

# ANEJO Nº4: ESTUDIO HIDRÁULICO

Curso: 2015/2016

Universidad Politécnica de Valencia

Escuela Técnica superior de Ingenieros de  
Camino Canales y Puertos

Grado en Ingeniería de Obras Públicas,  
Especialidad Hidrología

Tutor: José Ferrer Polo

Cotutor: Daniel Aguado García

Autor: Juan Carlos Oroval García



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS**





# ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ÍNDICE .....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>2. OBTENCIÓN DE DATOS PREVIOS.....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>3. VALORES ADOPTADOS PARA EL BARRIO DE LA VIÑA EN LORCA (MURCIA). ....</b>         | <b>6</b>  |
| 3.1. POBLACIÓN A ABASTECER .....  | 6         |
| <b>3.2. DOTACIÓN.....</b>   | <b>6</b>  |
| 3.3. CAUDALES .....   | 6         |
| 3.4. CONSUMOS.....  | 8         |
| 3.4.1. CONSUMO URBANO (CURVA DE DEMANDA).....   | 8         |
| 3.4.2. CONSUMO PARA EL RIEGO DE JARDINES Y LIMPEZA .....                              | 9         |
| <b>4. DEPÓSITO.....</b>   | <b>11</b> |
| 4.1. TIPO DE SISTEMA DE REGULACIÓN PARA EL ABASTECIMIENTO DEL BARRIO DE LA VIÑA ..... | 11        |
| 4.2. FUENTE DE ABASTECIMIENTO .....   | 11        |
| 4.3. CAPACIDAD DEL DEPÓSITO .....   | 11        |
| 4.3.1. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DEL DEPÓSITO .....                                     | 12        |
| 4.3.2. VOLUMEN DE REGULACIÓN .....  | 12        |
| 4.3.3. VOLUMEN DE RESERVA FRENTE A INCENDIOS.....                                     | 15        |
| 4.3.4. VOLUMEN DE RESERVA FRENTE A AVERÍAS.....                                       | 16        |
| 4.3.5. VOLUMEN TOTAL DEL DEPÓSITO .....   | 16        |
| 4.4. DIMENSIONES DEL DEPÓSITO .....   | 16        |
| 4.5. UBICACIÓN DEL DEPÓSITO .....   | 17        |
| <b>5. SISTEMA DE IMPULSIÓN.....</b>   | <b>17</b> |
| 5.1. TUBERÍA DE IMPULSIÓN .....   | 18        |
| 5.1.1. LONGITUD DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN .....                                      | 18        |
| 5.1.2. MATERIAL UTILIZADO PARA LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN .....                          | 18        |
| 5.1.3. TRAZADO DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN .....                                       | 18        |
| 5.2. CÁLCULO DE LA CONDUCCIÓN .....   | 19        |
| 5.2.1. CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LA CONDUCCIÓN.....                                      | 19        |
| 5.2.2. PÉRDIDAS LOCALIZADAS.....  | 20        |
| 5.2.3. PÉRDIDAS POR FRICCIÓN.....   | 21        |
| 5.2.4. PÉRDIDAS TOTALES .....   | 22        |
| 5.2.5. DIÁMETRO ELEGIDO PARA LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN.....                             | 24        |
| 5.3. CÁLCULO DE LAS BOMBAS .....  | 25        |
| 5.3.1. CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE LA BOMBA .....                                  | 25        |
| 5.3.2. VARIADORES DE FRECUENCIA .....   | 26        |
| 5.3.2.1. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO CON UN VARIADOR DE FRECUENCIA.....             | 29        |
| <b>6. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS .....</b>   | <b>31</b> |
