tiempo necesario para que se sucedan todos los acontecimientos de sobrepresiones y depresiones hasta su regulación. En este caso se estudian al menos 250 segundos desde la parada de bombas.

Se estudian 2 hipótesis:

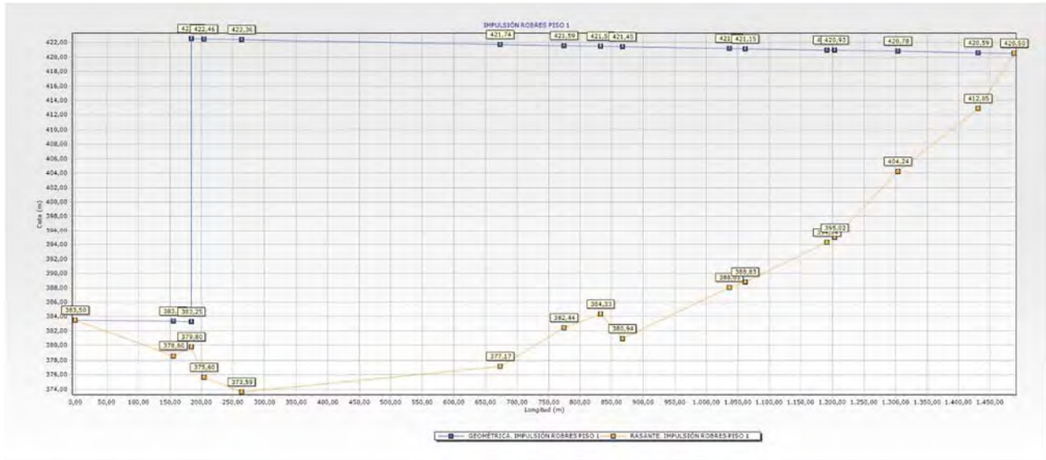
- **Hipótesis 0.** Comportamiento de la red ante la parada de las bombas sin ningún tipo de protección adicional a las ventosas trifuncionales propias de las instalaciones presurizadas.

- **Hipótesis 1,** en la que se dispondrá de ventosas trifuncionales a lo largo de la impulsión a modo de protección, así como protecciones al inicio de la impulsión, en la Estación de bombeo, como son una válvula de alivio de sobrepresión y by-pass conectado con la tubería de aspiración.
  a) Válvula Alivio rápido DN200
  b) Válvula Anticipadora de onda, DN 200
     (Combinando la posibilidad de Ventosas Antivacío de alta capacidad DN 150)
  c) Calderían antiariete de vejiga

5 EB ROBRES. IMPULSIÓN A BALSA INTERMEDIA (P1)

5.1 PERFIL

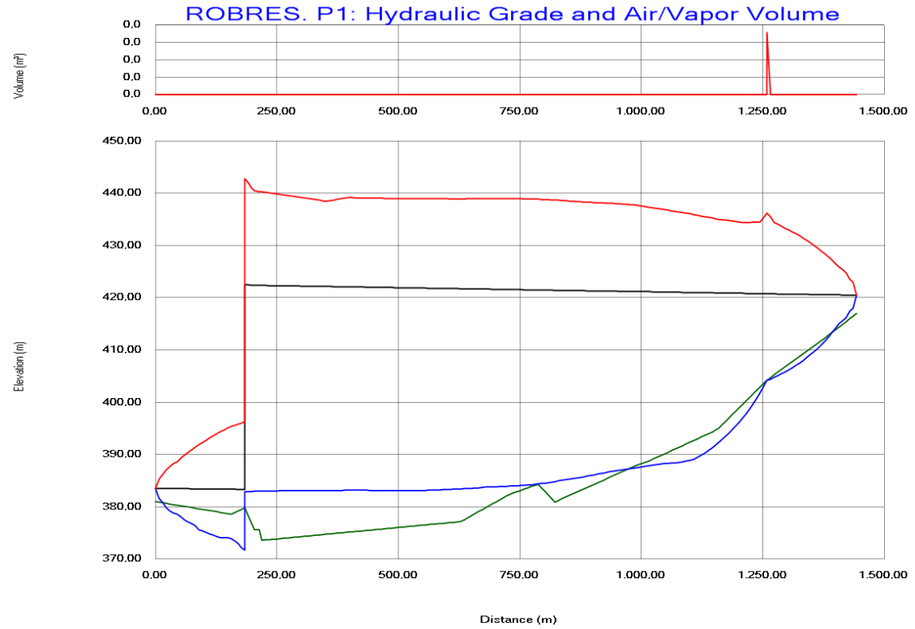
En la siguiente gráfica se representa el perfil de la impulsión desde la EB Robres hasta la Balsa Intermedia con ventosas trifuncionales DN 150 (2 unidades).



En la gráfica se aprecia en azul la línea piezométrica y en naranja la geométrica del perfil a la cota de rasante de la tubería.

5.2 HIPÓTESIS 0

En el siguiente gráfico se muestra los resultados del transitorio, para la hipótesis 0, es decir sin elementos de protección.



La línea roja, marca la onda de sobrepresiones, como se puede observar, hay puntos que se alcanza una sobrepresión de 61,6 mca respecto a la cota del terreno. En cuanto a las depresiones, se observa zonas de la impulsión con depresión, donde se alcanza un valor de depresión de casi 3,2 mca. Con estas depresiones en ningún momento se alcanzaría la presión de vapor del agua, evitando así la aparición de fenómenos de cavitación en la tubería.

- Pmax: 441,4 msnm en Bomba 3, cota bomba 379,8, presiones 61,6 max. Zonas con presión negativas.
- Pmin: pk 1.125, rasante 391,6 msnm, piezométrica 388,40 msnm, depresión -3,2 mca.

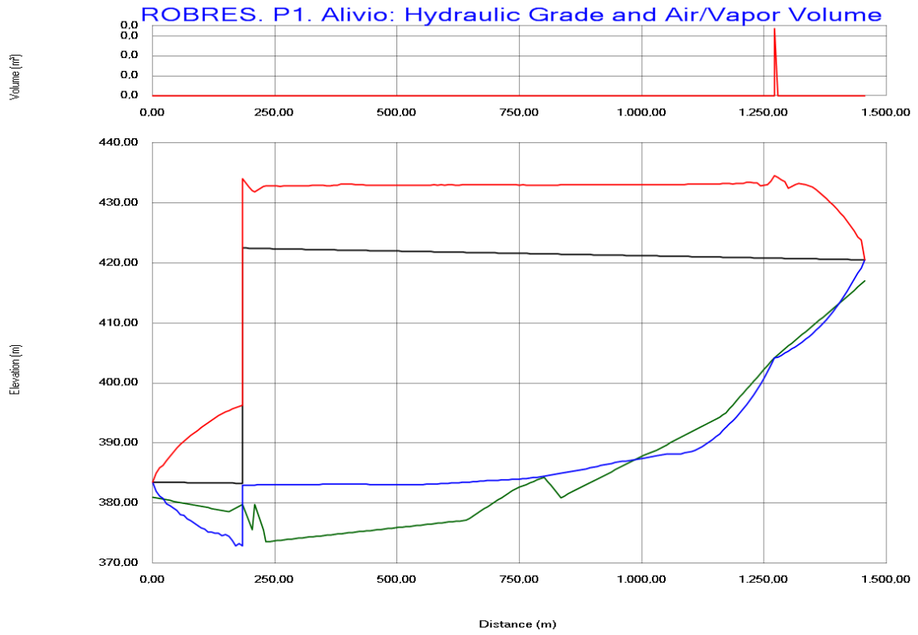
El hecho de observar depresiones en la admisión, y de que en este tipo de instalaciones se doten por sistema con by-pass para absorver depresiones y válvula alivio o anticipadora de onda para compensar sobrespresiones y depresiones en la impulsión, hace que se analice la influencia de estos equipos sobre la admisión y la impulsión. Estos análisis de sincluyen en la Hipótesis 1.

5.3 HIPÓTESIS 1

En el siguiente gráfico se muestra los resultados del transitorio, para la hipótesis 1, es decir con protecciones adicionales a las ventosas trifuncionales previstas en los puntos singulares de la red, es decir, con las protecciones en la EB como válvula de alivio o válvula anticipadora de onda y by-pass.

5.3.1 CON VÁLVULA DE ALIVIO

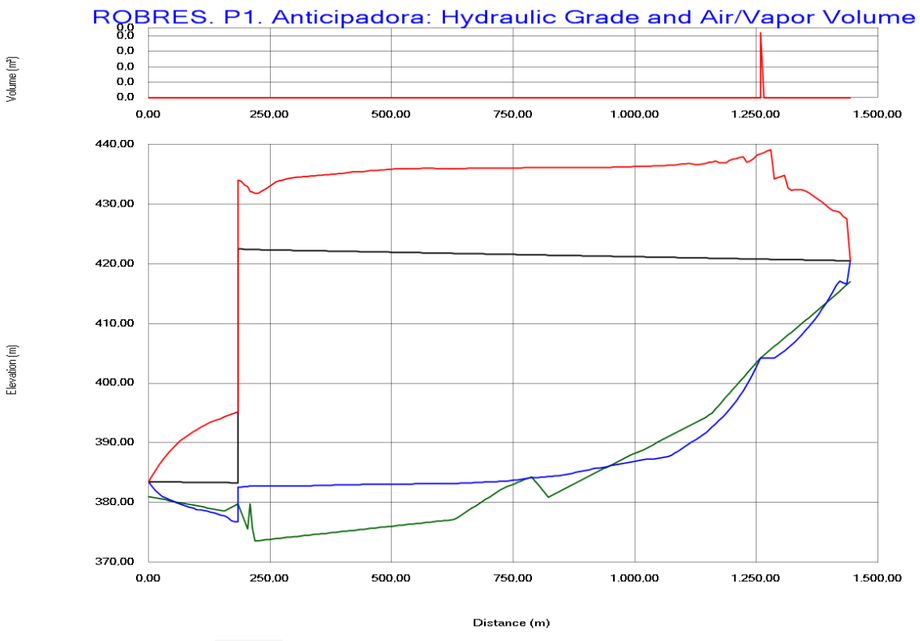
Con la introducción de la válvula de alivio DN200, el by-pass y las ventosas trifuncionales, se ha conseguido reducir el efecto de las sobrepresiones, quedando la máxima en 53,4 mca. En cuanto a las depresiones, se observa zonas de la impulsión con depresión, donde se alcanza un valor de depresión de casi 3,2 mca. Con estas depresiones en ningún momento se alcanzaría la presión de vapor del agua, evitando así la aparición de fenómenos de cavitación en la tubería.



