ANEJO Nº 11 - DISEÑO DE BOMBEO DE IMPULSIÓN

ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN 3
2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO Y ELECCIÓN DE BOMBAS: 3
3. DIMENSIONES DE LOS POZOS DE BOMBEO: 4
3.1. BOMBEO INICIAL A TRATAMIENTO TERCIARIO 4
3.1.1. Datos de partida 4
3.1.2. Pozo de bombeo 4
3.1.3. Potencia de las bombas 5
3.1.4. Velocidad a la salida del bombeo: 8
3.2. BOMBEO 1 DESDE BALSA A DEPÓSITO HUERTO SOLAR 9
3.2.1. Datos de partida 9
3.2.2. Pozo de bombeo 9
3.2.3. Potencia de las bombas 10
3.2.4. Velocidad a la salida del bombeo: 13
3.3. BOMBEO 2 DESDE DEPÓSITO HUERTO SOLAR A EMBALSE “E” 13
3.3.1. Datos de partida 13
3.3.2. Pozo de bombeo 13
3.3.3. Potencia de las bombas 14
3.3.4. Velocidad a la salida del bombeo: 18

1. INTRODUCCIÓN

En el presento anejo se realizará un estudio del bombeo necesario con el fin de dotar, según las características del diseño hidráulico (obtenidos en el Anejo Nº9 del presente proyecto) el agua regenerada necesaria en el punto final de la impulsión (Embalse "E"), con las características mínimas necesarias que cumpla los requisitos anteriormente mencionados para la impulsión.

Cabe destacar que existen 3 puntos de bombeo distintos durante la impulsión:

- Bombeo inicial al tratamiento terciario desde la depuradora de Huércal-Overa.
- Bombeo de impulsión desde tratamiento terciario hasta el punto intermedio, situado en el huerto solar que dota de energía eléctrica a dicho bombeo intermedio.
- Bombeo intermedio desde huerto solar hasta punto final de la impulsión, el embalse "E".

Para ello se requiere de los parámetros obtenidos en el Anejo Nº9:

- Caudales
- Alturas geométricas y manométricas de la impulsión.

En el presente proyecto se determinará la potencia de las bombas, el número de bombas a disponer en paralelo y las características mínimas exigibles a las mismas.

2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO Y ELECCIÓN DE BOMBAS:

La primera aproximación que realizaremos será de forma analítica, para tener una idea aproximada de qué bombeo escoger.

La potencia (en Cv) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{Q \times H_{man}}{75 \times \eta}$$

Siendo:

P, la potencia de la bomba en Cv

Q: el caudal requerido en l/s

H_{man}, la altura manométrica requerida, en m.

η, el rendimiento de la bomba considerado.

Cabe destacar que el caudal en litros por segundo resulta de dividir el caudal obtenido en el Anejo Nº9 de diseño hidráulico de la impulsión en metros cúbicos por segundo para cada uno de los tramos y multiplicarlo por mil. Por otro lado, la altura manométrica se consigue también según los cálculos hidráulicos de dicho Anejo Nº9 de cálculo hidráulico de la impulsión del presente proyecto.

Al tratarse de bombas eléctricas, se necesitará establecer el valor de la potencia en kilovatios (kW), por lo que será necesario aplicar una fórmula de conversión:

$$P(kw) = \frac{P(Cv)}{1{,}36}$$

O lo que es lo mismo:

$$P(kw) = P(Cv) \times 0{,}735$$

Cabe la posibilidad de que no se obtenga un valor satisfactorio para una sola bomba. Para ello, se establece la posibilidad de disponer de varias bombas en paralelo.

Por ello,

$$P_{N\ bombas} = \frac{P(kW) \times K}{N}$$

Siendo,

N el número de bombas dispuestas en paralelo

K coeficiente reductor para la disposición en paralelo de las bombas

El coeficiente reductor dependería de casa comercial y del tipo de bomba, ya que depende de varios factores como su rendimiento, por ejemplo. No obstante, para el predimensionamiento se estima de la siguiente manera:

N bombas (en paralelo)	K
2	1,10
3	1,18

A partir de aquí, será necesario obtener la curva característica de la impulsión y, por consiguiente, terminar por determinar, mediante los diferentes parámetros de las bombas (rendimiento, curva HQ, NSPH, etc.), las características que serán mínimas exigibles a disponer para el correcto funcionamiento de la impulsión.

3. DIMENSIONES DE LOS POZOS DE BOMBEO:

3.1. BOMBEO INICIAL A TRATAMIENTO TERCIARIO

3.1.1. Datos de partida

Los datos de partida se incluyen en la siguiente tabla:

	DATOS DE PARTIDA		
DATOS DE PARTIDA	Caudal diseño diario total	m3/h	3563,55
	Caudal diseño horario total	m3/h	148,48
	Caudal diseño	m3/s	0,0412
	Caudal diseño	l/s	41,2
	Nº de horas de funcionamiento	h/d	24
	Caudal diseño horario total	m3/h	148,4800
	Caudal diseño	m3/s	0,0412
	Caudal diseño	l/s	41,2
	Altura manométrica	mca	7
	Nº arranques por hora	ud/h	15

3.1.2. Pozo de bombeo

Se va a realizar una estación de bombeo con bombas centrifugas sumergibles, donde la cámara de recogida ha de cumplir, además de asegurarse que se halle bien ventilada y no permita acumulación de gases, que sus dimensiones han de permitir el equilibrio de dos exigencias contrapuestas:

- El volumen útil tiene que responder de los encendidos/horas de las bombas.
- El periodo de tiempo “de bombas parada” no ha de consentir la formación de sedimentaciones duras.

Teniendo en cuenta las siguientes consideraciones,

- Separaciones entre ejes de bombas: 0,7 m
- Espacio entre bordes de bombas: 0,2 m
- Espacio entre bomba y pared: 0,15 m

Con las consideraciones previas, se obtiene unas dimensiones óptimas de una anchura de 2,20 m para disponer de las 3 bombas, y una longitud de 1,70 m, con el fin de permitir la instalación de las tuberías de 80 mm de diámetro nominal en la impulsión de las bombas.

La capacidad mínima necesaria de la arqueta de impulsión se ha determinado mediante la fórmula:

$$V_u = \frac{0{,}9 \times Q_{max}}{Z}$$

Siendo:

V_u: Volumen útil necesario de impulsión en m3.

Q_{max}: Caudal máx. en l/s., en nuestro caso 148,48 m3/h= 41,24 l/s

Z: Número de arranques/hora de la bomba, en nuestro caso 15 (ver en apartado 3.1.2)

Aplicando una sección de 2,20x1,70 m., obtenemos:

$$V_u = \frac{0{,}9 \times 148{,}48}{15} = 8{,}91\ m^3$$

Por lo tanto, la altura útil mínima necesaria es:

$$V_u = L' \times L \times H = 8{,}91$$

Siendo,

L' la anchura de la arqueta

L la longitud de la arqueta

H la altura.