| <b>6.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS .....</b>                                     | <b>31</b> |
| 6.2. BOMBAS UTILIZADAS EN LAS ALTERNATIVAS.....                                       | 33        |
| 6.2.1. APLICACIONES .....   | 33        |
| 6.2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES .....  | 33        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 6.2.3.    | MOTORES .....  | 33        |
| 6.3.      | CAUDAL MÁS REPETIDO DURANTE EL DÍA DE MAYOR CONSUMO .....  | 34        |
| <b>7.</b> | <b>ALTERNATIVA Nº 1, DOS BOMBAS EN PARALELO .....</b>  | <b>35</b> |
| 7.1.      | ESTUDIO DE LA ALTERNATIVA Nº1 PARA EL CAUDAL DE 94,6 m <sup>3</sup> /h.....  | 35        |
| 7.1.1.    | CURVA CARACTERÍSTICA DE LA BOMBA PARA EL CAUDAL DE 94,6 m <sup>3</sup> /h .....  | 35        |
| 7.1.2.    | CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA PARA EL ESQUEMA DE 2 BOMBAS PARA EL CAUDAL DE 94,6 m <sup>3</sup> /h.....                                   | 39        |
| 7.1.2.1.  | PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS .....  | 39        |
| 7.1.2.2.  | VALORES DE LA TUBERÍA.....   | 39        |
| 7.1.2.3.  | CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA CON LAS PERDIDAS LOCALIZADAS.....   | 40        |
| 7.1.3.    | PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PARA EL CAUDAL DE 94,6 m <sup>3</sup> /h.....  | 41        |
| 7.1.4.    | CONSUMO ENERGÉTICO DEL ESQUEMA DE 2 BOMBAS PARA EL CAUDAL DE 94,6 m <sup>3</sup> /h .....  | 42        |
| 7.2.      | ESTUDIO DE LA ALTERNATIVA Nº1 DOS BOMBAS EN PARALELO PARA EL CAUDAL VALLE DE 23,4915 m <sup>3</sup> /h.....                              | 43        |
| 7.2.1.    | CURVA CARACTERÍSTICA DE LA BOMBA.....  | 43        |
| 7.2.2.    | CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA PARA EL ESQUEMA DE DOS BOMBAS CON EL CAUDAL VALLE DE 23,4915 m <sup>3</sup> /h .....                        | 45        |
| 7.2.2.1.  | PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS .....  | 45        |
| 7.2.2.2.  | VALORES DE LA TUBERÍA.....   | 45        |
| 7.2.3.    | CURVA RESISTENTE DE LA TUBERÍA PARA EL CAUDAL VALLE DE 23,4915 m <sup>3</sup> /h .....   | 46        |
| 7.2.1.    | PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PARA EL CAUDAL VALLE PARA EL CAUDAL VALLE DE 23,49 m <sup>3</sup> /h .....                           | 47        |
| 7.2.2.    | CONSUMO ENERGÉTICO PARA EL ESQUEMA DE DOS BOMBAS EN PARALELO PARA EL CAUDAL VALLE DE 23,4915 m <sup>3</sup> /h .....                     | 48        |
| 7.1.      | ESTUDIO DE LA ALTERNATIVA Nº1 DOS BOMBAS EN PARALELO PARA EL CAUDAL PUNTA DE 190,08 m <sup>3</sup> /h.....                               | 49        |
| 7.2.      | CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA PARA EL ESQUEMA DE DOS BOMBAS CON EL CAUDAL PUNTA DE 190,08 m <sup>3</sup> /h .....                         | 51        |
| 7.2.1.1.  | PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS .....  | 51        |
| 7.2.1.2.  | VALORES DE LA TUBERÍA.....   | 51        |
| 7.2.1.3.  | CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA .....   | 52        |
| 7.2.2.    | PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PARA EL CAUDAL PUNTA DE 190,08 m <sup>3</sup> /h .....   | 53        |
