

**ANEJO 8:
DISEÑO Y REGULACION DE LA
ESTACION DE BOMBEO**

INDICE:

1. INTRODUCCIÓN	2
2. UBICACIÓN Y COTA.	2
3. NIVEL DE LÁMINA DE AGUA.	3
4. CAPTACIÓN Y OBRA DE TOMA.....	3
5. EQUIPO DE FILTRACIÓN.....	4
6. ESTACIÓN DE BOMBEO.....	6
6. 1. EQUIPOS DE BOMBEO.....	6
6.1.1. ALTURA DE BOMBEO.....	6
6.1.2. CURVA CARACTERÍSTICA DEL SISTEMA.....	6
6.1.3. FRACCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO	7
6.1.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO.....	8
6.1.5. FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO.....	11
6. 2. EQUIPAMIENTOS HIDRAULICOS A INSTALAR EN LA ESTACION DE BOMBEO	12
6.2.1. COLECTOR DE IMPULSION INDIVIDUAL DE CADA BOMBA	12
6.2.2. COLECTOR GENERAL DE IMPULSION.....	13
6.2.3. CALCULO MECANICO DE LOS COLECTORES DE IMPULSION.....	13
6. 3. GOLPE DE ARIETE EN LA ESTACION DE BOMBEO	19
APENDICE 1: MEDICIÓN AUXILIAR DE CALDERERIA EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO	21

1. INTRODUCCIÓN

Para la modernización y puesta en riego por aspersión de la zona es necesario impulsar el agua ya que no existe posibilidad de utilizar presión natural. Dada la inexistencia de cota en las proximidades para construir una balsa de acumulación desde donde dominar la zona regable para un abastecimiento por gravedad, se ejecutará una estación de bombeo de impulsión directa desde el río Duero, ubicando la toma en las proximidades del Azud de Villaralbo (azud existente).

En este Anejo se describen las instalaciones de bombeo necesarias para garantizar el suministro del caudal de agua y la presión necesaria para el correcto funcionamiento de las instalaciones.

La estación de bombeo se diseña a partir de los datos calculados en los anejos anteriores, con la capacidad para abastecer del caudal y la presión manométrica necesaria en función de las demandas puntuales de las redes.

1.	Superficie neta (ha):	1.144,1
2.	Elevación mínima requerida en colector (mca):	64,0
4.	Elevación requerida en aspiración (m.c.a): de 70,5 a 73m.c.a(según nivel de aspiración)	
3.	Caudal (l/s):	1687

Debido a que con el sistema de riego proyectado, (bombeo directo desde río) los caudales y alturas manométricas varían en el tiempo es preciso dotar a algunos grupos de bombeo con variadores de velocidad, lo que les permite trabajar en un amplio margen de regímenes de velocidad, con esto se consigue un mejor ajuste entre las curvas de trabajo de la estación de bombeo y la demandada por el sistema de riego, aumentando así el rendimiento de los equipos de impulsión con el consiguiente ahorro energético que esto conlleva.

Para que los grupos motobomba funcionen siempre en un óptimo de acuerdo a la demanda de presión y caudal de la red, será necesario automatizar el sistema. Se instalará un automático que regulará el arranque, la parada y el régimen de los diferentes grupos en función de las señales que reciba del caudalímetro y de los transmisores de presión en la tubería de impulsión.

Debido a las características topográficas de la zona regable y la ubicación elegida para la estación de bombeo se ha realizado un diseño con bombas verticales ubicadas en una cántara de aspiración cercana al río.

Se opta por un fraccionamiento en cinco bombas principales y dos auxiliares de manera que entre cuatro principales y dos auxiliares se aporte el caudal punta en máxima demanda, dejando una principal de reserva para posibles averías.

Las dos bombas auxiliares serán las que primero funcionarían al iniciarse la demanda. Están dotadas las dos con variador, mientras que las principales dispondrán 2 de variador y 2 de arrancador.

2. UBICACIÓN Y COTA.

La ubicación de la estación de bombeo está condicionada por la distribución de la superficie regable y principalmente por la existencia de un azud que asegura el nivel de agua necesario para realizar la obra de toma. Se proyecta construir una estación de bombeo en la parcela 579 del polígono 1 de Villaralbo. La obra de toma será directa en el río, tomando el agua de la zona de retención generada por un azud existente (Azud de Nuestra Señora de las Mercedes). En dicha toma se instalará una reja automatizada, se llevará el agua mediante marco de hormigón de dimensiones 2,00x1,50m hasta una arqueta donde se instalará un filtro de cadenas. Desde esta arqueta el agua llega a la cántara de aspiración de las bombas situada en la entrada de la estación de bombeo.

Según la información gráfica obtenida en el Visor Mirame Duero de Confederación Hidrográfica del Duero y del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, prácticamente todo el Sector I del Canal de San José se encuentra dentro de las zonas con alto riesgo de inundación con un período de retorno de 10 años. Según los mapas de riesgo de inundación obtenidos a partir del Visor del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables y a partir de la consulta a propietarios de la zona y a la sección de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Duero se considera que la cota de inundación para T:100 años es de 630,5. Esta circunstancia condiciona el diseño de la estación de bombeo, ya que debemos mantener los motores e instalaciones eléctricas por encima de esta cota (T:100 años) para evitar daños en caso de inundación.

3. NIVEL DE LÁMINA DE AGUA.

Se ha tomado la cota del nivel de agua en varias épocas a lo largo del año siendo prácticamente constante en torno a 625,50m. En consecuencia, esa es la cota que se fija como nivel normal de agua (NMinN). No obstante la bomba debe estar diseñada para garantizar la presión si este nivel desciende.

4. CAPTACIÓN Y OBRA DE TOMA.

La embocadura de entrada con una longitud de 3,69 m está formada por dos aletas con espesor de 25 cm y altura variable de 0,65 a 2,00 m. Y una solera de 35 cm de canto. Previamente a las aletas se realizará una solera con escollera (40m³) con pendiente del 8% hacia el río para evitar la entrada de lodos hacia el bombeo.

A continuación, se proyecta una arqueta donde irá instalada una reja automatizada y una compuerta plana. Se cimentan sobre una losa de planta rectangular de dimensiones 5.36 x 3.50 m. y cuentan con muros de 50 cm de espesor. La arqueta de la reja tiene una altura de 3 m y unas dimensiones interiores de 2.50 x 2,26 m. Después de la embocadura se ejecutará una arqueta donde se instalará una reja de desbaste de 5,0 cm de paso con las siguientes características:

CARACTERÍSTICAS GENERALES:

- Ancho de canal: 2,5m
- Altura de canal: 5,40m
- Altura de descarga: 6,60m
- Carga de agua: 2,00m
- Inclinación de la reja: 75°
- Longitud total de máquina 8,10m
- Peso total: 3930kg

BASTIDOR:

- Tipo Monobloc, totalmente carenada
- Ancho de bastidor 2,39 m
- Elastómeros de cierre EPDM
- Materiales Acero al Carbono S235JR (UNE-EN 10025-2)
- Protección Chorreado SA 2 ½+Brea epóxi (250micras)

BARROTES:

- Paso útil entre barrotes: 50mm
- Pletinas acero galvanizado: 50*12 mm
- Materiales barrotes: Acero inoxidable X2CrNi18-9 UNE-EN 10088 304L
- Protección: Pulido mecánico

CONJUNTO PEINE LIMPIADOR:

- Número de peines: 9
- Velocidad de desplazamiento: 4,5m/min
- Materiales Acero inoxidable X2CrNi18-9 UNE-EN 10088 304L
- Protección: Pulido mecánico

CONJUNTO LIMPIA PEINE:

- Limpia peine: Nylon (poliamida 6.6)
- Estructura: Acero inoxidable X2CrNi18-9 UNE-EN 10088 304L
- Protección: Pulido mecánico