De donde:

$$V_u = L' \times L \times H = 8{,}91$$

$$H = \frac{8{,}91}{2{,}20 \times 1{,}70} = 2{,}38\ m$$

La altura mínima de la arqueta a disponer es de 2,38 metros.

Se ha previsto un aliviadero de emergencia a la entrada del pozo de bombeo para su envío a cabecera de EDAR y además, aliviar los caudales en caso de parada de las bombas.

CAPACIDAD MÍNIMA POZO DE BOMBEO	**DIMENSIONAMIENTO MÍNIMO POZO DE BOMBEO**		
	Caudal máximo de diseño	m3/h	148,48
	Caudal máximo de diseño	m3/s	0,0412
	Caudal máximo de diseño	l/s	41,2
	Nº de arranques por hora	ud/h	15
	Capacidad (volumen) mínimo	m3	8,91
	SECCIÓN		
	Longitud pozo	m	2,20
	Anchura pozo	m	1,70
	Superficie pozo	m2	3,74
	VOLUMEN MÍNIMO		
	Profundidad mínima de pozo	m	2,38
	Profundidad real de pozo	m	2,5
	Volumen real	m3	9,35
	CUMPLE?		SI

3.1.3. Potencia de las bombas

Para un funcionamiento de las bombas de 24 horas, el caudal diario resultante es de 3.563,55 m3, tal y como se ha visto en el anejo Nº9, correspondiente al caudal aportado por la depuradora de Huércal-Overa. En ese caso, calculamos el caudal en litros por segundos y en metros cúbicos por hora.

$$Q = 3.563{,}55\ \frac{m^3}{día} \times \frac{1\ día}{(24h \times 60min \times 60s)}$$

$$Q = 0{,}04124 \frac{m^3}{día}$$

A partir de aquí:

$$Q = 0{,}0412\ \frac{m^3}{s} \times \frac{1000\ l}{1\ m^3} = 41{,}24 \frac{l}{s}$$

$$Q = 0{,}0412\ \frac{m^3}{s} \times \frac{3600s}{1\ h} = 148{,}48 \frac{m^3}{h}$$

La primera aproximación la obtendremos con el cálculo suponiendo un rendimiento del 75% de la bomba, con una altura manométrica de 7 metros (obtenido en Anejo Nº27 de dimensionamiento del proceso), mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{Q \times H_{man}}{75 \times \eta}$$

De donde,

$$P = \frac{41{,}24 \times 7}{75 \times 0{,}75}$$

$$P = 5{,}13\ Cv$$

Cuya conversión resulta:

$$P(kW) = P(Cv) \times 0{,}735 = 5{,}13 \times 0{,}735 = 3{,}77\ kW$$

Con el fin de optimizar el resultado, se supone que se implementa una solución de 2 bombas en funcionamiento (+1 de reserva), por lo que optamos por realizar el pre-dimensionamiento con 2 bombas en paralelo, mediante la formulación anteriormente indicada:

$$P_{N\ bombas} = \frac{P(kW) \times K}{N}$$

Para dos bombas en paralelo:

N bombas (en paralelo)	K
2	1,10
3	1,18

$$P_{N\ bombas} = \frac{3{,}77 \times 1{,}1}{2} = 2{,}07\ kW$$

Podemos establecer que la horquilla que necesitaremos para dimensionar las bombas resultará de disponer 2 bombas en funcionamiento de 3 kW (+1 en reserva).

ESTIMACIÓN POTENCIA DE BOMBAS	**DIMENSIONAMIENTO BOMBAS (iteración 1)**		
	Nº de bombas en funcionamiento	ud	1
	Nº de bombas en reserva	ud	1
	Caudal unitario	l/s	41,2
	Altura manométrica	mca	7
	Rendimiento estimado	%	75,00%
	Potencia estimada	CV	5,13
	Potencia estimada	kW	3,77
	K		1
	Potencia unitaria bomba estimada	**kW**	**3,77**
	DIMENSIONAMIENTO BOMBAS (iteración 2)		
	Nº de bombas en funcionamiento	ud	2
	Nº de bombas en reserva	ud	1
	Caudal unitario	l/s	20,6
	Altura manométrica	mca	7
	Rendimiento estimado	%	75,00%
	Potencia estimada	CV	2,56
	Potencia estimada	kW	1,88
	K		1,1
	Potencia unitaria bomba estimada	**kW**	**2,07**
	DIMENSIONAMIENTO BOMBAS (iteración 3)		
	Nº de bombas en funcionamiento	ud	2
	Nº de bombas en reserva	ud	1
	Caudal unitario	l/s	20,6
	Altura manométrica	mca	7
	Rendimiento estimado	%	75,00%
	Potencia estimada	CV	2,56
	Potencia estimada	kW	1,88
	K		1,1
	Potencia unitaria bomba estimada	**kW**	**2,07**
	POTENCIA UNITARIA MÍNIMA ESTIMADA	**kW**	**2,1**
	DISPOSICIÓN		**2+1**

POTENCIA ESCOGIDA

3,00kW

El bombeo escogido de referencia para el dimensionamiento del bombeo de impulsión será un sistema 2+1 (2 bombas en paralelo y 1 de reserva) de bombas sumergibles de 3 kW con las siguientes características:

Datos de diseño:

Para un caudal 21 l/s (dimensionamiento una sola bomba)