- Pmax: 433,2 msnm en Bomba 3, cota bomba 379,8, presiones 53,4 max. Zonas con presión negativas.
- Pmin: pk 1.123, rasante 391,4 msnm, piezométrica 388,40 msnm, depresión -3,0 mca. Admisibles para este tipo de tuberías.
  En Bombeo, rasante 379,8, piezométrica, 372,9, depresión -6,9 mca

5.3.2 CON VÁLVULA ANTICIPADORA DE ONDA

Con la introducción de la válvula de anticipadora DN200, el by-pass y las ventosas trifuncionales, se ha conseguido reducir el efecto de las sobrepresiones, quedando la máxima en 74,4 mca. En cuanto a las depresiones, prácticamente se han conseguido anular, siendo el valor máximo de depresión de 0,2 mca en el punto más desfavorable. Con estas depresiones en ningún momento se alcanzaría la presión de vapor del agua, evitando así la aparición de fenómenos de cavitación en la tubería.



- Pmax: 434,0 msnm en Bomba 3, cota bomba 379,8, presiones 54,2 max. Zonas con presión negativas.
- Pmin: pk 1.123, rasante 393,4 msnm, piezométrica 390,5 msnm, depresión -2,9 mca. Admisibles para este tipo de tuberías.
- En admisión las depresiones se corrigen, siendo casi despreciables.

5.4 CONCLUSIONES GENERALES DEL ESTUDIO

Como se ha demostrado en el presente estudio, la instalación prevista está completamente protegida frente a los posibles transitorios que se pueden generar durante la vida útil de la instalación.

Atendiendo al procedimiento habitual de instalar válvulas de protección en este tipo de instalaciones de bombeo a balsas elevadas, se plantea una **protección mediante válvula anticipadora de onda DN200, el by-pass previsto en el bombeo, las ventosas trifuncionales**. Es por ello, que atendiendo a las características mecánicas de la tubería PRFV DN 1000 PN10, y las protecciones m3encionadas anteriormente para la impulsión (válvulas) se considera que está perfectamente protegida frente a los posibles transitorios.

En la tubería de impulsión, tubería de PRFV DN1000 SN10000 PN10, hay que destacar que se generarán de unas mínimas depresiones de en torno a -3,2 mca, y que no afectarán a la tubería instalada, ya que es perfectamente capaz de resistir depresiones mayores.

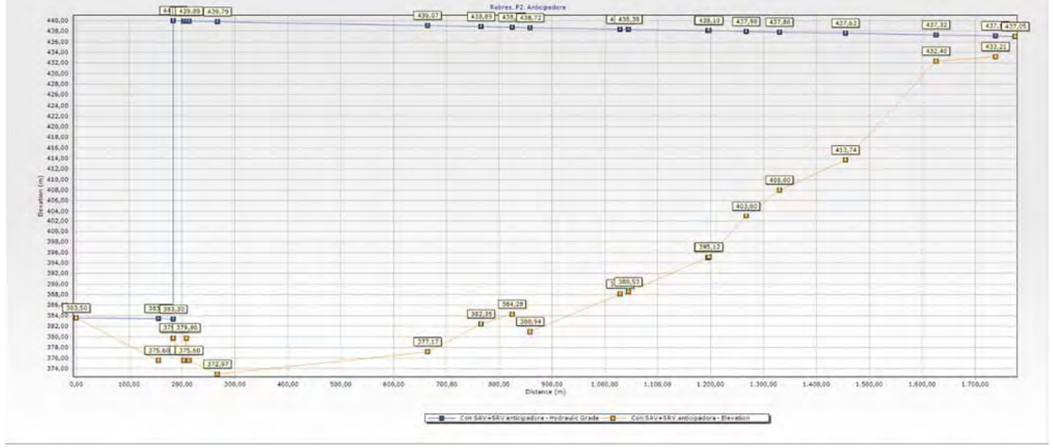
En el Anexo de cálculos mecánico se analiza la situación más crítica para esta tubería según las protecciones elegidas, produc8iéndose entorno al pk 1+123, dándose en ese punto los siguientes parámetros a soprotar por la tubería:

- Presión de trabajo 27,6 mca
- Sobrepresión 15,6 mca
- Depresión -2,9 mca

6 EB ROBRES. IMPULSIÓN A BALSA SUPERIOR (P2)

6.1 PERFIL

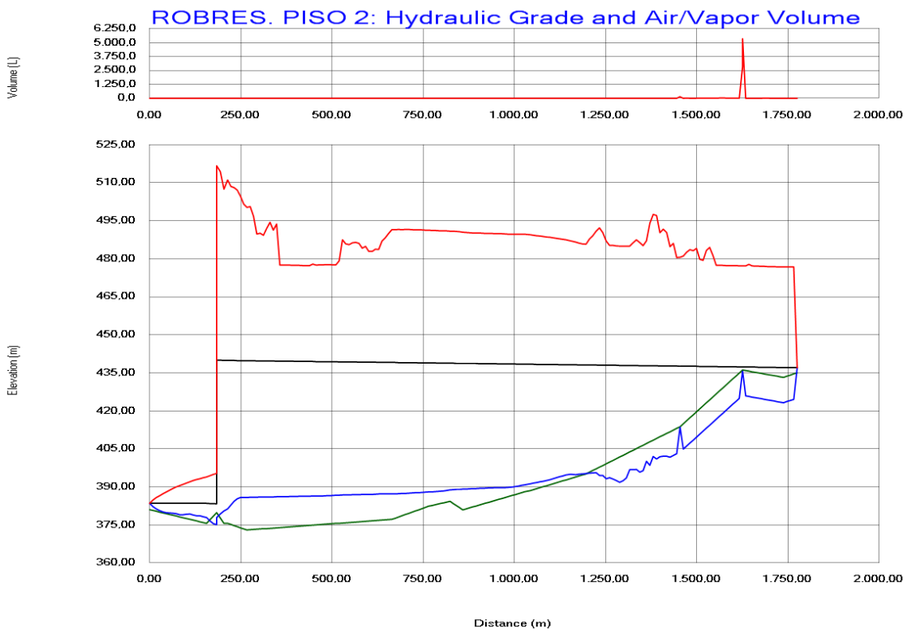
En la siguiente gráfica se representa el perfil de la impulsión desde la EB Robres hasta la Balsa Superior con ventosas trifuncionales DN 150 (4 unidades).



En la gráfica se aprecia en azul la línea piezométrica y en naranja la geométrica del perfil a la cota de rasante de la tubería.

6.2 HIPÓTESIS 0

En el siguiente gráfico se muestra los resultados del transitorio, para la hipótesis 0, es decir sin elementos de protección.



La línea roja, marca la onda de sobrepresiones, como se puede observar, hay puntos que se alcanza una sobrepresión de 136,6 mca respecto a la cota del terreno. En cuanto a las depresiones, se observa zonas de la impulsión con depresión, donde se alcanza un valor de depresión de casi -10 mca. Por lo que es más que probable, que se alcance la presión de vaporización del agua y se produzcan fenómenos de cavitación.

- Pmax: 516,7 msnm en Bomba 2, cota bomba 379,8, presiones 136,6 max. Zonas con presión negativas.
- Pmin: pk 1500, rasante 420,8 msnm, piezométrica 410,8 msnm, depresión -10,0 mca.

Atendiendo a estas situaciones se analizan opciones para reducir tanto las sobrepresiones como las depresiones anteriomente indicadas.

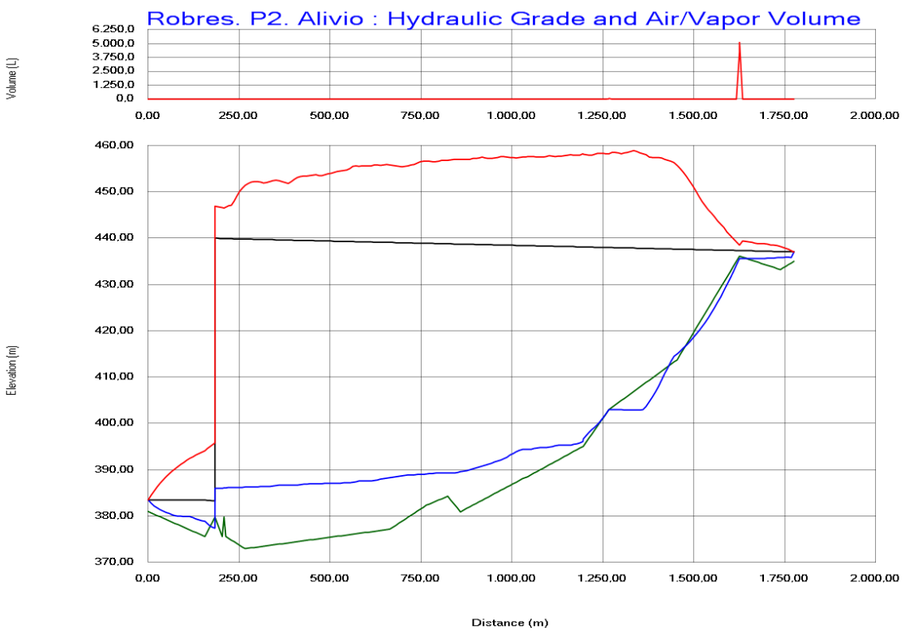
Estos análisis de sincluyen en la Hipótesis 1.