CHAPA DE DESCARGA:

- Estructura: Acero inoxidable X2CrNi18-9 UNE-EN 10088 304L
- Protección: Pulido mecánico

TRANSMISIÓN (DESPLAZAMIENTO DEL PEINE):

- Cadenas transportadoras: Acero inoxidable X2CrNi18-9 UNE-EN 10088 304L
- Varillas tensoras: Acero inoxidable X2CrNi18-9 UNE-EN 10088 304L
- Ruedas motrices: Acero al Carbono S235JR (UNE-EN 10025-2)
- Protección ruedas: Pintura epóxi+poliuretano (125micras)

GRUPO MOTRIZ:

- Motor: 2,21 kW 1500r.p.m 220/380V IP55, Aisl.F
- Tipo redactor: Tornillo sinfin
- Eje motriz: Acero al Carbono S235JR UNE-EN 10025-2
- Pintura epóxi-poliuretano: 125 micras

TORNILLERÍA:

- Tornillería: Inoxidable A2 UNE-EN ISO 3506 (304)
- Tacos de anclaje: Inoxidable A2 UNE-EN ISO 3506 (304)

A continuación de la reja de filtrado se instalará una compuerta de seccionamiento de acero inoxidable y motorizada. Las características de la compuerta serán las siguientes:

- Tipo: Estanca a cuatro lados
- Material cuerpo y tablero: Acero Inoxidable AISI 304
- Accionamiento: Reductor con husillo no ascendente
Servomotor eléctrico
- Bastidor: Acero Inoxidable AISI 304
- Tablero: Acero Inoxidable AISI 304
- Columna de maniobra: Acero Inoxidable AISI 304
- Tortillería: Acero Inoxidable AISI 304
- Junta de estanqueidad: EPDM
- Husillo: AISI 304
- Dimensiones tablero: 1.500 mm de ancho x1.800 mm de alto
y 8 mm de espesor
- Altura solera-accionamiento: hasta 10,5 m
- Carga de agua: hasta 9 m

Desde esta compuerta parte una conducción de 34 m de marcos prefabricados de hormigón armado de sección rectangular 2,00x1,5 m hasta la arqueta de filtrado. El criterio empleado para seleccionar el tamaño de marco será que la velocidad máxima del agua en la tubería sea 0,6 m/s.

5. EQUIPO DE FILTRACIÓN.

El equipo de filtrado se compone de filtro de cadenas, tipo MR15, con las siguientes características

CARACTERÍSTICAS GENERALES:

- Caudal de agua a tratar: 1700 l/s
- Tipo de funcionamiento: Automático
- Servicio: Intermitente
- Tipo de agua a tratar: Toma de río

- Ph mínimo:	6,5
- Cota o nivel normal de agua para este caudal:	625,50
- Cota plataforma de servicio:	630,5
- Cota fondo de apoyo:	622,20
- Longitud total del equipo:	9,7 m
- Peso total del equipo	3800kg
-	
BASTIDOR:	
- Tipo	Monobloc, totalmente carenada
- Rodamiento principal	Rodillos a rótula
- Muelles de amortiguación	Acero especial tratado.
- Materiales estructura	Acero al Carbono S235JR (UNE-EN 10025-2)
- Guías	Acero al Carbono S235JR (UNE-EN 10025-2)
- Protección	Chorreado SA 2 ½+Brea epóxi (250micras)
PANELES FILTRANTES:	
- Número de paneles filtrantes:	36
- Luz de malla filtrante:	2,0mm
- Material filtrante:	Inoxidable X2CrNi18-9 UNE-EN 10088 304L
- Material marcos soporte:	Acero al Carbono S235JR (UNE-EN 10025-2)
- Protección marcos soporte:	Galvanizado s/norma UNE 37501
- Tipo de malla:	Nº9 Inox
- Velocidad de desplazamiento paneles:	2,97 m/min
- Factor de malla	0,65
- Pérdida de carga admisible	0,5m
EJES Y RUEDAS PRINCIPALES:	
- Eje superior:	Acero al Carbono S235JR (UNE-EN 10025-2)
- Ruedas principales	Acero al Carbono S235JR (UNE-EN 10025-2)
- Dientes ruedas principales	Acero al Carbono S235JR (UNE-EN 10025-2)
- Protección	Chorreado SA 2 ½+Brea epóxi (250micras)
GRUPO MOTRIZ:	
- Potencia motor:	0,75 kW 1500 rpm 220/380V
- Protección motor:	IP55
- Tipo reductor:	Engranajes
- Protección grupo motriz	Pintura epóxi+poliuretano(125µ)
CADENAS DE ARRASTRE:	
- Pletinas:	Acero al Carbono S235JR (UNE-EN 10025-2)
- Rodillos:	Polietileno
- Ejes y casquillos:	Inoxidable X2CrNi18-9 UNE-EN 10088 304L
- Varillas tensoras (cadenas)	Acero cincado
SISTEMA DE LIMPIEZA:	
- Caudal de agua de lavado:	164 l/min
- Presión de agua de lavado:	3 kg/cm ²
- Potencia motobomba de lavado:	2,2 kW 380V
- Boquillas aspersoras	Aleación de latón
- Sistema de lavado (tuberías):	Inoxidable X2CrNi18-9 UNE-EN 10088 304L
TOLVA DE RECOGIDA DE RESIDUOS:	
- Tolva de recogida de residuos	Acero al Carbono S235JR (UNE-EN 10025-2)
- Protección	Chorreado SA 2 ½+Brea epóxi (250micras)
SISTEMA DE ESTANQUEIDAD:	
- Elementos de cierre:	Polietileno o similar
- Chapas laterales de estanqueidad	Acero al Carbono S235JR (UNE-EN 10025-2)
- Protección	Chorreado SA 2 ½+Brea epóxi (250micras)
VÁLVULA DE SEGURIDAD:	
- Material	Acero al Carbono S235JR (UNE-EN 10025-2)
- -Protección	Chorreado SA 2 ½+Brea epóxi (250micras)

CAPOTA DE PROTECCIÓN:

- Material Acero al Carbono S235JR (UNE-EN 10025-2)
- Protección Chorreado SA 2 ½+Brea epóxi (250micras)

TORNILLERÍA:

- Tornillería Inoxidable A2 UNE-EN ISO 3506 (304)
- Tacos de anclaje Inoxidable A2 UNE-EN ISO 3506 (304)

6. ESTACIÓN DE BOMBEO.

6. 1. EQUIPOS DE BOMBEO

6.1.1. ALTURA DE BOMBEO

Según los cálculos para el diseño de la red de riego realizados con el programa SIGOPRAM la altura manométrica a la salida de la estación de bombeo debe ser superior a 64 m, por lo tanto, la bomba debe suministrar esa presión más las pérdidas de carga en el tramo entre la aspiración de la bomba y el eje de la impulsión en la estación de bombeo:

- Cota geométrica descarga de la bomba: 631,5
- Cota geométrica nivel mínimo de agua: 624,5
- Total altura de bombeo a considerar en aspiración: 73 m.c.a.

6.1.2. CURVA CARACTERISTICA DEL SISTEMA

Se trata de un bombeo directo a la red, dimensionado para abastecer la zona regable durante el periodo de máxima con una jornada efectiva de riego calculada (JER) de 16,4 horas/día. Como no todos los hidrantes estarán abiertos a la vez, el programa simula distintos caudales demandados en la red de riego (en %), desde el caudal de un hidrante hasta el caudal máximo de diseño (el caudal de Clement), obteniendo para ello distintas alturas de presión requeridas en cabecera (estación de bombeo).