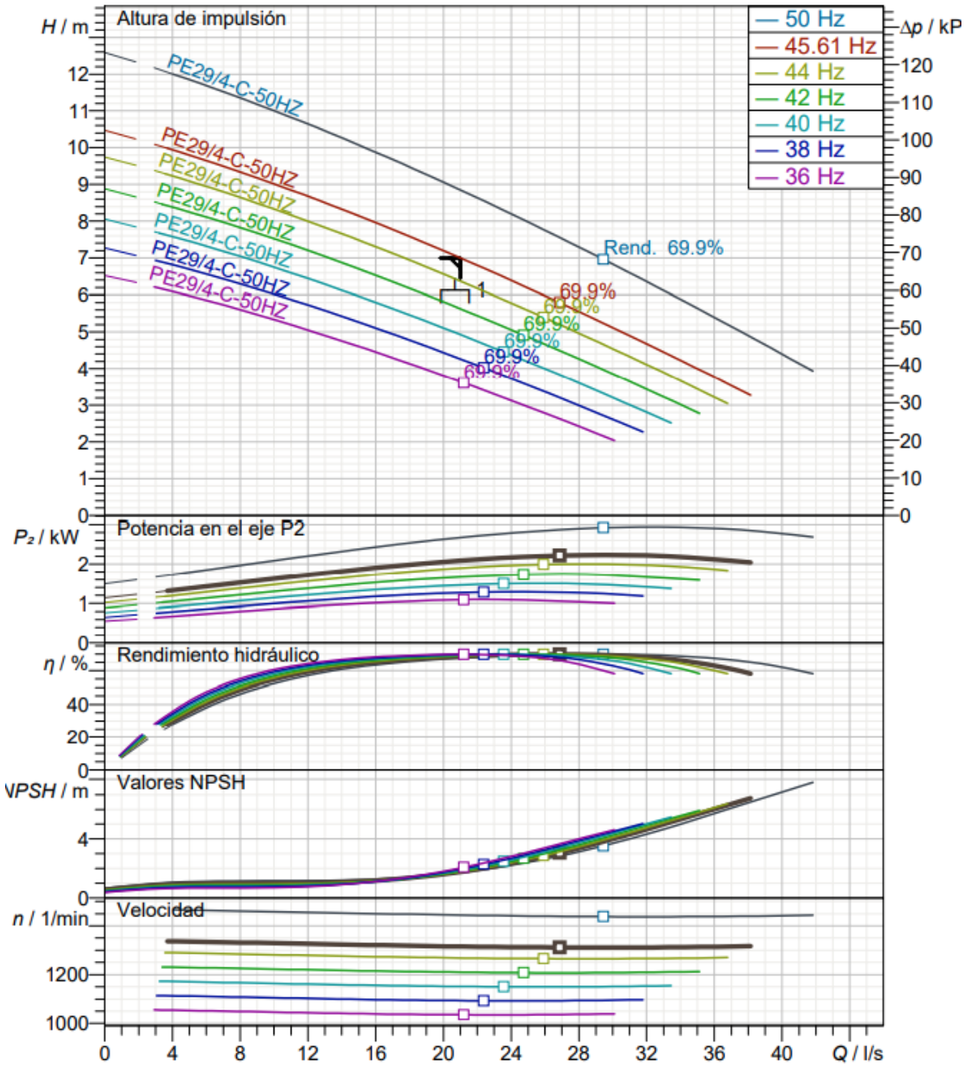
- Rendimiento 68,5 %
- Número de impulsores 1
- NPSH 1,76 m
- Temperatura 20ºC Vertical
- Altura 7m

Instalación:

- Tamaño de la conexión de entrada (boca aspiración) DN 100
- Tamaño de la conexión de salida (boca impulsión) DN 80 (1)

Datos eléctricos:

- **Potencia nominal - P2 2,95 kW**
- **Potencia (P2) requerida por la bomba 2,95 kW**
- **Frecuencia de red 50 Hz**
- Tensión nominal 400 V
- Corriente nominal 6,4 A
- Intensidad de arranque 36 A
- **Número de arranques/h 15**
- Cos phi - factor de potencia 0,76
- Velocidad nominal 1440 rpm
- Eficiencia IE3 87,8%
- Par nominal 19,6 Nm
- Número de polos 4
- Grado de protección (IEC 34-5) IP68



Nota: cabe destacar que esto es una referencia a partir de una marca comercial. No obstante, esta verificación serviría para cualquier bomba equivalente de cualquier marca comercial con la misma disposición y características o similares. Será requerido realizar la misma comprobación en dicho caso.

3.1.4. Velocidad a la salida del bombeo:

Para una tubería de salida de diámetro nominal DN80, tenemos la siguiente velocidad de cálculo a caudal medio de diseño de dimensionamiento de la instalación:

- Diámetro de la conducción: 80 mm = 0,08 m.
- Sección de la conducción:

$$S = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \pi \times \left(\frac{0{,}08}{2}\right)^2 = 0{,}0043 m^2$$

- Caudal de diseño: 148,48 m³/h
- Número de bombas en funcionamiento: 2
- Caudal unitario de diseño: 74,24 m³/h = 0,0206 m³/s

De donde la velocidad de diseño vendrá dada por la siguiente ecuación:

$$v = \frac{Q}{S}$$

(siendo la velocidad en tubería por sección en m/s)

$$v = \frac{0{,}0206}{0{,}0043} = 4{,}79 \ \frac{m}{s}$$

Esta velocidad resulta excesiva, por lo que será necesario de aumentar la sección de la tubería mediante una pieza de calderería (reducción, para pasar de DN80 al nuevo diámetro).

La máxima velocidad exigible para esta tubería sería de 2,5 m/s, por lo que, teniendo el caudal fijado en este punto, será necesario aumentar la sección y, por ende, el diámetro de la tubería:

$$v = \frac{0{,}0206}{S_{min}} = 2{,}5 \ \frac{m}{s}$$

De donde:

$$S_{min} = \frac{0{,}0206}{2{,}5} = 0{,}00824$$

El diámetro necesario será:

$$S_{min} = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 = 0{,}00824$$

Por consiguiente:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0{,}00824}{\pi}} = 0{,}102 m$$

Por lo tanto, el diámetro mínimo a exigir para la salida del bombeo será de 102mm. Se escogerá, por tanto, un diámetro de salida de la tubería de acero de DN150, por lo que se dispondrá de una pieza de calderería de reducción de diámetro para pasar de DN80 a DN150 a la salida del equipo de bombeo.

Si verificamos:

- Diámetro de la conducción: 150 mm = 0,15 m.
- Sección de la conducción:

$$S = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \pi \times \left(\frac{0{,}15}{2}\right)^2 = 0{,}0163 m^2$$

- Caudal de diseño: 148,48 m³/h
- Número de bombas en funcionamiento: 2
- Caudal unitario de diseño: 74,24 m³/h = 0,0206 m³/s

De donde la velocidad de diseño vendrá dada por la siguiente ecuación:

$$v = \frac{Q}{S}$$

(siendo la velocidad en tubería por sección en m/s)

$$v = \frac{0{,}0206}{0{,}0163} = 1{,}27 \ \frac{m}{s}$$

Que cumple holgadamente con el requisito establecido.

3.2. BOMBEO 1 DESDE BALSA A DEPÓSITO HUERTO SOLAR

3.2.1. Datos de partida

Los datos de partida se incluyen en la siguiente tabla:

	DATOS DE PARTIDA		
DATOS DE PARTIDA	Caudal diseño diario total	m3/h	3563,55
	Caudal diseño horario total	m3/h	148,48
	Caudal diseño	m3/s	0,0412
	Caudal diseño	l/s	41,2
	Nº de horas de funcionamiento	h/d	16
	Caudal diseño horario total	m3/h	222,7200
	Caudal diseño	m3/s	0,0619
	Caudal diseño	l/s	61,9
	Altura manométrica	mca	194,11
	Nº arranques por hora	ud/h	9

3.2.2. Pozo de bombeo

La capacidad mínima necesaria de la arqueta de impulsión se ha determinado mediante la fórmula:

$$V_u = \frac{0{,}9 \times Q_{max}}{Z}$$

Siendo:

V_u: Volumen útil necesario de impulsión en m3.