| 7.2.3.    | CONSUMO ENERGÉTICO DEL ESQUEMA DE 2 BOMBAS PARA EL CAUDAL PUNTA DE 190,08 m <sup>3</sup> /h.....   | 54        |
| <b>8.</b> | <b>ALTERNATIVA Nº2, TRES BOMBAS FUNCIONANDO EN PARALELO.....</b>   | <b>55</b> |
| 8.1.      | ESTUDIO DE LA ALTERNATIVA Nº2 ESQUEMA 3 BOMBAS PARA EL CAUDAL DE 94,6 m <sup>3</sup> /h.....   | 55        |
| 8.1.1.    | CURVA CARACTERÍSTICA DE LA BOMBA PARA EL CAUDAL DE 94,6 m <sup>3</sup> /h .....  | 55        |
| 8.1.2.    | CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA PARA EL CAUDAL DE 94,6 m <sup>3</sup> /h .....  | 59        |
| 8.1.2.1.  | PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS .....  | 59        |
| 8.1.2.2.  | VALORES DE LA TUBERÍA.....   | 59        |
| 8.1.2.3.  | CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA CON LAS PÉRDIDAS LOCALIZADAS.....   | 60        |
| 8.1.3.    | PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PARA EL ESQUEMA DE 3 BOMBAS PARA EL CAUDAL DE 94,6 m <sup>3</sup> /h .....                           | 61        |
| 8.1.4.    | CONSUMO ENERGÉTICO PARA EL ESQUEMA DE 3 BOMBAS PARA EL CAUDAL DE 94,6 m <sup>3</sup> /h .....  | 62        |
| 8.2.      | ESTUDIO DE LA ALTERNATIVA Nº2 TRES BOMBAS EN PARALELO PARA EL CAUDAL VALLE DE 23,4915 m <sup>3</sup> /h.....                             | 63        |
| 8.2.1.    | CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA PARA EL ESQUEMA DE DOS BOMBAS PARA EL CAUDAL VALLE DE 23,4915 m <sup>3</sup> /h .....                       | 65        |
| 8.2.1.1.  | PÉRDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS .....  | 65        |
| 8.2.1.2.  | VALORES DE LA TUBERÍA.....   | 65        |
| 8.2.1.3.  | CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA FORMADO POR TRES BOMBAS CON LAS PÉRDIDAS LOCALIZADAS PARA EL CAUDAL VALLE DE 23,4915 m <sup>3</sup> /h..... | 66        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 8.2.2.   | CONSUMO ENERGÉTICO DEL ESQUEMA DE 3 BOMBAS EN PARALELO PARA EL CAUDAL VALLE DE 23,4915 m <sup>3</sup> /h .....       | 68        |
| 8.3.     | ESTUDIO DE LA ALTERNATIVA Nº2 TRES BOMBAS EN PARALELO PARA EL CAUDAL PUNTA DE 190,08 m <sup>3</sup> /h.....          | 69        |
| 8.3.1.   | CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA PARA EL CAUDAL PUNTA DE 190,08 m <sup>3</sup> /h.....                                   | 71        |
| 8.3.1.1. | PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS .....  | 71        |
| 8.3.1.2. | VALORES DE LA TUBERÍA.....   | 72        |
| 8.3.2.   | CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA CON LAS PÉRDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS .....   | 73        |
| 8.3.3.   | PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PARA EL ESQUEMA DE 3 BOMBAS CON EL CAUDAL PUNTA DE 190,08 m <sup>3</sup> /h..... | 74        |
| 8.3.4.   | CONSUMO ENERGÉTICO DEL ESQUEMA DE 3 BOMBAS PARA EL CAUDAL PUNTA DE 190,08 m <sup>3</sup> /h.....                     | 75        |
| 9.       | <b>GOLPE DE ARIETE .....</b>   | <b>75</b> |
| 10.      | <b>RESUMEN DE LAS ALTERNATIVAS.....</b>  | <b>80</b> |
| 10.1.    | RENDIMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS .....  | 80        |
| 10.2.    | CONSUMO DE LAS ALTERNATIVAS .....  | 81        |
| 10.3.    | PERDIDAS DE CARGA DE LAS ALTERNATIVAS .....  | 81        |