El caudal máximo de diseño de la red de riego es de 1,687 l/s y la altura de bombeo a considerar en la aspiración para la cota de nivel mínimo de agua (aspiración de las bombas), teniendo en cuenta las pérdidas de carga en la aspiración son 73m.c.a. Las necesidades de la red de riego se reflejan en la siguiente gráfica:

%	Q (l/s)	Q (m3/h)	H (mca)	%	Q (l/s)	Q (m3/h)	H (mca)
0	0,00	0	53,28	55	927,78	3340	59,24
5	83,33	300	53,33	60	1012,22	3644	60,38
10	166,67	600	53,47	65	1096,39	3947	61,61
15	250,00	900	53,71	70	1180,83	4251	62,94
20	333,33	1200	54,05	75	1265,28	4555	64,37
25	416,67	1500	54,48	80	1349,72	4859	65,90
30	500,00	1800	55,01	85	1433,89	5162	67,53
35	590,45	2125,62	55,70	90	1518,33	5466	69,25
40	666,67	2400	56,36	95	1602,78	5770	71,08
45	759,17	2733	57,27	100	1686,94	6073	73,00
50	847,22	3050	58,25				

Tabla 8.1: Datos para la representación de la curva resistente de la red de riego

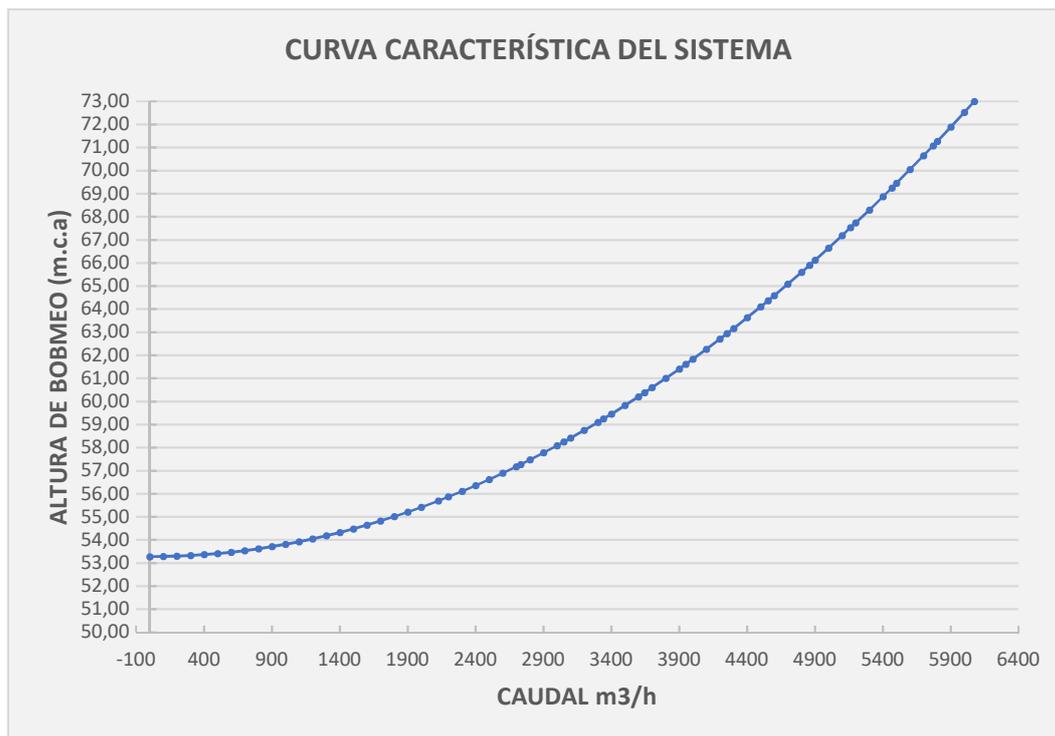


Gráfico 8.1: Curva resistente de la red de riego

6.1.3. FRACCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO

Al objeto de seleccionar la composición (fraccionamiento y tipo de bombas) y el tipo de regulación de la composición más favorable de la EB que mejor se adapte a las particularidades de la red, se instalarán 4+1 bombas principales y 2 auxiliares. 4 bombas principales y dos auxiliares estarán activas en momento de máxima demanda. Así, estas 6 bombas serán capaces de suministrar el 100% del caudal máximo, mientras que la bomba principal de reserva se deja para posibles averías.

Cada una de las auxiliares aportan aproximadamente el caudal consumido en cinco hidrantes (100l/s), suponiendo un 25% del caudal proporcionado por una bomba principal. El fraccionamiento de los equipos de bombeo se ha realizado teniendo en cuenta el funcionamiento de estaciones de bombeo muy próximas a la proyectada y con características similares. En esta instalación se comprueba la necesidad de tener dos bombas de pequeño caudal para cubrir pequeñas demandas en época de inicio de riegos o en momentos en los que la demanda se centra en pequeñas parcelas con huertos, recreo..., estas fincas son abundantes en la zona de Zamora perteneciente al Sector I del Canal de San José que es la zona cuya modernización que estamos proyectando.

Así el parque fotovoltaico proyectado en la instalación tendrá capacidad para dar servicio a las 2 bombas auxiliares y una bomba principal que serán las que puedan funcionar durante todo el día independientemente de la franja horaria en la que nos encontremos (incluido en P1 en los meses de junio, julio, en los que es máxima la demanda). Las tres bombas principales restantes funcionarán siempre en horario P6 y en P2 en el mes de julio cuando la demanda es máxima.

Con este sistema de trabajo forzamos a trabajar un máximo de 6 de las 7 bombas de la estación de bombeo en el momento de máxima demanda, pero se asume que esta situación sólo está prevista para días puntuales del mes de julio. Se deja una bomba principal de reserva.

Caudal bombas auxiliares: 100l/s

Caudal bombas principales: 372l/s

Caudal total: $4 \times 372 + 2 \times 100 = 1688$ l/s

6.1.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO

Se diseña la instalación con bombas centrífugas verticales.

A.) CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO PRINCIPALES (4+1)

- Modelo	Bomba centrífuga vertical
- Velocidad de funcionamiento (rpm)	994 /1488 rpm
- Velocidad punto funcionamiento (rpm)	994 /1488 rpm
- Caudal (l/s)	372
- Altura manométrica para caudal cero (mca)	87.6
- Alt. Máxima en aspiración (mca)	73,0
- Rendimiento hidráulico mínimo (%)	80% (ISO 9906 Clase 1U)
- Potencia absorbida (kW)	339,74
- Potencia máxima absorbida (kW)	372,41
- Mínimo gasto másico permitido con funcionamiento estable continuo (kg/s)	270,92
- Mínimo caudal permitido para funcionamiento estable continuo	271,92 l/s
- Caudal de masa máximo admisible	491,35 l/s
- Cámara de montaje de la junta	Espacio estanco cilíndrico
- Anillo rozante (mm)	Anillo partido
- Diámetro del rodete (mm)	435mm
- Diámetro nominal descarga:	DN 450
- Presión nominal de descarga:	PN16
- Brida de descarga taladrada:	EN1092-1
- Tipo de cojinete	Rodamiento
- Tipo de lubricación	Grasa
- Sondas PT-100 en bomba:	1 por cada rodamiento
- Sondas PT-100 en motor:	1 por cada rodamiento y 2 por cada devanado
- Resistencias de caldeo:	Sólo en motores
- Tipo de la carcasa de salida	4500
- Longitud de columna aspiración m	8,60
- Estanqueidad:	P1-Empaquetadura
- Tipo de accionamiento	Motor eléctrico de acoplamiento elástico BN/B225/IEC
- Motor tipo:	Eléctrico trifásico con variador de velocidad.
- Potencia del motor (kW)	400KW
- Frecuencia (Hz)	50
- Protección	IP-55
- Formato constructivo del motor	V1
- Carcasa de aspiración	Hierro fundido GG-25
- Carcasa de descarga	Hierro fundido GG-25
- Cuerpo de bomba	Hierro fundido GG-25
- Anillos de desgaste	Bronce C352
- Rodete	Bronce C311
- Eje de la bomba	Acero inoxidable X20CR13
- Camisa del eje	Bronce C352
- Tubo ascendente	ASTM A 53/RST 37-2
- Bancada: Acero estructural al carbono-manganeso S-275-JR según la norma UNE-EN 10025:2006.	
- Revestido de bombas y bancadas:	
-Preparación de la superficie: granallado de la superficie hasta rugosidad SA 2½, conforme la norma UNE-EN ISO 8501-1:2008.	
-Imprimación: antioxidante rico en zinc con espesor mínimo de 45 micras.	
-Pintado: resina epoxi en color azul RAL 5017 con espesor mínimo de 45 micras.	