6.3 HIPÓTESIS 1

En el siguiente gráfico se muestra los resultados del transitorio, para la hipótesis 1, es decir con protecciones adicionales a las ventosas trifuncionales previstas en los puntos singulares de la red, es decir, con las protecciones en la EB como válvula de alivio o válvula anticipadora de onda y by-pass.

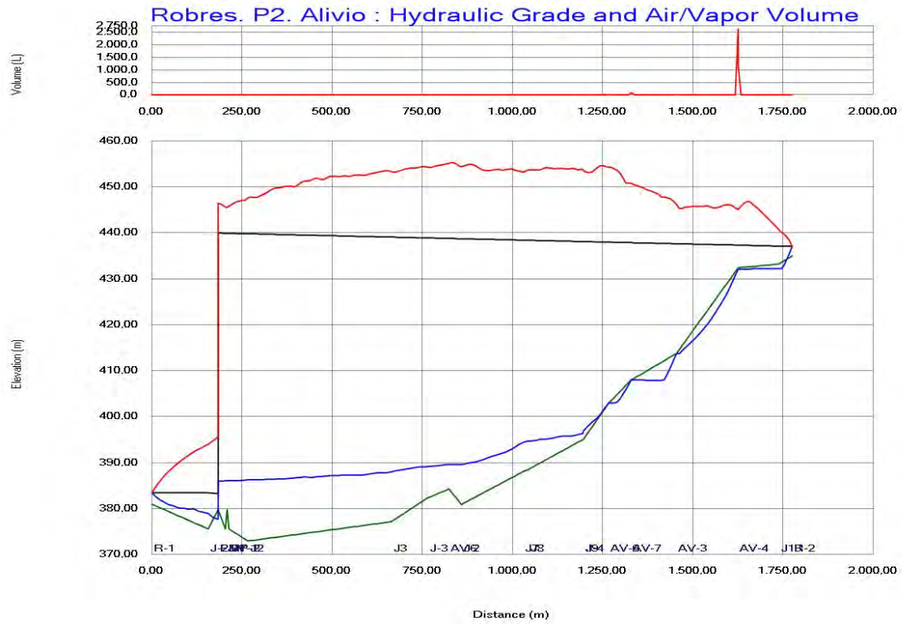
6.3.1 CON VÁLVULA DE ALIVIO Y VENTOSAS ANTIVACÍO

Con la introducción de la válvula de alivio DN200, el by-pass y las ventosas trifuncionales, se reducen las sobrepresiones y se alivian las depresiones, pero se siguen considerando elevadas, es por ellos que se intruducen ventosas antivacío en las 3 tres ventosas finales con el objetivo de recudir todavía más las depresiones. Con este planteamiento, y una presión de tarado en la válvula de alivio de 61 mca, se ha conseguido reducir el efecto de las sobrepresiones, quedando la máxima en 67,1 mca. En cuanto a las depresiones, se observa zonas de la impulsión con depresión, donde se alcanza un valor de depresión de casi 5,0 mca. Con estas depresiones en ningún momento se alcanzaría la presión de vapor del agua, evitando así la aparición de fenómenos de cavitación en la tubería pero debe garantizarse la resistencia mecánica de la tubería.



- Pmax: 446,9 msnm en Bomba 3, cota bomba 379,8, presiones 67,1 max.
- Pmin: pk 1.352, rasante 407,9 msnm, piezométrica 402,90 msnm, depresión -5,0 mca.

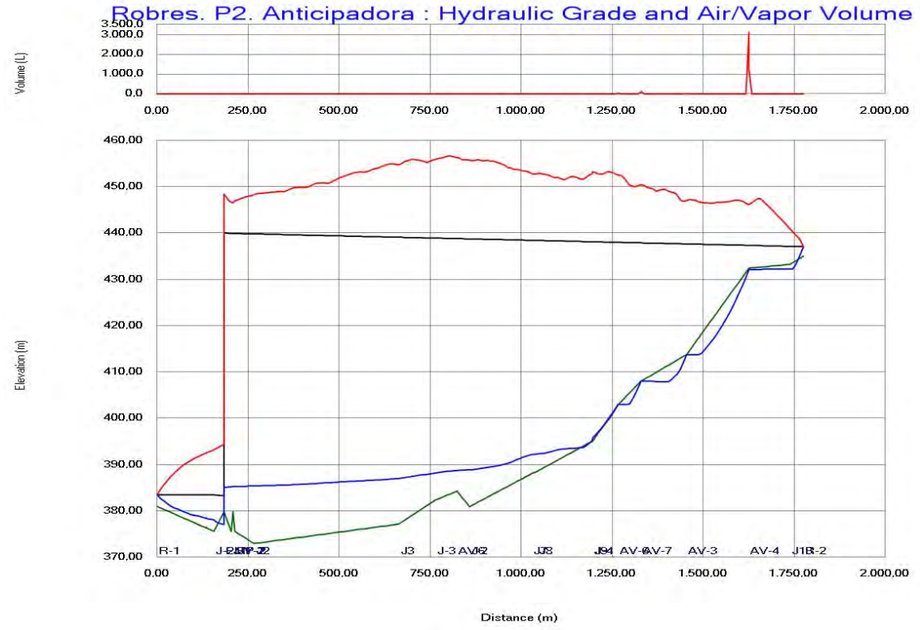
Para reducir todavía más las depresiones se incluye una nueva válvula antivacío DN 150, de forma que la impulsión dispondrá de 1 ventosas trifuncionales y 4 antivacío, reduciendo la depresión hasta los -3,5 mca.



- Pmax: 446,4 msnm en Bomba 2, cota bomba 379,8, presiones 66,6 max.
- Pmin: pk 1.404, rasante 411,4 msnm, piezométrica 407,9 msnm, depresión -3,5 mca.
  Al añadir una nueva ventosa en el entorno del pk 1.400 se corrige algo la depresión situándose entorno al -3,5 mca, considerándos un valor admisible.

6.3.2 CON VÁLVULA ANTICIPADORA DE ONDA

Con la introducción de la válvula de anticipadora DN200, el by-pass y las ventosas trifuncionales y de vacío expuestas en el apartado anterior se ha conseguido reducir el efecto de las sobrepresiones y reducir las depresiones, quedando la máxima en 68,8 mca. En cuanto a las depresiones, prácticamente se han conseguido anular, siendo el valor máximo de depresión de -3,5 mca en el punto más desfavorable. Con estas depresiones en ningún momento se alcanzaría la presión de vapor del agua, evitando así la aparición de fenómenos de cavitación en la tubería pero debe garantizarse la resistencia mecánica de la tubería.



- Pmax: 448,4 msnm en Bomba 2, cota bomba 379,8, presiones 68,6 max.
- Pmin: pk 1.404, rasante 411,4 msnm, piezométrica 407,9 msnm, depresión -3,5 mca.

6.4 CONCLUSIONES GENERALES DEL ESTUDIO

Como se ha demostrado en el presente estudio, la instalación prevista está completamente protegida frente a los posibles transitorios que se pueden generar durante la vida útil de la instalación.

Atendiendo al procedimiento habitual de instalar válvulas de protección en este tipo de instalaciones de bombeo a balsas elevadas, se plantea una protección mediante **válvula de alivio DN200, el by-pass previsto en el bombeo, las ventosas trifuncionales y la instalación de ventosas antivacío DN 150 en parte de la impulsión.** Es por ello, que atendiendo a las características mecánicas de la tubería PRFV DN 1000 PN10, y las protecciones m3encionadas anteriormente para la impulsión (válvulas) se considera que está perfectamente protegida frente a los posibles transitorios.

En la tubería de impulsión, tubería de PRFV DN800 SN10000 PN10, hay que destacar que se generarán de unas mínimas depresiones de en torno a -3,5 mca, y que no afectarán a la tubería instalada, ya que es perfectamente capaz de resistir depresiones mayores.

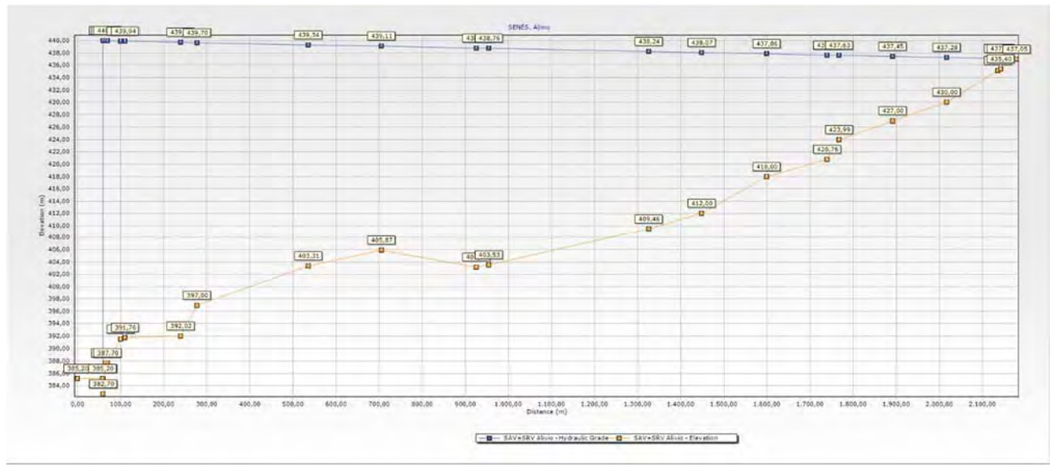
En el Anexo de cálculos mecánico se analiza la situación más crítica para esta tubería según las protecciones elegidas, produc8iéndose entorno al pk 1+404, dándose en ese punto los siguientes parámetros a soprotar por la tubería:

- Presión de trabajo 26,3 mca
- Sobrepresión 10,7 mca
- Depresión -3,5 mca

7 EB SENÉS. IMPULSIÓN A BALSA SUPERIOR

7.1 PERFIL

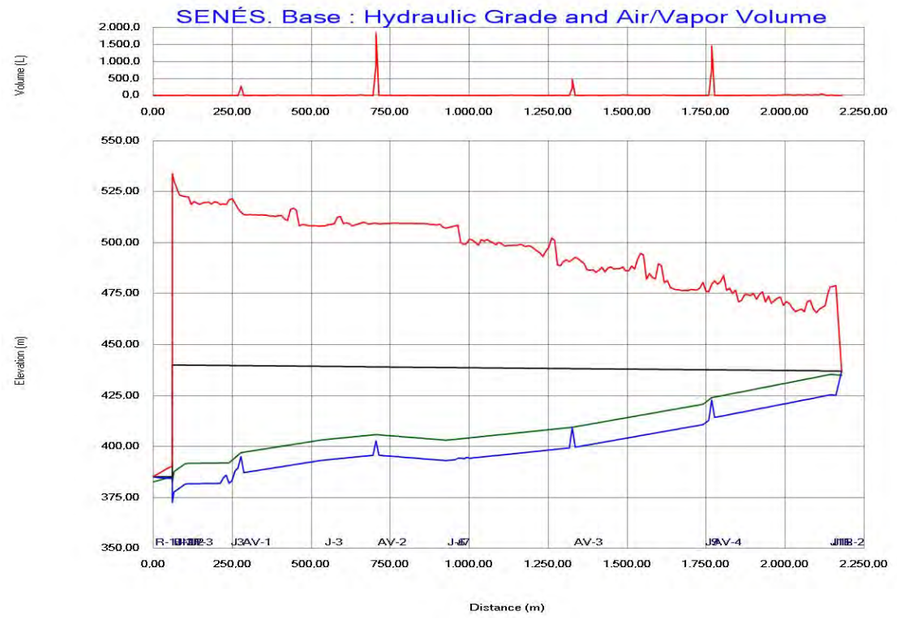
En la siguiente gráfica se representa el perfil de la impulsión desde la EB Senés hasta la Balsa Superior con ventosas trifuncionales DN 150 (4 unidades).



En la gráfica se aprecia en azul la línea piezométrica y en naranja la geométrica del perfil a la cota de rasante de la tubería.

7.2 HIPÓTESIS 0

En el siguiente gráfico se muestra los resultados del transitorio, para la hipótesis 0, es decir sin elementos de protección.



La línea roja, marca la onda de sobrepresiones, como se puede observar, hay puntos que se alcanza una sobrepresión de 151,2 mca respecto a la cota del terreno. En cuanto a las depresiones, se observa zonas de la impulsión con depresión, donde se alcanza un valor de depresión de casi -10 mca. Por lo que es más que probable, que se alcance la presión de vaporización del agua y se produzcan fenómenos de cavitación.

- Pmax: 533,9 msnm en Bomba 3, cota bomba 382,7, presiones 151,2 max. Zonas con presión negativas.
- Pmin: pk 305, rasante 397,7 msnm, piezométrica 387,7 msnm, depresión -10,0 mca.

Atendiendo a estas situaciones se analizan opciones para reducir tanto las sobrepresiones como las depresiones anteriomente indicadas.

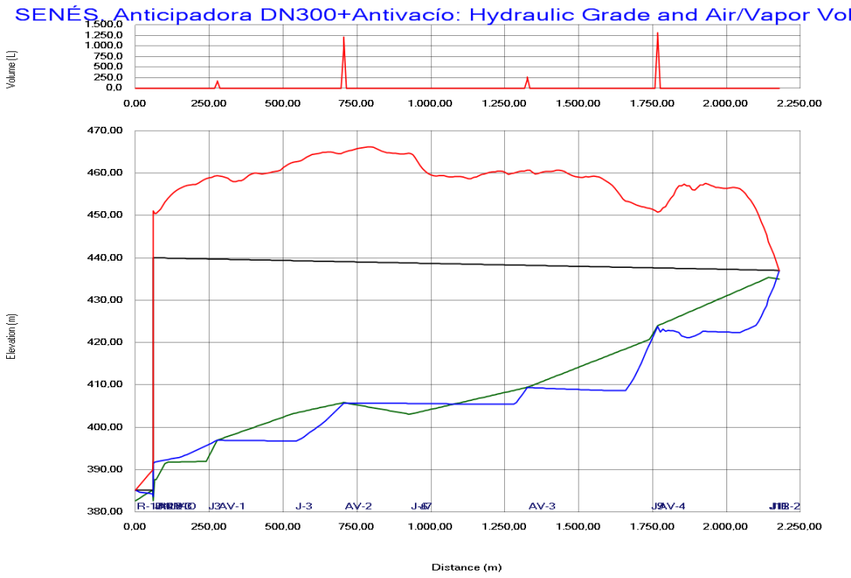
Estos análisis de sincluyen en la Hipótesis 1.

7.3 HIPÓTESIS 1

En el siguiente gráfico se muestra los resultados del transitorio, para la hipótesis 1, es decir con protecciones adicionales a las ventosas trifuncionales previstas en los puntos singulares de la red, es decir, con las protecciones en la EB como válvula anticipadora de onda y by-pass. En este caso no se analiza la válvula de alivio por la la configuración del bombeo (captación en cántara).

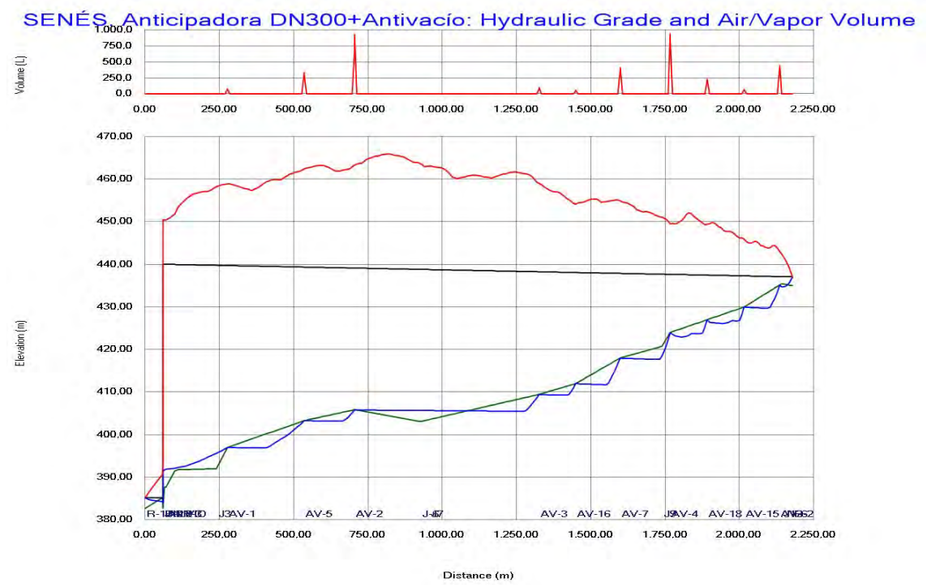
7.3.1 CON VÁLVULA ANTICIPADORA DE ONDA Y VENTOSAS ANTIVACÍO

Con la introducción de la válvula de anticipadora DN300, el by-pass y la sustitución de las ventosas trifuncionales por ventosas antivacío, se reducen las sobrepresiones y se alivian las depresiones, pero se siguen considerando elevadas, es por ellos que se intruducen ventosas antivacío en toda la impulsión con el objetivo de recudir todavía más las depresiones. Con este planteamiento, y una presión de tarado en la válvula de alivio de 59,5 mca, se ha conseguido reducir el efecto de las sobrepresiones, quedando la máxima en 67,1 mca. En cuanto a las depresiones, se observa zonas de la impulsión con depresión, donde se alcanza un valor de depresión de casi 5,0 mca. Con estas depresiones en ningún momento se alcanzaría la presión de vapor del agua, evitando así la aparición de fenómenos de cavitación en la tubería pero debe garantizarse la resistencia mecánica de la tubería.



- Pmax: 451,1 msnm en Bomba 3, cota bomba 382,7, presiones 68,4 max. Zonas con presión negativas.
- Pmin: pk 2.054, rasante 432,7 msnm, piezométrica 422,7 msnm, depresión -10,0 mca.

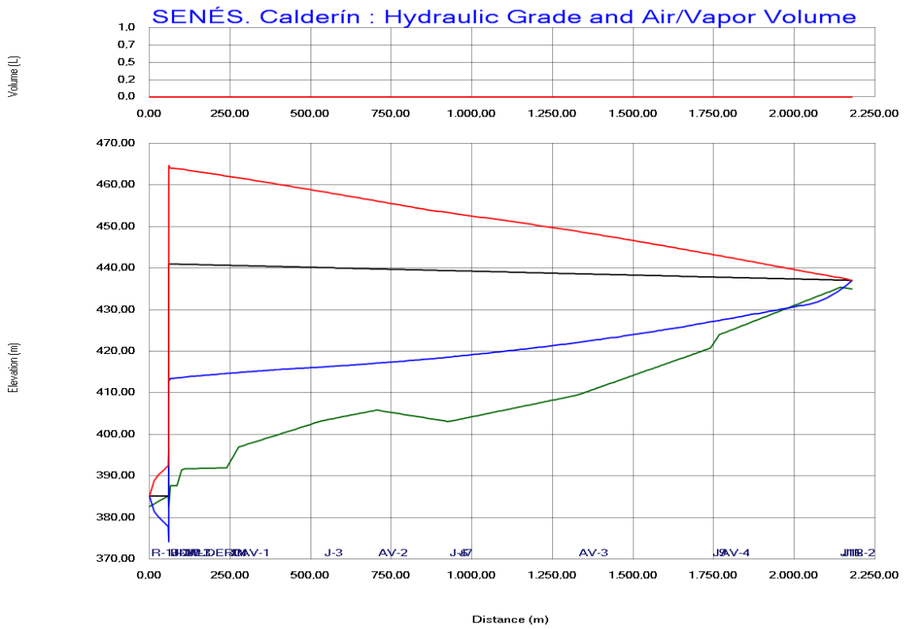
Para reducir todavía más las depresiones se incluyen nuevas válvulas antivacío DN 150, de forma que la impulsión dispondrá un total de 10 ventosas antivacío, reduciendo la depresión hasta los -4,4 mca.