Q_{max}: Caudal máx. en l/s., en nuestro caso 222,73 m3/h= 61,87 l/s

Z: Número de arranques/hora de la bomba, en nuestro caso 9 (valor típico para bombas en una horquilla de 40-100 kW con 2 polos y 50 Hz)

Para la correcta disposición de las bombas verticales centrífugas, se ha estimado una arqueta de 3 x 3, por lo tanto, aplicando una sección de 3,00 x 3,00 m., obtenemos:

$$V_u = \frac{0{,}9 \times 222{,}72}{9} = 22{,}27\ m^3$$

Por lo tanto, la altura útil mínima necesaria es:

$$V_u = L' \times L \times H = 22{,}27$$

Siendo,

- L' la anchura de la arqueta
- L la longitud de la arqueta
- H la altura.

De donde:

$$V_u = L' \times L \times H = 22{,}27$$

$$H = \frac{25{,}06}{4{,}00 \times 1{,}50} = 3{,}71\ m$$

La altura mínima de la arqueta a disponer es de 3,71 metros.

	DIMENSIONAMIENTO MÍNIMO POZO DE BOMBEO		
CAPACIDAD MÍNIMA POZO DE BOMBEO	Caudal máximo de diseño	m3/h	222,72
	Caudal máximo de diseño	m3/s	0,06187
	Caudal máximo de diseño	l/s	61,87
	Nº de arranques por hora	ud/h	9
	Capacidad (volumen) mínimo	m3	22,27
	SECCIÓN		

	Longitud pozo	m	4,00
	Anchura pozo	m	1,50
	Superficie pozo	m2	6
	VOLUMEN MÍNIMO		
	Profundidad mínima de pozo	m	3,71
	Profundidad real de pozo	m	4,69
	Volumen real	m3	28,14
	CUMPLE?		SI

3.2.3. Potencia de las bombas

En segundo lugar, procederemos a calcular el caudal de este tramo en metros cúbicos por hora y en litros por segundo, a partir del caudal de 0,0619 m3/s del que disponemos (ver Anejo Nº9).

$$Q = 0{,}06187\ \frac{m^3}{s} \times \frac{1000\ l}{1\ m^3} = 61{,}87 \frac{l}{s}$$

$$Q = 0{,}06187\ \frac{m^3}{s} \times \frac{3600 s}{1\ h} = 222{,}72 \frac{m^3}{h}$$

La primera aproximación la obtendremos con el cálculo suponiendo un rendimiento del 75% de la bomba, con una altura manométrica de 194,11 mca (obtenido en Anejo Nº9), mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{Q \times H_{man}}{75 \times \eta}$$

De donde,

$$P = \frac{61{,}87 \times 194{,}11}{75 \times 0{,}75}$$

$$P = 213{,}61\ Cv$$

Cuya conversión resulta:

$$P(kW) = P(Cv) \times 0{,}735 = 213{,}61 \times 0{,}735 = 157{,}07\ kW$$

Se antoja que la potencia para una única bomba resulta demasiado elevada, por lo que optamos por realizar el pre-dimensionamiento con 2 bombas en paralelo, mediante la formulación anteriormente indicada:

$$P_{N\ bombas} = \frac{P(kW) \times K}{N}$$

Para dos bombas en paralelo:

N bombas (en paralelo)	K
2	1,10
3	1,18

$$P_{N\ bombas} = \frac{157{,}07 \times 1{,}1}{2} = 86{,}38\ kW$$

Podemos establecer que la horquilla que necesitaremos para dimensionar las bombas resultará de disponer 2 bombas de 90 kW.

ESTIMACIÓN POTENCIA DE BOMBAS	**DIMENSIONAMIENTO BOMBAS (iteración 1)**		
	Nº de bombas en funcionamiento	ud	1
	Nº de bombas en reserva	ud	1
	Caudal unitario	l/s	61,9
	Altura manométrica	mca	194,11
	Rendimiento estimado	%	75,00%
	Potencia estimada	CV	213,61
	Potencia estimada	kW	157,07
	K		1
	Potencia unitaria bomba estimada	**kW**	**157,07**
	DIMENSIONAMIENTO BOMBAS (iteración 2)		
	Nº de bombas en funcionamiento	ud	2
	Nº de bombas en reserva	ud	1
	Caudal unitario	l/s	30,95

Altura manométrica	mca	194,11	
Rendimiento estimado	%	75,00%	
Potencia estimada	CV	106,8	
Potencia estimada	kW	78,53	
K		1,1	
Potencia unitaria bomba estimada	**kW**	**86,38**	
DIMENSIONAMIENTO BOMBAS (iteración 3)			
Nº de bombas en funcionamiento	ud	2	
Nº de bombas en reserva	ud	1	
Caudal unitario	l/s	30,95	
Altura manométrica	mca	194,11	
Rendimiento estimado	%	75,00%	
Potencia estimada	CV	106,8	
Potencia estimada	kW	78,53	
K		1,1	
Potencia unitaria bomba estimada	**kW**	**86,38**	
POTENCIA UNITARIA MÍNIMA ESTIMADA	**kW**	**86,4**	**POTENCIA ESCOGIDA**
DISPOSICIÓN		**2+1**	**90,00kW**

El bombeo escogido de referencia para el dimensionamiento del bombeo de impulsión será un sistema 2+1 (2 bombas en paralelo y 1 de reserva) de bombas sumergibles de 90 kW de potencia nominal con las siguientes características:

Características técnicas:

- Velocidad predeterminada 2977 rpm
- Impulsores 6
- Número de impulsores de diámetro reducido 0
- NPSH baja N
- Orientación de bomba Vertical