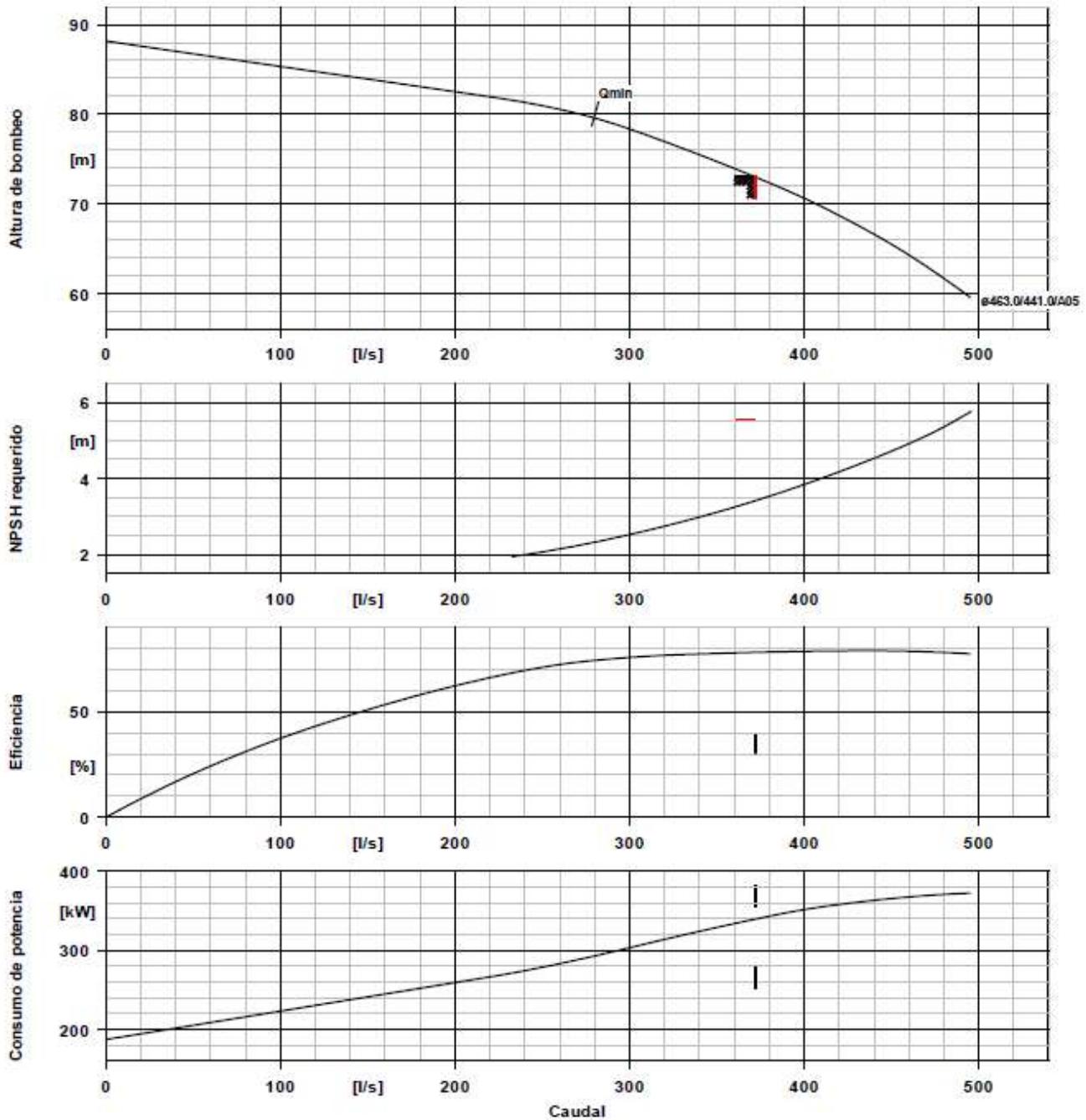


Gráfico 8.2: Curva de funcionamiento de las bombas principales

B.) CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO AUXILIARES

- Modelo	Bomba centrífuga vertical (B14B)
- Velocidad de funcionamiento (rpm)	1491
- Velocidad punto funcionamiento (rpm)	1491
- Caudal (l/s)	100
- Altura manométrica para caudal cero (mca)	97,4
- Alt. Máxima en aspiración (mca)	73,0
- Rendimiento hidráulico mínimo (%)	80% (ISO 9906 Clase 1U)
- Potencia absorbida (kW)	87,92
- Potencia máxima absorbida (kW)	95,90
- Mínimo gasto másico permitido con funcionamiento estable continuo (kg/s)	67,01
- Mínimo caudal permitido para funcionamiento Estable continuo	67,01 l/s
- Potencia máxima absorbida (kW)	90,34
- Cámara de montaje de la junta	Cámara estándar de juntas
- Anillo rozante (mm)	Anillo partido
- Diámetro del rodete (mm)	247
- Tipo de cojinete	Rodamiento
- Tipo de lubricación	Grasa
- Sondas PT-100 en bomba:	1 por cada rodamiento
- Sondas PT-100 en motor:	1 por cada rodamiento y 2 por cada devanado
- Resistencias de caldeo:	Sólo en motores
- Tipo de la carcasa de salida	2541A
- Estanqueidad:	P1 Empaquetadura
- Diámetro nominal descarga	DN200
- Presión nominal de descarga	PN16
- Longitud de columna aspiración m	8,15
- Motor tipo:	Eléctrico trifásico con variador de velocidad.
- Potencia del motor (kW)	110KW
- Frecuencia (Hz)	50
- Protección	IP-55
- Formato constructivo del motor	V1
- Carcasa de aspiración	Hierro fundido GG-25
- Carcasa de descarga	Hierro fundido GG-25
- Cuerpo de bomba	Hierro fundido GG-25
- Anillos de desgaste	Bronce C352
- Rodete	Bronce C311
- Eje de la bomba	Acero inoxidable X20CR13
- Camisa del eje	Bronce C352
- Tubo ascendente	ASTM A 53/RST 37-2
- Bancada: Acero estructural al carbono-manganeso S-275-JR según la norma UNE-EN 10025:2006.	
- Revestido de bombas y bancadas:	
- Preparación de la superficie: granallado de la superficie hasta rugosidad SA 2½, conforme la norma UNE-EN ISO 8501-1:2008.	
- Imprimación: antioxidante rico en zinc con espesor mínimo de 45 micras.	
- Pintado: resina epoxi en color azul RAL 5017 con espesor mínimo de 45 micras.	