- Pmax: 451,1 msnm en Bomba 3, cota bomba 382,7, presiones 68,4 max.
- Pmin: pk 1.551, rasante 416,1 msnm, piezométrica 411,7 msnm, depresión -4,4 mca, las depresiones son admisibles.

7.3.2 CON CALDERÍN ANTIARIETE DE VEJIGA

Con la introducción de un calderín antiariete de vejiga de 30 m^3, y las ventosas antivacío DN 150 indicadas en el apartado anterior se ha conseguido reducir el efecto de las sobrepresiones y reducir las depresiones, quedando la máxima en 76,2 mca. En cuanto a las depresiones, prácticamente se han conseguido anular, siendo el valor máximo de depresión de -1,0 mca en el punto más desfavorable. Con estas depresiones en ningún momento se alcanzaría la presión de vapor del agua, evitando así la aparición de fenómenos de cavitación en la tubería pero debe garantizarse la resistencia mecánica de la tubería.



- Pmax: 387,7 msnm en Calderín, cota bomba 463,9, presiones 76,2 max.
- Pmin: pk 2.100, rasante 434,6 msnm, piezométrica 433,6 msnm, depresión -1,0 mca.

7.4 CONCLUSIONES GENERALES DEL ESTUDIO

Como se ha demostrado en el presente estudio, la instalación prevista está completamente protegida frente a los posibles transitorios que se pueden generar durante la vida útil de la instalación.

Atendiendo a la configuración de esta impulsión, con captación de bombas en cántara y la imposibilidad de plantear un by-pass que permita la admisión de agua para compensar depresiones en la parada de bombas, se plantea el análisis de una válvula anticipadora de onda DN 300 con ventosas antivacío o de un calderín antiariete de vejiga.

Tras el estudio de los resultados, y al menor coste de las válvuals frente a un calderín antiariete y ventosas trifuncionales, se plantea una protección mediante **válvula de anticipadora de onda DN300 y la instalación de ventosas antivacío DN 150 en toda la impulsión.** Es por ello, que atendiendo a las características mecánicas de la tubería PRFV DN 1000 PN10, y las protecciones mencionadas anteriormente para la impulsión (válvulas) se considera que está perfectamente protegida frente a los posibles transitorios.

En la tubería de impulsión, tubería de PRFV DN100 SN10000 PN10, hay que destacar que se generarán de unas mínimas depresiones de en torno a -4,4 mca, y que no afectarán a la tubería instalada, ya que es perfectamente capaz de resistir depresiones mayores.

En el Anexo de cálculos mecánico se analiza la situación más crítica para esta tubería según las protecciones elegidas, produc8iéndose entorno al pk 1+551, dándose en ese punto los siguientes parámetros a soprotar por la tubería:

- Presión de trabajo 21,8 mca
- Sobrepresión 16,8 mca
- Depresión -4,4 mca

8 CONCLUSIONES GENERALES

Como se ha demostrado en el presente estudio, las instalaciones están completamente protegidas frente a los posibles transitorios que se pueden generar durante la vida útil de la instalación.

Tras este primer análisis se determina que:

- **Impulsión a Balsa Intermedia Robres**. Válvula anticipadora DN 200, con tarado 38-43 mca, y ventosas trifuncionales DN 150. Pmáx, 54,2 mca. Pmín, -2,9.
- **Impulsión a Balsa Superior Robres**. Válvula alivio DN 200, con tarado 61 mca, y ventosas trifuncionales y antivacío DN 150. Pmáx, 66,6 mca. Pmín, -3,5.
  En los puntos altos con antivacío se complementarán con purgadores de 1” para garantizar la evacuación de aire con la tubería presurizada.
- **Impulsión a Balsa Superior Senés**. Válvula anticipadora DN 300, con tarado 55-59,5 mca, y ventosas antivacío DN 150. Pmáx, 68,4 mca. Pmín, -4,4.
  En los puntos altos con antivacío se complementarán con purgadores de 1” para garantizar la evacuación de aire con la tubería presurizada.

ANEXO. CALCULOS MECÁNICOS IMPULSIONES. RESISTENCIA A DEPRESIONES SEGÚN LO INCIADO EN EL APÉNDICE

Estudio estático para tuberías Amiblu

Proyecto: COLLARADA
Fecha: 03/02/2023
Empresa: Amiblu Sales South (Spain, Italy, South America)

Este programa es una herramienta gratuita, que puede ser utilizada por personas con conocimientos técnicos en el cálculo estático de tuberías. El programa no puede reemplazar al ingeniero responsable.

Los cálculos son únicamente válidos para nuestros productos. Todos los datos de partida del cálculo deben ser verificados por el usuario para asegurar que corresponden con las condiciones de la obra. Los resultados del cálculo pueden conseguirse sólo si se asegura que los datos de partida corresponden con los reales.

Contenido

1 Diseño de tuberías enterradas según AWWA M45 **3**
1.1 Entrada de datos 3
1.2 Valores de la base de datos 3
1.2.1 Condiciones de instalación 3
1.2.2 Parámetros de carga 3
1.2.3 Opciones de deflexión avanzadas 3
1.3 Resultados 4
1.3.1 Confirmación de la clase de presión 4
1.3.2 Verificando la presión de trabajo 4
1.3.3 Verificando el golpe de ariete 4
1.3.4 Cálculo de la deflexión máxima admisible 4
1.3.5 Cálculo de la carga del suelo 5
1.3.6 Cálculo de las cargas debidas al tráfico 5
1.3.7 Cálculo del módulo compuesto del suelo confinado 5
1.3.8 Cálculo de la deflexión prevista 5
1.3.9 Verificación de la carga combinada 5
1.3.9.1 A la profundidad de instalación mínima 6
1.3.9.2 A la profundidad de instalación máxima 6
1.3.10 Verificación del colapsamiento 6

1 Diseño de tuberías enterradas según AWWA M45

1.1 Entrada de datos

Suposiciones:	-
Conclusiones:	-
Añadir boceto para imprimir:	Si
Tubo de la base de datos:	Si
Tubo seleccionado:	PN10 SN10000 DN1000
Tipo de tubo de PRFV:	Pressure Series (FP 2.1)
Tubería de presión:	Si
Presión nominal:	PN 10 [bar]
Rigidez nominal:	SN 10000 [N/m²]
Diámetro nominal:	DN 1000 [mm]

1.2 Valores de la base de datos

Diámetro exterior:	OD	1.025	mm
Espesor nominal de la pared reforzada (ASTM D3567):	t	18,2	mm
Espesor del liner:	t_L	1,0	mm
Espesor de pared total:	t_t	19,2	mm
Módulo de elasticidad en sentido circunferencial:	E_H	10.154,1	N/mm²
Base hidrostática de diseño:	HDB	0,65	%
Alargamiento unitario a la deflexión, largo plazo:	SB	1,30	%
Ring bending strain, long-term, pressureless fall:	SB_{cv}	1,30	%

1.2.1 Condiciones de instalación

Profundidad de instalación máxima:	H_{max}	2,5	m
Profundidad de instalación mínima:	H_{min}	1,0	m
Nivel freático:	No		
Anchura de zanja:	B_d	1,3	m
Tipo de relleno:	SC1: Piedra triturada, < 15% arena, < 5% finos		
Tipo de relleno:	Compactado		
Peso unitario del material de relleno:	γ_s	18,8	kN/m³
Peso específico por debajo del nivel freático:	$\gamma_s H$	11,5	kN/m³
Material de relleno de la zona de la tubería y compactación:	Grava; compactación: moderada a alta		
Tipo de suelo natural:	Cohesivo		
Suelo natural (cohesivo):	Muy firme (qu = 200 - 400 kPa)		
Lecho de zanja:	Soporte del lecho uniforme (Kx = 0,083)		

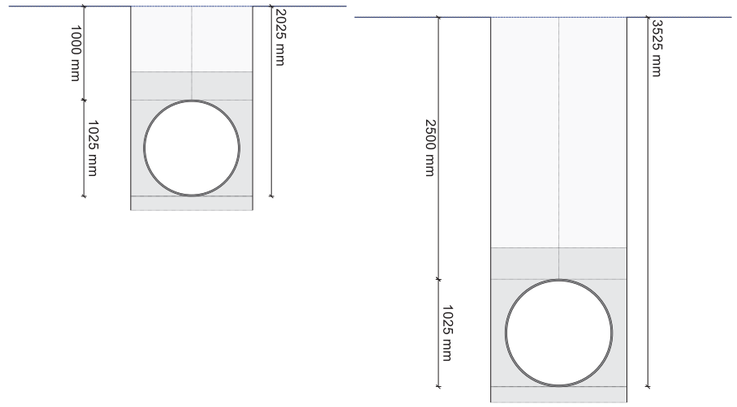
1.2.2 Parámetros de carga

Presión de trabajo:	P_w	2,18	bar
Sobrepresión:	P_s	1,68	bar
Presión de vacío:	P_v	0,44	bar
Carga de tráfico:	Carga camión HS 20		

1.2.3 Opciones de deflexión avanzadas

Coeficiente de deflexión estándar / factor de retardo:	Si
Deflexión estándar admisible (5%):	Si

Carga de tráfico: Carga camión HS 20



1.3 Resultados

Diámetro medio del tubo:	D	1.006,75	mm
SN:	SN	10.000,0	N/m²
Rigidez del tubo:	PS	536.912,75	N/m²

1.3.1 Confirmación de la clase de presión

Clase de presión:	P_c	10,00	bar
Valor para (HDB/FS)(2t · EH / D):	$P_{c,max}$	13,29	bar

La clase de presión es inferior a (HDB/FS)(2t·EH/D).

1.3.2 Verificando la presión de trabajo

Presión de trabajo:	P_w	2,18	bar
Clase de presión:	P_c	10,00	bar

La presión de trabajo es inferior a la clase de presión del tubo.