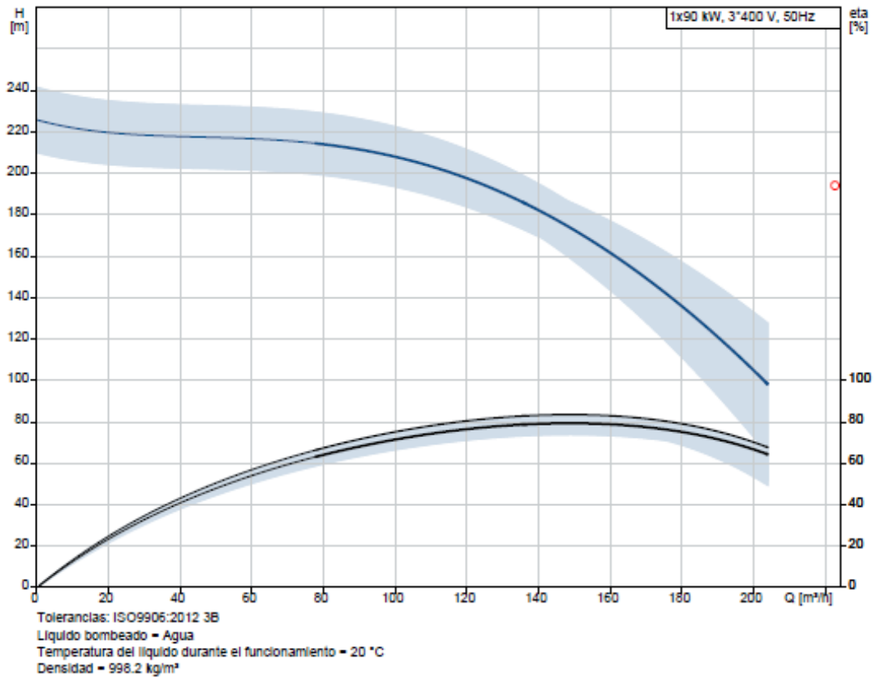
Instalación:

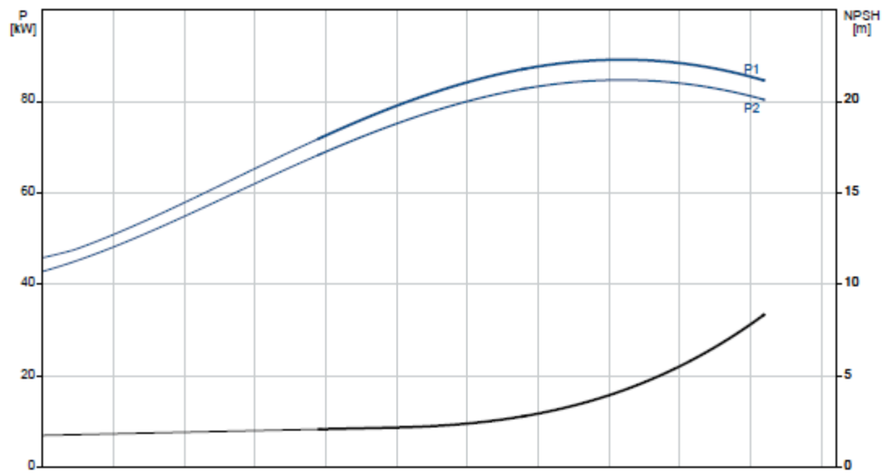
- temp. máx. ambiente 55 °C
- Presión de trabajo máxima 25 bar
- Presión máxima a la temp. declarada 25 bar / 120 °C
- Tipo de conexión DIN
- Tamaño de la conexión de entrada DN 150
- Tamaño de la conexión de salida DN 150
- Presión nominal para la conexión PN 25/40
- Tamaño de la brida del motor FF500
- Código de conexión F

Datos eléctricos:

- Normativa de motor IEC
- Clase eficiencia IE IE3
- **Potencia nominal - P2 90 kW**
- **Potencia (P2) requerida por la bomba 90 kW**
- **Frecuencia de red 50 Hz**
- Tensión nominal3 x 380-420D/660-725Y V
- Intensidad nominal 152/88 A
- Intensidad de arranque 720-720 %
- Cos phi - factor de potencia 0.90
- Velocidad nominal 2975 rpm
- Eficiencia IE3 95,0%
- Eficiencia del motor a carga total 94.7-94.7 %
- Eficiencia del motor a una carga de 3/4 95,1-95,1 %
- Eficiencia del motor a una carga de 1/2 94,6-94,6 %
- Número de polos 2
- Grado de protección (IEC 34-5) IP55
- Clase de aislamiento (IEC 85) F

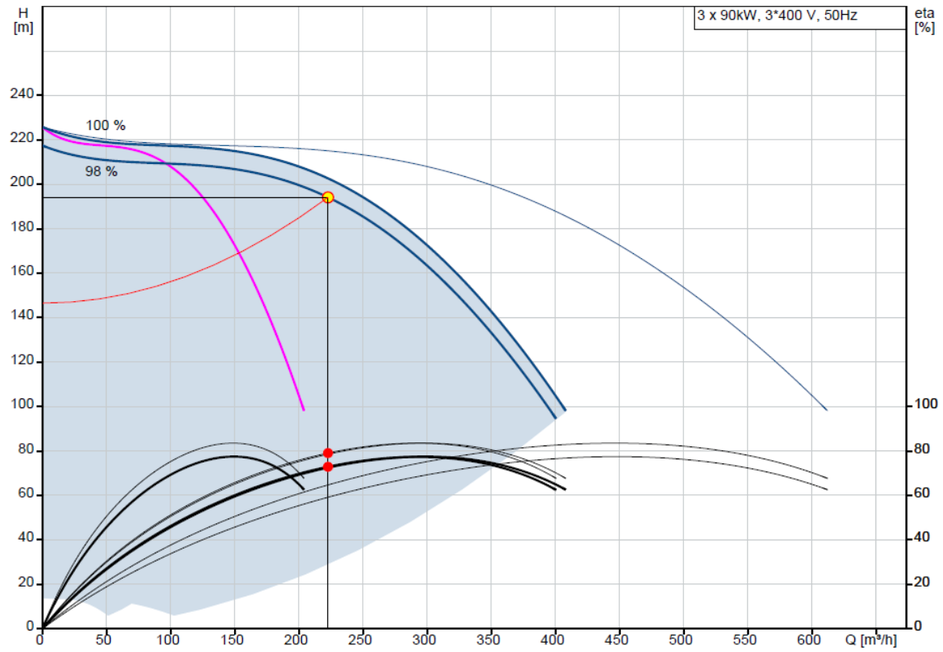
En primer lugar, verificamos que con una sola bomba no cumple.

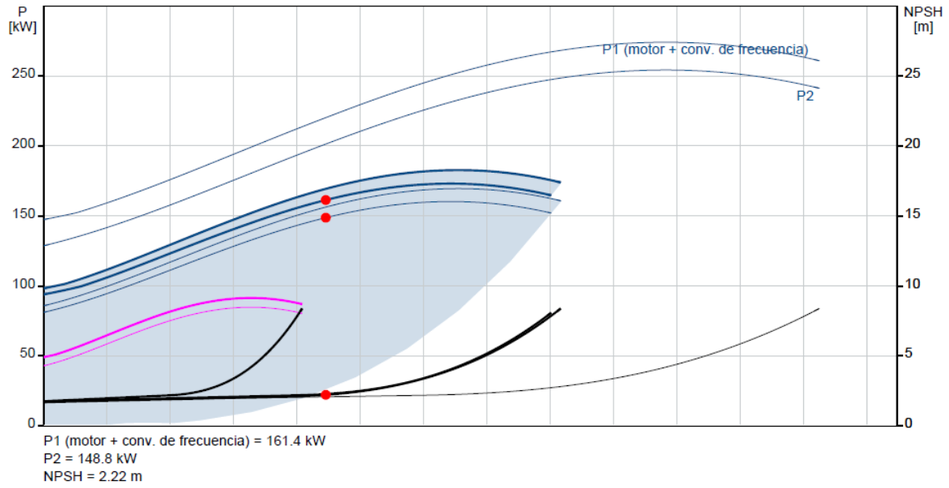




Se puede observar claramente que, para una altura manométrica de 194,11 metros, estamos muy lejos del caudal requerido de proyecto de 222,72 m3/hora.