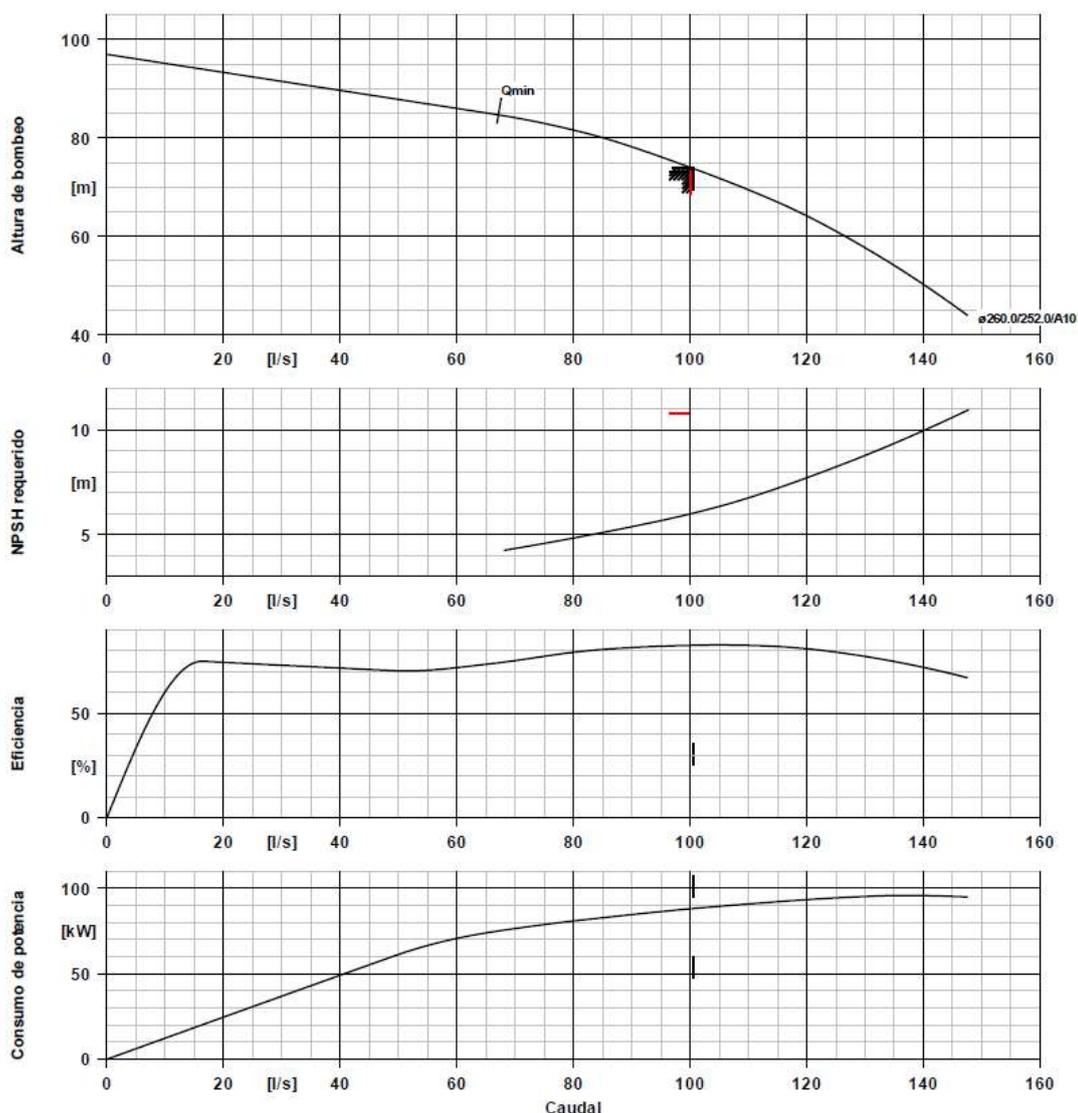


Gráfico 8.3: Curva de funcionamiento de las bombas auxiliares

6.1.5. FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO

El bombeo proyectado está formado por 4 grupos motobomba principales y dos grupos motobomba auxiliares además de un grupo principal de reserva de reserva.

Se equiparán con variador dos bombas principales y dos bombas auxiliares. En ambos casos las dos bombas equipadas con variador alternarán su arranque equilibrando sus horas de funcionamiento.

Las otras tres bombas principales se maniobrarán con arrancador estático, siendo una de ellas de reserva activa; lo que quiere decir es que también en este caso las tres bombas alternarán su arranque equilibrando sus horas de funcionamiento (de esta forma se evita que haya una bomba siempre parada como reserva, ya que esto produciría problemas de mantenimiento en este equipo).

La regulación de la estación elevadora corresponde a un modelo clásico de regulación tipo VOGEL (o manométrica compensada), ampliamente utilizado en estaciones elevadoras para riego en las que se bombea directamente a la red de distribución, por el que, como se ha descrito, los arranques y paradas de los grupos principales se realiza mediante consignas de caudal-

presión suministradas por un manómetro digital que con la lectura del caudalímetro instalado al efecto en el colector de impulsión se obtendrá en cada instante la Presión consigna de funcionamiento (PC) que es función de ese caudal según la fórmula $PC = P_{min} + K \cdot Q^2$. Por debajo del caudal de funcionamiento de un grupo principal (Q1), funciona el grupo auxiliar tratando de dar un valor de consigna de presión, cuyo valor real es suministrado por un transductor de presión situado asimismo en el colector de impulsión.

Así, el motor provisto de variador aumenta la velocidad de este cuando la presión descende, procediendo a la inversa en caso de aumento de presión. Cuando se alcanza la velocidad nominal del motor, si la presión consigna no se alcanza, se arranca el segundo grupo auxiliar hasta que se pueda arrancar el primer grupo principal actuando los auxiliares con variador de frecuencia de apoyo.

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

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

6. 2. EQUIPAMIENTOS HIDRAULICOS A INSTALAR EN LA ESTACION DE BOMBEO

Indicaremos aquellos localizados después de la propia bomba (en el colector de impulsión a la salida de la bomba) y en el colector de impulsión general o común. Todos los elementos son PN16.

6.2.1. COLECTOR DE IMPULSION INDIVIDUAL DE CADA BOMBA

Colector de impulsión individual de cada bomba está formado por calderería de acero galvanizado en caliente. El diámetro de los colectores garantizará que la velocidad del agua en la impulsión no sea superior a 2m/s.

A.) EN BOMBAS PRINCIPALES

- Cono recto de ampliación excéntrico para enlazar la brida de salida de la bomba de DN450 PN 16 a la valvulería DN500 PN16
- Ventosa de pozo profundo DN 80 mm instalada en el cono de ampliación.
- Válvula de retención de diámetro 500 mm.
- Carrete telescópico de desmontaje de diámetro 500 mm.
- Válvula de mariposa de diámetro 500 mm con actuador-reductor.
- Caudalímetro electromagnético DN 500 mm.
- Carrete telescópico de desmontaje de diámetro 500 mm.
- Tramo de acero de diámetro 500 mm que confluirá en el colector general de impulsión.

B.) EN BOMBAS AUXILIARES

- Cono recto de ampliación excéntrico para enlazar la brida de salida de la bomba de DN200 PN 16 a la valvulería DN300 PN16
- Ventosa de pozo profundo DN 50 mm instalada en el cono de ampliación.

- Válvula de retención de diámetro 300 mm.
- Carrete telescópico de desmontaje de diámetro 300 mm.
- Válvula de mariposa de diámetro 300 mm con actuador-reductor.
- Caudalímetro electromagnético DN 300 mm.
- Carrete telescópico de desmontaje de diámetro 300 mm.
- Tramo de acero de diámetro 300 mm que confluirá en el colector general de impulsión.