1.3.3 Verificando el golpe de ariete

Presión de trabajo:	P_w	2,18	bar
Sobrepresión:	P_s	1,68	bar
Clase de presión:	P_c	10,00	bar

La presión de trabajo + golpe de ariete es inferior a 1.4 veces la clase de presión de la tubería.

1.3.4 Cálculo de la deflexión máxima admisible

Alargamiento unitario a largo plazo debido a la flexión anular:	S_b	1,30	%
Factor de forma:	D_f	3,8	[-]
Deflexión vertical del tubo máxima admisible a largo plazo (absoluta):	Δy_a	120,10	mm
Deflexión vertical del tubo máxima admisible a largo plazo (relativa):	$\Delta y_{a\%}$	11,93	%
Deflexión admisible:	$\delta d_\%$	5,00	%

La deflexión calculada es menor que la deflexión vertical del tubo máxima admisible a largo plazo.

1.3.5 Cálculo de la carga del suelo

		a la profundidad mínima	a la profundidad máxima	
Altura de recubrimiento	H	1,00	2,50	m
Carga vertical del suelo sobre el tubo	W_c	18,80	47,00	kN/m²
Carga vertical del suelo sobre el tubo, considerando la flotación	W_c'	18,80	47,00	kN/m²

1.3.6 Cálculo de las cargas debidas al tráfico

Carga de tráfico: Carga camión HS 20

		a la profundidad mínima	a la profundidad máxima	
Factor de impacto	I_f	1,19	1,00	[-]
Factor de distribución de la carga de tráfico con la profundidad de relleno	LLDF	1,15	1,15	[-]
Longitud de la huella del neumático	t_l	254	254	mm
Anchura de carga paralela a la dirección de circulación	L_1	1,40	3,13	m
Ancho de la huella del neumático	t_w	508	508	mm
Profundidad a la cual interactúa la carga de las ruedas	h_{int}	1,1	1,1	m

$$L_2 = t_w + LLDF \cdot H \qquad (5\text{-}13)$$

Anchura de carga perpendicular a la dirección de circulación	L_2	1,66	2,61	m
Carga de rueda en superfície	P	71,3	71,3	kN
Carga de tráfico en superficie	W_L	43,91	10,49	kN/m²

1.3.7 Cálculo del módulo compuesto del suelo confinado

		a la profundidad mínima	a la profundidad máxima	
Factor adicional debido a tensiones verticales (nota 7, tabla 5-4)	f_w	1,00	1,00	[-]
Módulo del suelo confinado de la zona de relleno del tubo	M_{sb}	19,48	25,68	N/mm²
Módulo del suelo confinado del suelo natural en la zona del tubo	M_{sn}	34,47	34,47	N/mm²
Factor de soporte del suelo combinado	S_c	1,55	1,27	[-]
Módulo compuesto del suelo confinado	M_s	30,20	32,59	N/mm²

1.3.8 Cálculo de la deflexión prevista

		a la profundidad mínima	a la profundidad máxima	
Coeficientede soporte del lecho	K_x	0,083	0,083	[-]
Factor de retardo de laa deflexión	D_L	1,500	1,500	[-]
Deflexión vertical del tubo prevista	Δy/D	0,31	0,33	%
Deflexión admisible	δd%	5,00	5,00	%
		Δy/D < δd~%	Δy/D < δd~%	

La deflexión prevista es inferior a la admisible.

1.3.9 Verificación de la carga combinada

Alargamiento unitario a largo plazo debido a la flexión anular: S_b 1,30 %

		a la profundidad mínima	a la profundidad máxima	
Factor de seguridad del diseño a presión	FS_{pr}	1,80	1,80	[-]
Factor de seguridad del diseño a flexión	FS_b	1,50	1,50	[-]
Coeficiente de redondeo	r_c	0,93	0,93	[-]
Alargamiento unitario de trabajo debido a la presión interna	ε_{pr}	0,06	0,06	%
Alargamiento unitario de trabajo debido a la deflexión máxima admisible	ε_b	0,36	0,36	%
Epr / HDB		0,09	0,09	[-]
[1 - ((εb rc) / Sb)] / FSpr		0,41	0,41	[-]

(εb rc) / Sb	0,26	0,26	[-]
[1 - (εpr / HDB)] / FSb	0,61	0,61	[-]

1.3.9.1 A la profundidad de instalación mínima

La carga combinada (alargamiento unitario debido a la presión interna) es correcta.

La carga combinada (alargamiento unitario debido a la maxima deflexión admisible) es correcta.

1.3.9.2 A la profundidad de instalación máxima

La carga combinada (alargamiento unitario debido a la presión interna) es correcta.

La carga combinada (alargamiento unitario debido a la maxima deflexión admisible) es correcta.

1.3.10 Verificación del colapsamiento

		a la profundidad mínima	a la profundidad máxima	
Coeficiente de seguridad al colapsamiento	FS	2,50	2,50	[-]
Coeficiente escalar de calibración para tomar en consideración los efectos no liniales	C_n'	0,55	0,55	[-]
Factor para tomar en consideración la variabilidad de la rigidez del suelo compactado	φ_s'	0,90	0,90	[-]
Factor de corrección del módulo para el coeficiente de Poisson del suelo	κ_u'	0,74	0,74	[-]
Factor de correción para la profundidad de relleno	R_h'	0,95	1,00	[-]
Presión de colapsamiento admisible	q_a	813,70	901,55	kN/m²
Peso especifico del agua	γ_w	9,80	9,80	kN/m³
Altura del nivel freático por encima del tubo	h_w	0,00	0,00	m
Factor de fotabilidad	R_W	1,00	1,00	[-]
Presión de colapsamiento, nivel freático + carga de suelo + vacío	q_v	62,80	91,00	kN/m²
		qv < qa	qv < qa	

La presión de colapsamiento calculada debida al nivel freático, presión del suelo y presión de vacío es inferior a la presión de colapsamiento admisible.

Presión de colapsamiento, Nivel freático + suelo + tráfico	q_w	62,71	57,49	kN/m²
		qw < qa	qw < qa	

La presión de colapsamiento calculada debida al nivel freático, presión del suelo y trafico es inferior a la presión de colapsamiento admisible.

Todas las pruebas necesarias son correctas.

Estudio estático para tuberías Amiblu

Proyecto: COLLARADA
Fecha: 03/02/2023
Empresa: Amiblu Sales South (Spain, Italy, South America)

Este programa es una herramienta gratuita, que puede ser utilizada por personas con conocimientos técnicos en el cálculo estático de tuberías. El programa no puede reemplazar al ingeniero responsable.

Los cálculos son únicamente válidos para nuestros productos. Todos los datos de partida del cálculo deben ser verificados por el usuario para asegurar que corresponden con las condiciones de la obra. Los resultados del cálculo pueden conseguirse sólo si se asegura que los datos de partida corresponden con los reales.

Contenido

1 Diseño de tuberías enterradas según AWWA M45 **3**
1.1 Entrada de datos 3
1.2 Valores de la base de datos 3
1.2.1 Condiciones de instalación 3
1.2.2 Parámetros de carga 3
1.2.3 Opciones de deflexión avanzadas 3
1.3 Resultados 4
1.3.1 Confirmación de la clase de presión 4
1.3.2 Verificando la presión de trabajo 4
1.3.3 Verificando el golpe de ariete 4
1.3.4 Cálculo de la deflexión máxima admisible 4
1.3.5 Cálculo de la carga del suelo 5
1.3.6 Cálculo de las cargas debidas al tráfico 5
1.3.7 Cálculo del módulo compuesto del suelo confinado 5
1.3.8 Cálculo de la deflexión prevista 5
1.3.9 Verificación de la carga combinada 5
1.3.9.1 A la profundidad de instalación mínima 6
1.3.9.2 A la profundidad de instalación máxima 6
1.3.10 Verificación del colapsamiento 6

1 Diseño de tuberías enterradas según AWWA M45

1.1 Entrada de datos

Suposiciones:	-
Conclusiones:	-
Añadir boceto para imprimir:	Si
Tubo de la base de datos:	Si
Tubo seleccionado:	PN10 SN10000 DN1000
Tipo de tubo de PRFV:	Pressure Series (FP 2.1)
Tubería de presión:	Si
Presión nominal:	PN 10 [bar]
Rigidez nominal:	SN 10000 [N/m²]
Diámetro nominal:	DN 1000 [mm]

1.2 Valores de la base de datos

Diámetro exterior:	OD	1.025	mm
Espesor nominal de la pared reforzada (ASTM D3567):	t	18,2	mm
Espesor del liner:	t_L	1,0	mm
Espesor de pared total:	t_t	19,2	mm
Módulo de elasticidad en sentido circunferencial:	E_H	10.154,1	N/mm²
Base hidrostática de diseño:	HDB	0,65	%
Alargamiento unitario a la deflexión, largo plazo:	SB	1,30	%
Ring bending strain, long-term, pressureless fall:	SB_{cv}	1,30	%

1.2.1 Condiciones de instalación

Profundidad de instalación máxima:	H_{max}	2,5	m
Profundidad de instalación mínima:	H_{min}	1,0	m
Nivel freático:	No		
Anchura de zanja:	B_d	1,3	m
Tipo de relleno:	SC1: Piedra triturada, < 15% arena, < 5% finos		
Tipo de relleno:	Compactado		
Peso unitario del material de relleno:	γ_s	18,8	kN/m³
Peso específico por debajo del nivel freático:	$\gamma_s H$	11,5	kN/m³
Material de relleno de la zona de la tubería y compactación:	Grava; compactación: moderada a alta		
Tipo de suelo natural:	Cohesivo		
Suelo natural (cohesivo):	Muy firme (qu = 200 - 400 kPa)		
Lecho de zanja:	Soporte del lecho uniforme (Kx = 0,083)		