Para la disposición escogida de 2 bombas en paralelo (+1 de reserva), obtenemos la siguiente curva:





Nota: cabe destacar que esto es una referencia a partir de una marca comercial. No obstante, esta verificación serviría para cualquier bomba equivalente de cualquier marca comercial con la misma disposición y características o similares. Será requerido realizar la misma comprobación en dicho caso.

3.2.4. Velocidad a la salida del bombeo:

Para una tubería de salida de diámetro nominal DN80, tenemos la siguiente velocidad de cálculo a caudal medio de diseño de dimensionamiento de la instalación:

- Diámetro de la conducción: 150 mm = 0,15 m.
- Sección de la conducción:

$$S = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \pi \times \left(\frac{0{,}15}{2}\right)^2 = 0{,}0163 m^2$$

- Caudal de diseño: 222,72 m³/h
- Número de bombas en funcionamiento: 2
- Caudal unitario de diseño: 111,36 m³/h = 0,0309 m³/s

De donde la velocidad de diseño vendrá dada por la siguiente ecuación:

$$v = \frac{Q}{S}$$

(siendo la velocidad en tubería por sección en m/s)

$$v = \frac{0{,}0309}{0{,}0163} = 1{,}89 \frac{m}{s}$$

Esta velocidad resulta adecuada, por lo que no será necesario de aumentar la sección de la tubería mediante una pieza de calderería.

3.3. BOMBEO 2 DESDE DEPÓSITO HUERTO SOLAR A EMBALSE "E"

3.3.1. Datos de partida

	DATOS DE PARTIDA		
DATOS DE PARTIDA	Caudal diseño diario total	m3/h	3563,55
	Caudal diseño horario total	m3/h	148,48
	Caudal diseño	m3/s	0,0412
	Caudal diseño	l/s	41,2
	Nº de horas de funcionamiento	h/d	5
	Caudal diseño horario total	m3/h	712,7040
	Caudal diseño	m3/s	0,198
	Caudal diseño	l/s	198
	Altura manométrica	mca	88,84
	Nº arranques por hora	ud/h	11

3.3.2. Pozo de bombeo

La capacidad mínima necesaria de la arqueta de impulsión se ha determinado mediante la fórmula:

$$V_u = \frac{0{,}9 \times Q_{max}}{Z}$$

Siendo:

V_u: Volumen útil necesario de impulsión en m3.

Q_{max}: Caudal máx. en l/s., en nuestro caso 395,95 m3/h= 110 l/s

Z: Número de arranques/hora de la bomba, en nuestro caso 9 (valor típico para bombas en una horquilla de 40-100 kW con 2 polos y 50 Hz)

Para la correcta disposición de las bombas verticales centrífugas, se ha estimado una arqueta de 3 x 3, por lo tanto, aplicando una sección de 3,00 x 3,00 m., obtenemos:

$$V_u = \frac{0{,}9 \times 712{,}70}{9} = 58{,}31$$

Por lo tanto, la altura útil mínima necesaria es:

$$V_u = L' \times L \times H = 58{,}31$$

Siendo,

- L' la anchura de la arqueta
- L la longitud de la arqueta
- H la altura.

De donde:

$$V_u = L' \times L \times H = 58{,}31$$

$$H = \frac{58{,}31}{5{,}60 \times 2{,}60} = 4{,}00\ m$$

La altura mínima de la arqueta a disponer es de 4,00 metros.

CAPACIDAD MÍNIMA POZO DE BOMBEO	**DIMENSIONAMIENTO MÍNIMO POZO DE BOMBEO**		
	Caudal máximo de diseño	m3/h	712,7040
	Caudal máximo de diseño	m3/s	0,198
	Caudal máximo de diseño	l/s	198
	Nº de arranques por hora	ud/h	11
	Capacidad (volumen) mínimo	m3	58,31
	SECCIÓN		
	Longitud pozo	m	5,60
	Anchura pozo	m	2,60
	Superficie pozo	m2	14,56
	VOLUMEN MÍNIMO		
	Profundidad mínima de pozo	m	4
	Profundidad real de pozo	m	4,1
	Volumen real	m3	59,696
	CUMPLE?		SI

3.3.3. Potencia de las bombas

Procedemos del mismo modo que para el bombeo 1 (del terciario al depósito del huerto), calculando el caudal de este tramo en metros cúbicos por hora y en litros por segundo, a partir del caudal de 0,198 m3/s del que disponemos (ver Anejo Nº9).

$$Q = 0{,}198\ \frac{m^3}{s} \times \frac{1000\ l}{1\ m^3} = 198{,}0 \frac{l}{s}$$

$$Q = 0{,}198\ \frac{m^3}{s} \times \frac{3600 s}{1\ h} = 712{,}70 \frac{m^3}{h}$$

No obstante, y aunque los cálculos hidráulicos se han realizado con esos caudales, se preverá una ampliación de la instalación para poder abastecer las aguas regeneradas al embalse "E" en 5 horas.

La primera aproximación la obtendremos con el cálculo suponiendo un rendimiento del 75% de la bomba, con una altura manométrica de 88,84 mca (obtenido en Anejo Nº9), mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{Q \times H_{man}}{75 \times \eta}$$

De donde,

$$P = \frac{198{,}00 \times 88{,}84}{75 \times 0{,}75}$$

$$P = 312{,}72\ Cv$$

Cuya conversión resulta:

$$P(kW) = P(Cv) \times 0{,}735 = 312{,}72 \times 0{,}735 = 229{,}94\ kW$$

Se antoja que la potencia para una única bomba resulta demasiado elevada, por lo que optamos por realizar el pre-dimensionamiento con 3 bombas en paralelo, mediante la formulación anteriormente indicada:

$$P_{N\ bombas} = \frac{P(kW) \times K}{N}$$

Para tres bombas en paralelo:

N bombas (en paralelo)	K
2	1,10
3	1,18

Para la disposición de 2 bombas en paralelo, se establece la potencia siguiente:

$$P_{N\ bombas} = \frac{229{,}94 \times 1{,}18}{3} = 89{,}9kW$$

Podemos determinar que, presumiblemente, necesitaremos una disposición de 3+1 bombas (3 bombas en funcionamiento en paralelo y una de reserva) de 90 kW de potencia.