6.2.2. COLECTOR GENERAL DE IMPULSION

- El colector de impulsión general será de calderería de acero galvanizado en caliente y de diámetro variable (telescópico), en tramos DN 1000 y 1200.
- Cuatro ventosas trifuncionales con doble cuerpo DN 3" y mecanismo de cierre con flotador con válvula de compuerta DN 80 instaladas en el propio colector.
- Una ventosa trifuncional doble DN6" de cierre con flotador con válvula de compuerta DN 150.
- Válvula de alivio rápido DN 350 con cuerpo en ángulo de 90°
- Cuello de cisne para unión con la red de riego en calderería de acero galvanizado en caliente DN 1200.

6.2.3. CALCULO MECANICO DE LOS COLECTORES DE IMPULSION

A.) DEFINICION DEL ACERO

El cálculo mecánico que a continuación se detalla se realiza siguiendo el criterio del apartado 4.2.3 Tubos de Acero de la Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión del CEDEX.

En el caso que nos ocupa, los colectores constituyen una instalación de tubería aérea que actúan como estructura autoportante tipo viga sobre cunas metálicas. El tipo de acero seleccionado es el S275.

B.) HIPOTESIS DE CARGA MAS DESFAVORABLE

En instalaciones aéreas son tres los tipos de acciones a contemplar. En primer lugar, la presión interna que produce un estado tensional en la pared del tubo. En segundo lugar, las presiones negativas interiores que producen el pandeo de la pared del tubo. Y en tercer lugar, las acciones gravitatorias, climáticas o sísmicas que producen una flexión longitudinal de la tubería entre apoyos.

C.) CALCULO CON PROGRAMA INFORMATICO.

Este proceso de cálculo está automatizado mediante programa informático. El programa está desarrollado por la empresa Siderúrgica de Tubo Soldado (STS) en colaboración con los Departamentos de "Ingeniería Mecánica" y de "Ingeniería Nuclear y Mecánica de Fluidos" de la Escuela técnica Superior de Ingeniería de Bilbao, basado en las especificaciones y normativas de la AWWA (Manual M11 1985 y 1999), API(API1987,1997,2022, 2004) y CEDEX 2003.

La ventana de resultados indica el tipo de cálculo que se ha realizado, la referencia que le hemos asignado, y el diámetro de la tubería. Se recoge una tabla donde se indica para el espesor de tubo analizado lo siguiente:

- L(m) la longitud de vano que se analiza
- %Pv el tanto por ciento de utilización que se está haciendo de la capacidad resistente de la tubería en cuanto al esfuerzo de pandeo causado por la depresión.
- %P el tanto por ciento de utilización que se está haciendo de la capacidad resistente de la tubería frente al esfuerzo de presión interna.

- %L el tanto por ciento de utilización de la capacidad de deformación que se está haciendo del vano de la tubería frente a deformación máxima admisible.
- %Tapoyo el tanto por ciento de utilización que se está haciendo de la capacidad resistente de la tubería frente a las tensiones en el apoyo.
- Gradiente el gradiente de inclinación que recomienda la norma AWWA. En la instalación de la tubería.
- PosSold(m) la posición óptima de la soldadura entre tubos medida a partir de cualquiera de los dos apoyos.
- Valoración válido o no válido según las dimensiones soporten los requisitos de la norma.

D.) RESULTADOS.

La tabla mostrada de resultados nos indicará el espesor a seleccionar en la tubería para el cálculo válido. Como coeficiente de seguridad tomaremos un espesor inmediatamente superior al espesor válido de cálculo para compensar en el tiempo la pérdida de espesor de la tubería como consecuencia de la corrosión.

RESUMEN DE ESPESORES Y DIAMETROS SELECCIONADOS.

TRAMO COLECTOR				
Diámetro (mm)	1219,2	1016	509,6	307,2
Espesor (mm)	11,9	10,3	7,9	7,9

COLECTOR DE IMPULSION DN TRAMO 1200.

STS SOFTWARE VERSION 1.0

Programa para cálculo de tuberías

CÁLCULO DE TUBERÍA AUTOPORTANTE - CÁLCULO DE VANO Y ESPESOR según norma AWWA M11

Referencia de Cálculo: COLECTOR_IMPULSION_DN_1200

DATOS

Geometría de tubería

Diámetro exterior (mm): 1219,2

Material de tubería

Tipo de acero: S275JR
Coeficiente de seguridad: 2
Fluido a transportar: Agua Pura (20°C)

Apoyo

Tipo: U
Ángulo de apoyo (°): 120

Cargas internas

Presión manométrica máxima de diseño (MPa): 1,456
Presión negativa interior de diseño (MPa): 0,1

Cargas externas

Aislamiento Densidad (kg/m3): 0
Espesor (mm): 0
Nieve Altitud (m): 0
Viento Velocidad (km/h): 0
Concentrada Peso (kg): 0

RESULTADOS

E(mm)	L(m)	P(%)	D(%)	L(%)	T(%)	g	S(m)	G	
6,4	8,573		87,5	294,9	20,4	95,5	0	1,817	No Válido
7,1	10,839		78,9	215,6	25	97,8	0	2,298	No Válido
7,9	13,159		70,9	156,2	29,5	97,4	0	2,79	No Válido
8,7	15,865		64,4	146,7	34,6	99,7	0	3,363	No Válido
9,5	17,974		58,9	125,2	38,3	98,3	0	3,81	No Válido
10,3	20,499		54,4	102,2	42,7	99,9	0	4,346	No Válido
11,1	22,452		50,4	75,9	45,9	98,9	0,001	4,76	Válido
11,9	24,34		47,1	45,3	48,8	98,2	0,001	5,16	Válido
12,7	26,171		44,1	37,2	51,6	97,8	0,002	5,548	Válido
14,3	29,686		39,2	25,9	56,9	97,9	0,002	6,293	Válido
15,9	33,033		35,2	18,8	61,7	99	0,003	7,003	Válido
17,5	35,743		32	14	65,3	98,8	0,003	7,577	Válido

COLECTOR DE IMPULSION DN TRAMO 1000.

STS SOFTWARE VERSION 1.0

Programa para cálculo de tuberías

CÁLCULO DE TUBERÍA AUTOPORTANTE - CÁLCULO DE VANO Y ESPESOR según
 norma AWWA M11

Referencia de Cálculo: COLECTOR_IMPULSION_DN_1000

DATOS

Geometría de tubería

Diámetro exterior (mm): 1016

Material de tubería

Tipo de acero: S275JR

Coefficiente de seguridad: 2

Fluido a transportar: Agua Pura (20°C)

Apoyo

Tipo: U

Ángulo de apoyo (°): 120

Cargas internas

Presión manométrica máxima de diseño (MPa): 1,456

Presión negativa interior de diseño (MPa): 0,1

Cargas externas

Aislamiento Densidad (kg/m3): 0

Espesor (mm): 0

Nieve Altitud (m): 0

Viento Velocidad (km/h): 0

Concentrada Peso (kg): 0

RESULTADOS

E(mm)	L(m)	P(%)	D(%)	L(%)	T(%)	g	S(m)	G	
6,4	12,159		72,9	170,1	31	97,8	0	2,578	No Válido
7,1	14,304		65,7	124,3	35,5	96,5	0	3,032	No Válido
7,9	16,994		59,1	112,1	41	97,4	0	3,603	No Válido
8,7	19,577		53,6	101,3	46	98,3	0	4,15	No Válido
9,5	22,069		49,1	51,5	50,7	99,4	0,001	4,679	Válido
10,3	23,983		45,3	40,3	53,9	98,2	0,002	5,084	Válido
11,1	25,829		42	32,2	57	97,5	0,002	5,476	Válido
11,9	28,115		39,2	26	61	99,7	0,003	5,96	Válido
12,7	29,848		36,7	21,4	63,7	99,8	0,003	6,328	Válido
14,3	32,677		32,6	14,9	67,8	98,7	0,003	6,928	Válido
15,9	35,352		29,3	10,8	71,6	98,7	0,004	7,495	Válido
17,5	37,9		26,7	8	75,2	99,6	0,005	8,035	Válido
19,1	39,84		24,4	6,2	77,6	99,1	0,005	8,446	Válido

COLECTOR DE IMPULSION DN TRAMO 500.