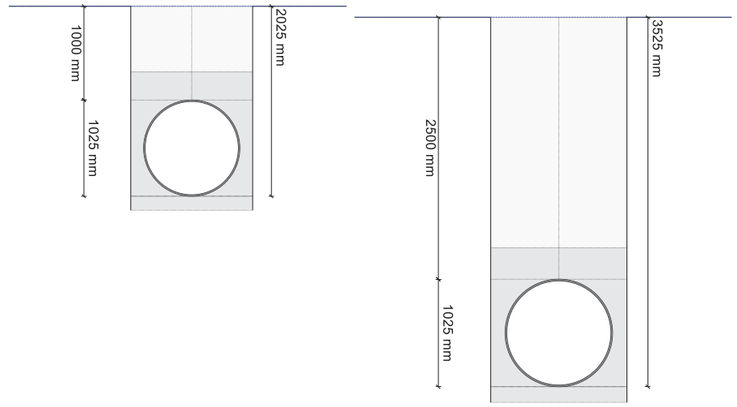
1.2.2 Parámetros de carga

Presión de trabajo:	P_w	2,76	bar
Sobrepresión:	P_s	1,56	bar
Presión de vacío:	P_v	0,29	bar
Carga de tráfico:	Carga camión HS 20		

1.2.3 Opciones de deflexión avanzadas

Coeficiente de deflexión estándar / factor de retardo:	Si
Deflexión estándar admisible (5%):	Si

Carga de tráfico: Carga camión HS 20



1.3 Resultados

Diámetro medio del tubo:	D	1.006,75	mm
SN:	SN	10.000,0	N/m²
Rigidez del tubo:	PS	536.912,75	N/m²

1.3.1 Confirmación de la clase de presión

Clase de presión:	P_c	10,00	bar
Valor para (HDB/FS)(2t · EH / D):	$P_{c,max}$	13,29	bar

La clase de presión es inferior a (HDB/FS)(2t·EH/D).

1.3.2 Verificando la presión de trabajo

Presión de trabajo:	P_w	2,76	bar
Clase de presión:	P_c	10,00	bar

La presión de trabajo es inferior a la clase de presión del tubo.

1.3.3 Verificando el golpe de ariete

Presión de trabajo:	P_w	2,76	bar
Sobrepresión:	P_s	1,56	bar
Clase de presión:	P_c	10,00	bar

La presión de trabajo + golpe de ariete es inferior a 1.4 veces la clase de presión de la tubería.

1.3.4 Cálculo de la deflexión máxima admisible

Alargamiento unitario a largo plazo debido a la flexión anular:	S_b	1,30	%
Factor de forma:	D_f	3,8	[-]
Deflexión vertical del tubo máxima admisible a largo plazo (absoluta):	Δy_a	120,10	mm
Deflexión vertical del tubo máxima admisible a largo plazo (relativa):	$\Delta y_{a\%}$	11,93	%
Deflexión admisible:	$\delta d_\%$	5,00	%

La deflexión calculada es menor que la deflexión vertical del tubo máxima admisible a largo plazo.

1.3.5 Cálculo de la carga del suelo

		a la profundidad mínima	a la profundidad máxima	
Altura de recubrimiento	H	1,00	2,50	m
Carga vertical del suelo sobre el tubo	W_c	18,80	47,00	kN/m²
Carga vertical del suelo sobre el tubo, considerando la flotación	W_c'	18,80	47,00	kN/m²

1.3.6 Cálculo de las cargas debidas al tráfico

Carga de tráfico: Carga camión HS 20

		a la profundidad mínima	a la profundidad máxima	
Factor de impacto	I_f	1,19	1,00	[-]
Factor de distribución de la carga de tráfico con la profundidad de relleno	LLDF	1,15	1,15	[-]
Longitud de la huella del neumático	t_l	254	254	mm
Anchura de carga paralela a la dirección de circulación	L_1	1,40	3,13	m
Ancho de la huella del neumático	t_w	508	508	mm
Profundidad a la cual interactúa la carga de las ruedas	h_{int}	1,1	1,1	m

$$L_2 = t_w + LLDF \cdot H \quad (5\text{-}13)$$

Anchura de carga perpendicular a la dirección de circulación	L_2	1,66	2,61	m
Carga de rueda en superfície	P	71,3	71,3	kN
Carga de tráfico en superficie	W_L	43,91	10,49	kN/m²

1.3.7 Cálculo del módulo compuesto del suelo confinado

		a la profundidad mínima	a la profundidad máxima	
Factor adicional debido a tensiones verticales (nota 7, tabla 5-4)	f_w	1,00	1,00	[-]
Módulo del suelo confinado de la zona de relleno del tubo	M_{sb}	19,48	25,68	N/mm²
Módulo del suelo confinado del suelo natural en la zona del tubo	M_{sn}	34,47	34,47	N/mm²
Factor de soporte del suelo combinado	S_c	1,55	1,27	[-]
Módulo compuesto del suelo confinado	M_s	30,20	32,59	N/mm²

1.3.8 Cálculo de la deflexión prevista

		a la profundidad mínima	a la profundidad máxima	
Coeficientede soporte del lecho	K_x	0,083	0,083	[-]
Factor de retardo de laa deflexión	D_L	1,500	1,500	[-]
Deflexión vertical del tubo prevista	Δy/D	0,31	0,33	%
Deflexión admisible	δd%	5,00	5,00	%
		Δy/D < δd~%	Δy/D < δd~%	

La deflexión prevista es inferior a la admisible.

1.3.9 Verificación de la carga combinada

Alargamiento unitario a largo plazo debido a la flexión anular: S_b 1,30 %

		a la profundidad mínima	a la profundidad máxima	
Factor de seguridad del diseño a presión	FS_{pr}	1,80	1,80	[-]
Factor de seguridad del diseño a flexión	FS_b	1,50	1,50	[-]
Coeficiente de redondeo	r_c	0,91	0,91	[-]
Alargamiento unitario de trabajo debido a la presión interna	ε_{pr}	0,07	0,07	%
Alargamiento unitario de trabajo debido a la deflexión máxima admisible	ε_b	0,36	0,36	%
Epr / HDB		0,12	0,12	[-]
[1 - ((εb rc) / Sb)] / FSpr		0,41	0,41	[-]
(εb rc) / Sb		0,25	0,25	[-]
[1 - (εpr / HDB)] / FSb		0,59	0,59	[-]

1.3.9.1 A la profundidad de instalación mínima

La carga combinada (alargamiento unitario debido a la presión interna) es correcta.

La carga combinada (alargamiento unitario debido a la maxima deflexión admisible) es correcta.

1.3.9.2 A la profundidad de instalación máxima

La carga combinada (alargamiento unitario debido a la presión interna) es correcta.

La carga combinada (alargamiento unitario debido a la maxima deflexión admisible) es correcta.

1.3.10 Verificación del colapsamiento

		a la profundidad mínima	a la profundidad máxima	
Coeficiente de seguridad al colapsamiento	FS	2,50	2,50	[-]
Coeficiente escalar de calibración para tomar en consideración los efectos no liniales	C_n'	0,55	0,55	[-]
Factor para tomar en consideración la variabilidad de la rigidez del suelo compactado	φ_s'	0,90	0,90	[-]
Factor de corrección del módulo para el coeficiente de Poisson del suelo	κ_u'	0,74	0,74	[-]
Factor de correción para la profundidad de relleno	R_h'	0,95	1,00	[-]
Presión de colapsamiento admisible	q_a	813,70	901,55	kN/m²
Peso especifico del agua	γ_w	9,80	9,80	kN/m³
Altura del nivel freático por encima del tubo	h_w	0,00	0,00	m
Factor de fotabilidad	R_W	1,00	1,00	[-]
Presión de colapsamiento, nivel freático + carga de suelo + vacío	q_v	47,80	76,00	kN/m²
		qv < qa	qv < qa	

La presión de colapsamiento calculada debida al nivel freático, presión del suelo y presión de vacío es inferior a la presión de colapsamiento admisible.

Presión de colapsamiento, Nivel freático + suelo + tráfico	q_w	62,71	57,49	kN/m²
		qw < qa	qw < qa	

La presión de colapsamiento calculada debida al nivel freático, presión del suelo y trafico es inferior a la presión de colapsamiento admisible.

Todas las pruebas necesarias son correctas.

Estudio estático para tuberías Amiblu

Proyecto: COLLARADA
Fecha: 03/02/2023
Empresa: Amiblu Sales South (Spain, Italy, South America)

Este programa es una herramienta gratuita, que puede ser utilizada por personas con conocimientos técnicos en el cálculo estático de tuberías. El programa no puede reemplazar al ingeniero responsable.

Los cálculos son únicamente válidos para nuestros productos. Todos los datos de partida del cálculo deben ser verificados por el usuario para asegurar que corresponden con las condiciones de la obra. Los resultados del cálculo pueden conseguirse sólo si se asegura que los datos de partida corresponden con los reales.