El bombeo escogido de referencia para el dimensionamiento del bombeo de impulsión será un sistema 3+1 (3 bombas en paralelo y 1 de reserva) de bombas verticales, con las siguientes características:

DATOS DE PARTIDA	**DATOS DE PARTIDA**		
	Caudal diseño diario total	m3/h	3563,55
	Caudal diseño horario total	m3/h	148,48
	Caudal diseño	m3/s	0,0412
	Caudal diseño	l/s	41,2
	Nº de horas de funcionamiento	h/d	5
	Caudal diseño horario total	m3/h	712,7040
	Caudal diseño	m3/s	0,198
	Caudal diseño	l/s	198
	Altura manométrica	mca	88,84
	Nº arranques por hora	ud/h	11
ESTIMACIÓN POTENCIA DE BOMBAS	**DIMENSIONAMIENTO BOMBAS (iteración 1)**		
	Nº de bombas en funcionamiento	ud	1
	Nº de bombas en reserva	ud	1
	Caudal unitario	l/s	198
	Altura manométrica	mca	88,84
	Rendimiento estimado	%	75,00%
	Potencia estimada	CV	312,72
	Potencia estimada	kW	229,94
	K		1
	Potencia unitaria bomba estimada	**kW**	**229,94**
	DIMENSIONAMIENTO BOMBAS (iteración 2)		
	Nº de bombas en funcionamiento	ud	2
	Nº de bombas en reserva	ud	1
	Caudal unitario	l/s	99
	Altura manométrica	mca	88,84
	Rendimiento estimado	%	75,00%
	Potencia estimada	CV	156,36
	Potencia estimada	kW	114,97
	K		1,1
	Potencia unitaria bomba estimada	**kW**	**126,47**
	DIMENSIONAMIENTO BOMBAS (iteración 3)		
	Nº de bombas en funcionamiento	ud	3
	Nº de bombas en reserva	ud	1
	Caudal unitario	l/s	66

	Altura manométrica	mca	88,84	
	Rendimiento estimado	%	75,00%	
	Potencia estimada	CV	104,24	
	Potencia estimada	kW	76,37	
	K		1,18	
	Potencia unitaria bomba estimada	**kW**	**89,89**	
	POTENCIA UNITARIA MÍNIMA ESTIMADA	**kW**	**89,89**	**POTENCIA ESCOGIDA**
	DISPOSICIÓN		**3+1**	**90,00kW**

Características técnicas:

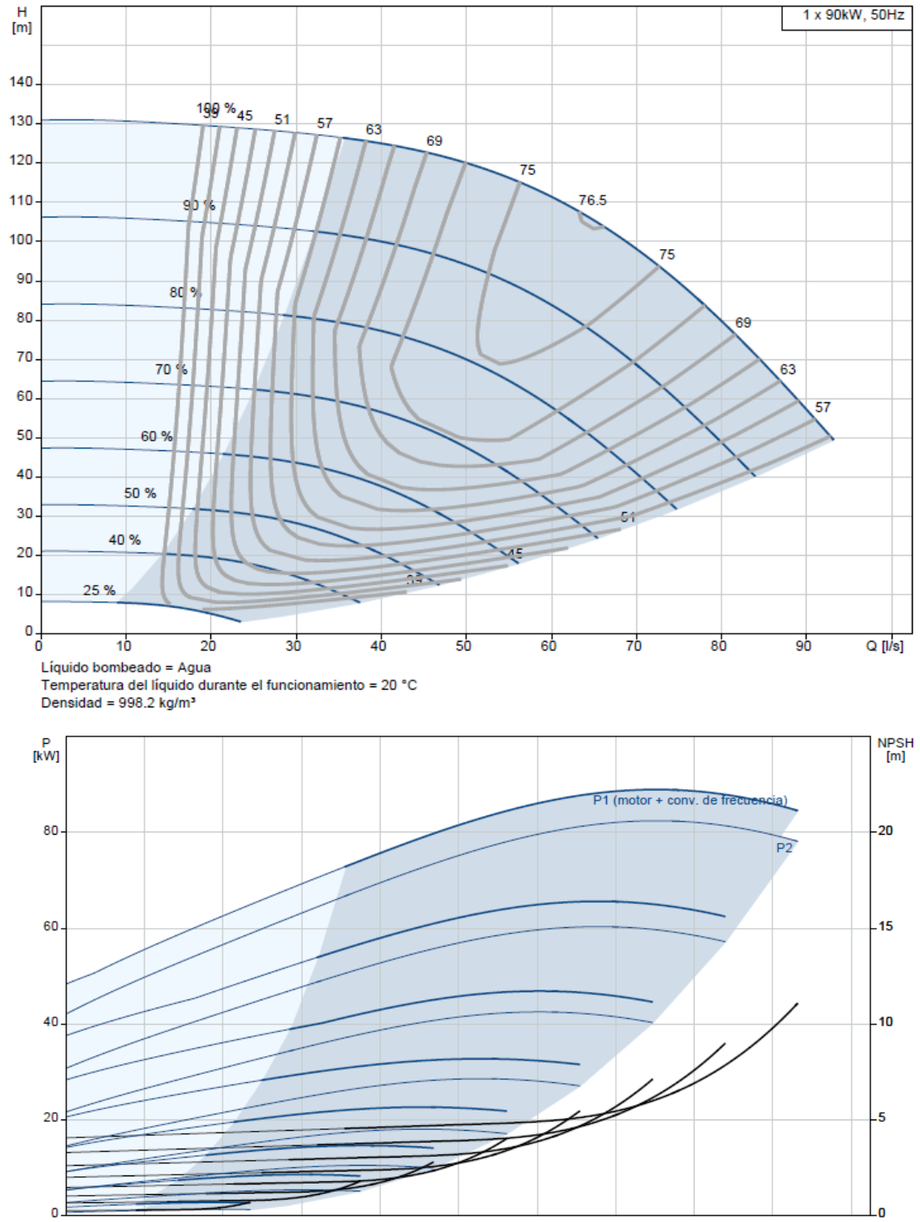
- Velocidad predeterminada 2977 rpm
- Caudal real calculado 198 l/s
- Altura resultante de la bomba 88,84 m
- Altura máxima 131 m
- Etapas 3
- Impulsores 3
- Número de impulsores de diámetro reducido 2
- NPSH baja N
- Orientación de bomba Vertical
- Tolerancia de curva ISO9906:2012 3B

Instalación:

- temp. máx. ambiente 55 °C
- Presión de trabajo máxima 16 bar
- Presión máxima a la temp. declarada 16 bar / 120 °C
- Tipo de conexión DIN
- Tamaño de la conexión de entrada DN 200
- Tamaño de la conexión de salida DN 200
- Presión nominal para la conexión PN 16
- Tamaño de la brida del motor FF500
- Código de conexión F