STS SOFTWARE VERSION 1.0

Programa para cálculo de tuberías

CÁLCULO DE TUBERÍA AUTOPORTANTE - CÁLCULO DE VANO Y ESPESOR según norma AWWA M11

Referencia de Cálculo: COLECTOR_IMPULSION_DN_500

DATOS

Geometría de tubería

Diámetro exterior (mm): 509,6

Material de tubería

Tipo de acero: S275JR

Coefficiente de seguridad: 2

Fluido a transportar: Agua Pura (20°C)

Apoyo

Tipo: U

Ángulo de apoyo (°): 120

Cargas internas

Presión manométrica máxima de diseño (MPa): 1,456

Presión negativa interior de diseño (MPa): 0,1

Cargas externas

Aislamiento Densidad (kg/m3): 0

Espesor (mm): 0

Nieve Altitud (m): 0

Viento Velocidad (km/h): 0

Concentrada Peso (kg): 0

RESULTADOS

E(mm)	L(m)	P(%)	D(%)	L(%)	T(%)	g	S(m)	G	
6,4	20,697		43,7	106,3	65,3	98,4	0	4,388	No Válido
7,1	22,53		39,4	76,5	69,3	97,3	0,004	4,776	Válido
7,9	24,885		35,4	29,1	74,5	99,3	0,005	5,276	Válido
8,7	26,653		32,2	14,3	78	99,1	0,005	5,65	Válido
9,5	28,347		29,5	10,9	81,3	99,6	0,006	6,009	Válido
10,3	29,477		27,2	8,5	83,1	97,9	0,006	6,249	Válido
11,1	31,054		25,2	6,8	86,1	99,5	0,007	6,583	Válido
11,9	32,083		23,5	5,5	87,7	98,7	0,007	6,802	Válido
12,7	33,07		22	4,5	89,2	98,3	0,008	7,011	Válido
14,3	34,938		19,6	3,1	92,1	98,3	0,009	7,407	Válido
15,9	36,687		17,6	2,3	94,8	99,1	0,009	7,778	Válido
17,5	37,839		16	1,7	96,2	98	0,01	8,022	Válido

Comprobación del espesor

Se considera una presión de cálculo para la tubería de impulsión de 105 m.c.a. (50 % superior a la de diseño). Comprobamos la validez del espesor calculado mediante el programa informático:

Colector DN 1200: Fijando un espesor de 10 mm se calcula la resistencia a la tracción mínima que debe de tener el material mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_t = \frac{P \cdot D}{2 e}$$

siendo:

σ_t = tensión de tracción del material

e = espesor teórico, en mm

P = presión de cálculo, en Kg/mm²

D = diámetro del colector, en mm

$$\sigma_t = \frac{(0,105 \cdot 1200)}{2 \cdot 10} = 6,3 \text{ kp/mm}^2$$

Se ha previsto un acero del tipo A42, con una resistencia mínima a la tracción de 42 Kp/mm², valor muy superior al de 6,3 kp/mm² con lo que cubrimos con seguridad las tensiones previstas.

Colector DN 1000: Fijando un espesor de 10 mm se calcula la resistencia a la tracción mínima que debe de tener el material mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_t = \frac{P \cdot D}{2 e}$$

siendo:

σ_t = tensión de tracción del material

e = espesor teórico, en mm

P = presión de cálculo, en Kg/mm²

D = diámetro del colector, en mm

$$\sigma_t = \frac{(0,105 \cdot 1000)}{2 \cdot 10} = 5,25 \text{ kp/mm}^2$$

Se ha previsto un acero del tipo A42, con una resistencia mínima a la tracción de 42 Kp/mm², valor muy superior al de 5,25 kp/mm² con lo que cubrimos con seguridad las tensiones previstas.

Colector DN 500: Fijando un espesor de 10 mm se calcula la resistencia a la tracción mínima que debe de tener el material mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_t = \frac{P \cdot D}{2 e}$$

siendo:

σ_t = tensión de tracción del material

e = espesor teórico, en mm

P = presión de cálculo, en Kg/mm²

D = diámetro del colector, en mm

$$\sigma_t = \frac{(0,105 \cdot 500)}{2 \cdot 7,9} = 3,32 \text{ kp/mm}^2$$

Se ha previsto un acero del tipo A42, con una resistencia mínima a la tracción de 42 Kp/mm², valor muy superior al de 3,32kp/mm² con lo que cubrimos con seguridad las tensiones previstas.

Se incluye el *Apéndice 1 con las mediciones auxiliares de caldería* en la estación de bombeo.

6. 3. GOLPE DE ARIETE EN LA ESTACION DE BOMBEO

Los fenómenos no estacionarios, con rápidas variaciones de presión y de caudal que se presentan en los sistemas de fluidos a presión, se caracterizan por ser dependientes tanto del tiempo como de la posición. Estas variaciones de presión y caudal pueden formularse a partir de las leyes fundamentales de conservación de la masa y de conservación de la cantidad de movimiento. La resolución de las ecuaciones resultantes requiere el uso de programas de ordenador en los casos de instalaciones complejas en las que intervienen varios elementos hidráulicos que están interrelacionados y que complican la resolución del sistema de ecuaciones.

Se han desarrollado diversos métodos para resolver el sistema de ecuaciones. Entre ellos hay que destacar los basados en el "método de las características" y el utilizado en el programa de ordenador SURGE, desarrollado por el Civil Engineering Software Center de la Universidad de Kentucky (U.S.A.), que se basa en el denominado "método del plan de ondas". Los resultados que se obtiene por ambos procedimientos son idénticos, presentando este último la ventaja de que utiliza un modelo físico que facilita una mejor comprensión de la generación y propagación de las ondas de presión que se producen como resultado de variaciones en el sistema de tuberías (cierres de válvulas, parada de bombas, etc.).

Asimismo, éste método facilita la inclusión de elementos tales como uniones de tuberías, válvulas, bombas, chimeneas, calderines, depósitos de alimentación, válvulas anticipadoras de onda, ventosas, orificios, by-passes, etc. El programa de ordenador SURGE resuelve además cualquier red de tuberías por muy compleja que sea, incluso redes malladas.

El método del "plan de ondas" está basado en el concepto de que el flujo transitorio en tuberías resulta de la generación y propagación de ondas que ocurren debido a variaciones en el sistema. La onda de presión, que representa un cambio rápido de la presión y asociado al mismo un cambio del caudal, viaja a la velocidad del sonido del medio "líquido - tubería" y es parcialmente transmitida y reflejada en todas las discontinuidades del sistema de tuberías (uniones, bombas, extremos abiertos o cerrados, tanques anti-ariete, etc.). La onda de presión también resulta modificada por la rugosidad de la tubería.

Para el desarrollo de modelos los principales aspectos en primer lugar se deben aportar la descripción del sistema, que será una introducción a la infraestructura a analizar. Para ello se ha realizado una simulación de la red de nudos y tuberías de nuestra red de riego de forma esquemática.

Para comprobar el correcto diseño de la red y la idoneidad de las ventosas dimensionadas se ha realizado una simulación del funcionamiento de la red en los puntos más desfavorable, suponiendo una parada del bombeo por corte de corriente, con una inercia tal que la parada se produce en 2 sg. Se considera que los hidrantes abiertos pueden soltar agua, provocando el vaciado de la conducción. En la simulación se han colocado exclusivamente aquellas ventosas críticas en los puntos altos con los diámetros de diseño indicados. Por lo tanto todas las ventosas colocadas por distancias y antes o después de las válvulas mejorarán el funcionamiento de la red en este sentido.