Contenido

1 Diseño de tuberías enterradas según AWWA M45 **3**
1.1 Entrada de datos 3
1.2 Valores de la base de datos 3
1.2.1 Condiciones de instalación 3
1.2.2 Parámetros de carga 3
1.2.3 Opciones de deflexión avanzadas 3
1.3 Resultados 4
1.3.1 Confirmación de la clase de presión 4
1.3.2 Verificando la presión de trabajo 4
1.3.3 Verificando el golpe de ariete 4
1.3.4 Cálculo de la deflexión máxima admisible 4
1.3.5 Cálculo de la carga del suelo 5
1.3.6 Cálculo de las cargas debidas al tráfico 5
1.3.7 Cálculo del módulo compuesto del suelo confinado 5
1.3.8 Cálculo de la deflexión prevista 5
1.3.9 Verificación de la carga combinada 5
1.3.9.1 A la profundidad de instalación mínima 6
1.3.9.2 A la profundidad de instalación máxima 6
1.3.10 Verificación del colapsamiento 6

1 Diseño de tuberías enterradas según AWWA M45

1.1 Entrada de datos

Suposiciones:	-
Conclusiones:	-
Añadir boceto para imprimir:	Si
Tubo de la base de datos:	Si
Tubo seleccionado:	PN10 SN10000 DN800
Tipo de tubo de PRFV:	Pressure Series (FP 2.1)
Tubería de presión:	Si
Presión nominal:	PN 10 [bar]
Rigidez nominal:	SN 10000 [N/m²]
Diámetro nominal:	DN 800 [mm]

1.2 Valores de la base de datos

Diámetro exterior:	OD	821	mm
Espesor nominal de la pared reforzada (ASTM D3567):	t	14,5	mm
Espesor del liner:	t_L	1,0	mm
Espesor de pared total:	t_t	15,5	mm
Módulo de elasticidad en sentido circunferencial:	E_H	10.096,2	N/mm²
Base hidrostática de diseño:	HDB	0,65	%
Alargamiento unitario a la deflexión, largo plazo:	SB	1,30	%
Ring bending strain, long-term, pressureless fall:	SB_{cv}	1,30	%

1.2.1 Condiciones de instalación

Profundidad de instalación máxima:	H_{max}	2,5	m
Profundidad de instalación mínima:	H_{min}	1,0	m
Nivel freático:	No		
Anchura de zanja:	B_d	1,3	m
Tipo de relleno:	SC1: Piedra triturada, < 15% arena, < 5% finos		
Tipo de relleno:	Compactado		
Peso unitario del material de relleno:	γ_s	18,8	kN/m³
Peso específico por debajo del nivel freático:	$\gamma_s H$	11,5	kN/m³
Material de relleno de la zona de la tubería y compactación:	Grava; compactación: moderada a alta		
Tipo de suelo natural:	Cohesivo		
Suelo natural (cohesivo):	Muy firme (qu = 200 - 400 kPa)		
Lecho de zanja:	Soporte del lecho uniforme (Kx = 0,083)		

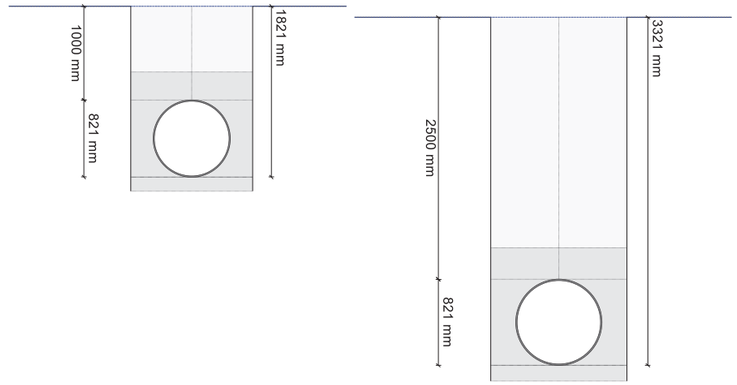
1.2.2 Parámetros de carga

Presión de trabajo:	P_w	2,63	bar
Sobrepresión:	P_s	1,07	bar
Presión de vacío:	P_v	0,35	bar
Carga de tráfico:	Carga camión HS 20		

1.2.3 Opciones de deflexión avanzadas

Coeficiente de deflexión estándar / factor de retardo:	Si
Deflexión estándar admisible (5%):	Si

Carga de tráfico: Carga camión HS 20



1.3 Resultados

Diámetro medio del tubo:	D	806,47	mm
SN:	SN	10.000,0	N/m²
Rigidez del tubo:	PS	536.912,75	N/m²

1.3.1 Confirmación de la clase de presión

Clase de presión:	P_c	10,00	bar
Valor para (HDB/FS)(2t · EH / D):	$P_{c,max}$	13,13	bar

La clase de presión es inferior a (HDB/FS)(2t·EH/D).

1.3.2 Verificando la presión de trabajo

Presión de trabajo:	P_w	2,63	bar
Clase de presión:	P_c	10,00	bar

La presión de trabajo es inferior a la clase de presión del tubo.

1.3.3 Verificando el golpe de ariete

Presión de trabajo:	P_w	2,63	bar
Sobrepresión:	P_s	1,07	bar
Clase de presión:	P_c	10,00	bar

La presión de trabajo + golpe de ariete es inferior a 1.4 veces la clase de presión de la tubería.

1.3.4 Cálculo de la deflexión máxima admisible

Alargamiento unitario a largo plazo debido a la flexión anular:	S_b	1,30	%
Factor de forma:	D_f	3,8	[-]
Deflexión vertical del tubo máxima admisible a largo plazo (absoluta):	Δy_a	95,53	mm
Deflexión vertical del tubo máxima admisible a largo plazo (relativa):	$\Delta y_{a\%}$	11,85	%
Deflexión admisible:	$\delta d_\%$	5,00	%

La deflexión calculada es menor que la deflexión vertical del tubo máxima admisible a largo plazo.

1.3.5 Cálculo de la carga del suelo

		a la profundidad mínima	a la profundidad máxima	
Altura de recubrimiento	H	1,00	2,50	m
Carga vertical del suelo sobre el tubo	W_c	18,80	47,00	kN/m²
Carga vertical del suelo sobre el tubo, considerando la flotación	W_c'	18,80	47,00	kN/m²

1.3.6 Cálculo de las cargas debidas al tráfico

Carga de tráfico: Carga camión HS 20

		a la profundidad mínima	a la profundidad máxima	
Factor de impacto	I_f	1,19	1,00	[-]
Factor de distribución de la carga de tráfico con la profundidad de relleno	LLDF	1,15	1,15	[-]
Longitud de la huella del neumático	t_l	254	254	mm
Anchura de carga paralela a la dirección de circulación	L_1	1,40	3,13	m
Ancho de la huella del neumático	t_w	508	508	mm
Profundidad a la cual interactúa la carga de las ruedas	h_{int}	1,1	1,1	m

$$L_2 = t_w + LLDF \cdot H \qquad (5\text{-}13)$$

Anchura de carga perpendicular a la dirección de circulación	L_2	1,66	2,61	m
Carga de rueda en superfície	P	71,3	71,3	kN
Carga de tráfico en superficie	W_L	43,91	10,49	kN/m²

1.3.7 Cálculo del módulo compuesto del suelo confinado

		a la profundidad mínima	a la profundidad máxima	
Factor adicional debido a tensiones verticales (nota 7, tabla 5-4)	f_w	1,00	1,00	[-]
Módulo del suelo confinado de la zona de relleno del tubo	M_{sb}	19,48	25,68	N/mm²
Módulo del suelo confinado del suelo natural en la zona del tubo	M_{sn}	34,47	34,47	N/mm²
Factor de soporte del suelo combinado	S_c	1,37	1,18	[-]
Módulo compuesto del suelo confinado	M_s	26,77	30,37	N/mm²

1.3.8 Cálculo de la deflexión prevista

		a la profundidad mínima	a la profundidad máxima	
Coeficientede soporte del lecho	K_x	0,083	0,083	[-]
Factor de retardo de laa deflexión	D_L	1,500	1,500	[-]
Deflexión vertical del tubo prevista	Δy/D	0,35	0,35	%
Deflexión admisible	δd%	5,00	5,00	%
		Δy/D < δd~%	Δy/D < δd~%	

La deflexión prevista es inferior a la admisible.

1.3.9 Verificación de la carga combinada

Alargamiento unitario a largo plazo debido a la flexión anular: S_b 1,30 %

		a la profundidad mínima	a la profundidad máxima	
Factor de seguridad del diseño a presión	FS_{pr}	1,80	1,80	[-]
Factor de seguridad del diseño a flexión	FS_b	1,50	1,50	[-]
Coeficiente de redondeo	r_c	0,91	0,91	[-]
Alargamiento unitario de trabajo debido a la presión interna	ε_{pr}	0,07	0,07	%
Alargamiento unitario de trabajo debido a la deflexión máxima admisible	ε_b	0,37	0,37	%
Epr / HDB		0,11	0,11	[-]
[1 - ((εb rc) / Sb)] / FSpr		0,41	0,41	[-]

(εb rc) / Sb	0,26	0,26	[-]
[1 - (εpr / HDB)] / FSb	0,59	0,59	[-]

1.3.9.1 A la profundidad de instalación mínima

La carga combinada (alargamiento unitario debido a la presión interna) es correcta.

La carga combinada (alargamiento unitario debido a la maxima deflexión admisible) es correcta.

1.3.9.2 A la profundidad de instalación máxima

La carga combinada (alargamiento unitario debido a la presión interna) es correcta.

La carga combinada (alargamiento unitario debido a la maxima deflexión admisible) es correcta.

1.3.10 Verificación del colapsamiento

		a la profundidad mínima	a la profundidad máxima	
Coeficiente de seguridad al colapsamiento	FS	2,50	2,50	[-]
Coeficiente escalar de calibración para tomar en consideración los efectos no liniales	C_n'	0,55	0,55	[-]
Factor para tomar en consideración la variabilidad de la rigidez del suelo compactado	φ_s'	0,90	0,90	[-]
Factor de corrección del módulo para el coeficiente de Poisson del suelo	κ_u'	0,74	0,74	[-]
Factor de correción para la profundidad de relleno	R_h'	0,97	1,01	[-]
Presión de colapsamiento admisible	q_a	763,30	866,08	kN/m²
Peso especifico del agua	γ_w	9,80	9,80	kN/m³
Altura del nivel freático por encima del tubo	h_w	0,00	0,00	m
Factor de fotabilidad	R_W	1,00	1,00	[-]
Presión de colapsamiento, nivel freático + carga de suelo + vacío	q_v	53,80	82,00	kN/m²
		qv < qa	qv < qa	

La presión de colapsamiento calculada debida al nivel freático, presión del suelo y presión de vacío es inferior a la presión de colapsamiento admisible.

Presión de colapsamiento, Nivel freático + suelo + tráfico	q_w	62,71	57,49	kN/m²
		qw < qa	qw < qa	

La presión de colapsamiento calculada debida al nivel freático, presión del suelo y trafico es inferior a la presión de colapsamiento admisible.

Todas las pruebas necesarias son correctas.