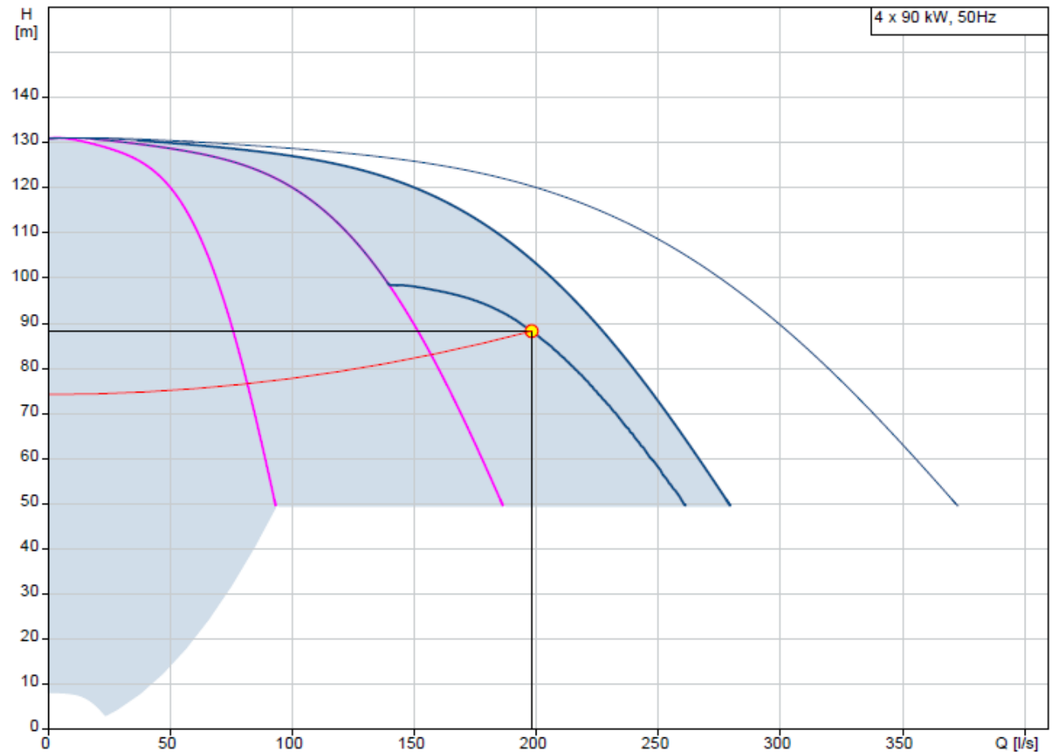
Datos eléctricos:

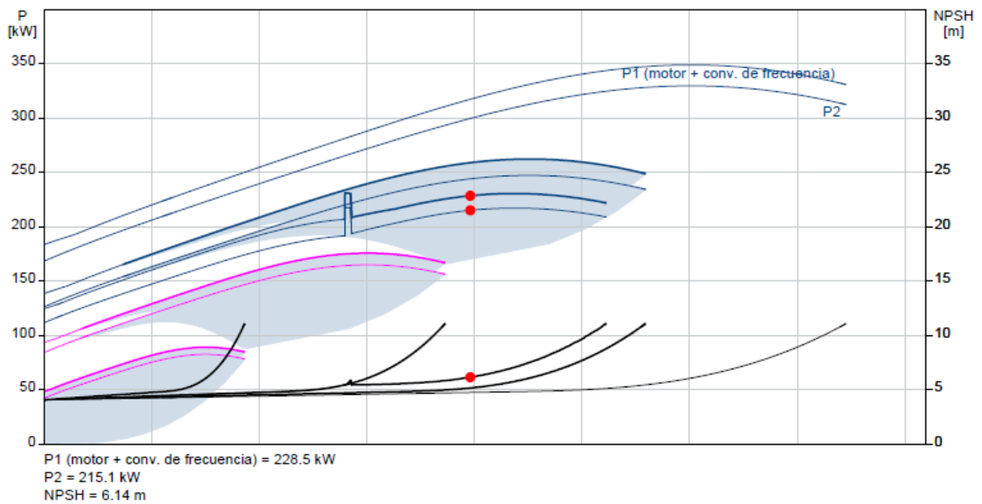
- Normativa de motor IEC
- Clase eficiencia IE IE3
- **Potencia nominal - P2 90 kW**
- **Potencia (P2) requerida por la bomba 90 kW**
- Frecuencia de red 50 Hz
- Tensión nominal 3 x 380D/660Y V
- Intensidad nominal 160/92 A
- Intensidad de arranque 720-720 %
- Cos phi - factor de potencia 0.90
- Velocidad nominal 2975 rpm
- Eficiencia IE3 95,0%
- Eficiencia del motor a carga total 95,0-95,0 %
- Eficiencia del motor a una carga de 3/4 95,3-95,3 %
- Eficiencia del motor a una carga de 1/2 94,9-94,9 %
- Número de polos 2
- Grado de protección (IEC 34-5) IP55
- Clase de aislamiento (IEC 85) F
- Protección de motor integrada PTC



Se puede observar claramente que, para una altura manométrica de 88,84 metros, estamos muy lejos del caudal requerido de proyecto de 712,71 m3/hora, correspondiente a las 5 horas bombeadas.

Para la disposición escogida de 3 bombas en paralelo (+1 de reserva), según lo dimensionado anteriormente, obtenemos la siguiente curva:





Nota: cabe destacar que esto es una referencia a partir de una marca comercial. No obstante, esta verificación serviría para cualquier bomba equivalente de cualquier marca comercial con la misma disposición y características o similares. Será requerido realizar la misma comprobación en dicho caso.

De donde la velocidad de diseño vendrá dada por la siguiente ecuación:

$$v = \frac{Q}{S}$$

(siendo la velocidad en tubería por sección en m/s)

$$v = \frac{0{,}078}{0{,}0314} = 2{,}10\ \frac{m}{s}$$

Esta velocidad es notablemente inferior a 2,50 metros por segundo por lo que se considerará que cumple con el requisito establecido.

3.3.4. Velocidad a la salida del bombeo:

Para una tubería de salida de diámetro nominal DN200, tenemos la siguiente velocidad de cálculo a caudal medio de diseño de dimensionamiento de la instalación:

- Diámetro de la conducción: 200 mm = 0,20 m.
- Sección de la conducción:

$$S = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \pi \times \left(\frac{0{,}20}{2}\right)^2 = 0{,}0314 m^2$$

- Caudal de diseño: 712,71 m^3/h
- Número de bombas en funcionamiento: 3
- Caudal unitario de diseño: 237,57 (712,71/3) m^3/h = 0,066 m^3/s