En el *Apéndice 2 del Anejo 9 del Proyecto de la Fase de Seíasa* se incluyen los resultados del cálculo realizado con el programa SURGE desarrollado por el Departamento de Ingeniería civil, Universidad de Kentucky USA, Kentucky.

En este apartado se incluye exclusivamente el gráfico con el comportamiento de la presión en el nodo ubicado en la estación de bombeo y en el nodo ubicado a la salida de la misma en el punto de entronque entre el Ramal R-I y R-I-1, teniendo en cuenta que en la simulación no se incluyeron las ventosas instaladas en la propia estación de bombeo.

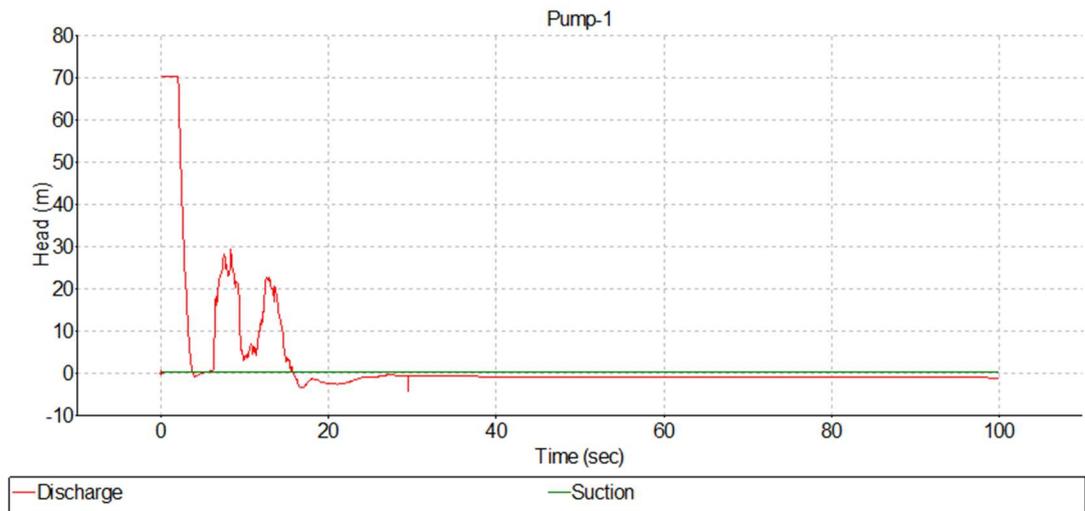


Gráfico 8.2: Simulación de comportamiento de la presión en E.B ante una parada brusca de bombas

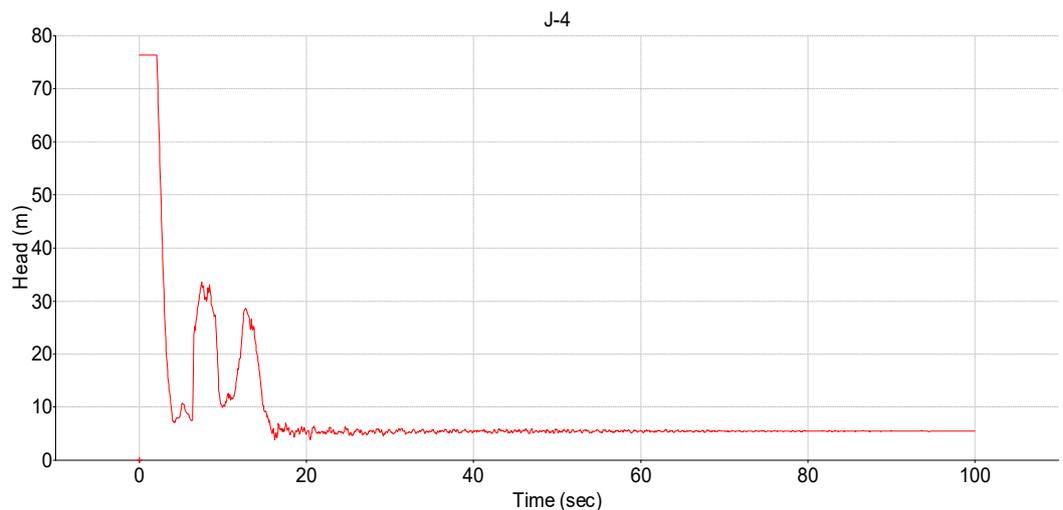


Gráfico 8.3: Simulación de comportamiento de la presión en el nodo de entronque R-I_R-I-1 ante una parada brusca de bombas.

Como conclusión se comprueba que:

- La máxima sobrepresión se produce en la red a la salida de la estación de bombeo alcanzando un valor de 7,55 bar (inferior a la presión nominal de la tubería instalada PN 10 bar).
- La máxima depresión se produce en la propia estación de bombeo alcanzando un valor mínimo de -0,4bar.

Para compensar la depresión que se generaría en el colector de la estación de bombeo y que se refleja en el informe se instalarán en el interior de la estación de bombeo 4 ventosas DN80 con purgador 1/4" en el colector principal además de la ventosa DN200 con purgador 1/4" que sí se ha incluido en la simulación. Así mismo se instalará una **válvula de alivio DN 350** en el colector principal como medida de precaución para evitar las sobrepresiones por maniobras incorrectas en la estación de bombeo.

APENDICE 1: MEDICIÓN AUXILIAR DE CALDERERÍA EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO

CUELLO CISNE SALIDA ESTACIÓN	TRAMO	diametro interior	longitud	espesor	superficie tubo	volumen o cantidad	kg/m o kg pieza	kg pieza
	tubería	1200	21	11,9	0,045	0,951	7850	7468,83
	salida 80	80	1	6,4	0,002	0,002	7850	13,64
	bridas 1200	1200			0,000	2,000	180	360,00
	virola 1200	1220	0,02	301	1,438	0,029	7850	225,81
	virola 1200	1220	0,02	301	1,438	0,029	7850	225,81
								8294,09
COLECTOR PRINCIPAL ESTACIÓN BOMBEO	TRAMO	diametro interior	longitud	espesor	superficie tubo	volumen o cantidad	kg/m o kg pieza	kg pieza
	tubería	1200	10	11,9	0,045	0,453	7850	3556,59
	salida 80	80	3	6,4	0,002	0,005	7850	40,91
	salida 300	300	2	7,9	0,008	0,015	7850	119,97
	salida 500	500	5	7,9	0,013	0,063	7850	494,76
	bridas 1200	1200			0,000	2,000	180	360,00
	1000 tramo b	1000	1	11,9	0,038	0,038	7850	296,96
	brida 1000					1,000	170	170,00
	brida ciega 1000	1000		100	0,785	0,079	7850	616,54
	reduccion DN							
	1200/1000	1200	1,228	11,9	0,045	0,056	7850	436,75
	salida 350	350	1	7,9	0,009	0,009	7850	69,73
Tramo 350	350	15	7,9	0,009	0,133	7850	1045,92	
								7208,13

COLECTORES BOMBAS	TRAMO	diametro interior	longitud	espesor	superficie tubo	volumen o cantidad	kg/m o kg pieza	kg pieza
	Tramo 500	500	30	7,9	0,013	0,378	7850	2968,56
	brida 500					15,000	50	750,00
	Tramo 300	300	15	7,9	0,008	0,115	7850	899,80
	brida 300					6,000	45	270,00
	reduccion tramo 500-450	500	5	7,9	0,013	0,063	7850	494,76
	reduccion tramo 300-250	300	2	7,9	0,008	0,015	7850	119,97
								5503,10
	TOTAL CALDERERÍA ESTACIÓN DE BOMBEO							