## 1. INTRODUCCIÓN.

En este apartado vamos a detallar el procedimiento utilizado para realizar los cálculos hidráulicos necesarios para la obtención del volumen del depósito así como el diseño del sistema de impulsión.

Se definirán en el presente documento el análisis de la demanda de la población del estudio así como el estudio completo del sistema de bombeo y las distintas alternativas que permitan obtener la mayor eficiencia energética posible.

## 2. OBTENCIÓN DE DATOS PREVIOS.

La zona en la que vamos a desarrollar el estudio se trata de una zona residencial en la que la totalidad del espacio disponible para la construcción de viviendas se encuentra ocupado.

En el anejo nº 3 Urbanístico se encuentra de forma detallada la obtención de la población a abastecer.



*Ilustración 1: Mapa de la zona de estudio*

Como se puede observar en la Ilustración 1 la zona que vamos a estudiar es la rodeada con una línea amarilla y como anteriormente hemos citado anteriormente está ocupada en su totalidad con lo que no tenemos previsto que pueda aumentar la población.

### 3. VALORES ADOPTADOS PARA EL BARRIO DE LA VIÑA EN LORCA (MURCIA).

#### 3.1. POBLACIÓN A ABASTECER

Según el estudio realizado en el Anejo nº 3 Urbanístico tenemos una totalidad de viviendas de 990 viviendas, y tal y como se recomienda en las guías técnicas para la realización de estudios vamos a suponer que todas las viviendas están ocupadas por cuatro habitantes, dándonos un resultado final de 3960 habitantes. Esta será la población que vamos a abastecer.

#### 3.2. DOTACIÓN.

Se tomará como valor para la dotación el aportado por el ayuntamiento. Este valor incluye todos los consumos; doméstico, comercial, equipamientos sociales, riego, limpieza y mantenimiento de calles, fuentes, volumen no registrado por avería y error en contadores, pérdidas en roturas, en fugas, en depósitos, extracciones clandestinas, etc.

Valor de la dotación media anual facilitada por el ayuntamiento:

$$Dotación = 250 \left( \frac{l}{hab \cdot día} \right)$$

#### 3.3. CAUDALES

Caudal medio anual:

$$Q_{m(anual)} = \frac{D \cdot N}{86400} = \frac{250 \cdot 3960}{86400} = 11.4583333 \approx 11.46 \left( \frac{\text{litros}}{\text{segundo}} \right)$$

Siendo D la dotación y N el número de habitantes a abastecer.

Para obtener el caudal de diseño necesitamos tener la situación de suministro más exigente y por lo tanto más desfavorable para la red. Para obtener dicho caudal debemos de calcular el caudal punta para el día de mayor consumo.

A continuación se calcula el caudal punta con ayuda de ciertas recomendaciones generales para poblaciones de características similares a las del barrio de la Viña, aunque siempre sería mejor disponer de datos reales.

Como es lógico, el caudal consumido por la población es variable a lo largo del día. Durante el ciclo diario de un sistema de abastecimiento se suelen distinguir tres períodos: valle (correspondiente a las horas de menor consumo), llano y punta (correspondiente a las horas de

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA EL DEPÓSITO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL BARRIO LA VIÑA, T.M. DE LORCA (MURCIA)

mayor consumo). A lo largo del año se producen fluctuaciones en el consumo, por lo que el factor punta  $K_p$  debe calcularse mediante:

$$K_p = K_{hp} \cdot K_{dmc}$$

Siendo:

$K_{hp}$  = Coeficiente hora de mayor demanda respecto del caudal medio anual.

$K_{dmc}$  = coeficiente del día de mayor consumo respecto del caudal diario anual.

Al igual que sucede con las dotaciones, los valores que adopta el coeficiente de hora punta  $K_{hp}$  depende de numerosos factores. El valor de  $K_{hp}$  se ve muy influenciado por el tamaño de la población, los consumos industriales, el día de la semana y la presión de la red. En general, puede afirmarse que cuanto mayor sea el tamaño de la población, más se laminan las puntas de consumo, obteniéndose así valores de  $K_{hp}$  menores.

Para un abastecimiento completo, de características “normales”, este coeficiente de hora punta puede oscilar aproximadamente entre 1,4 y 2,0. Generalmente se toman como valores aproximados para poblaciones típicas  $K_{hp}=1,4$  (abastecimiento > 10 hm<sup>3</sup>/año) y  $K_{hp}=1,8$  (abastecimiento < 0,3 hm<sup>3</sup>/año).

En nuestro caso el abastecimiento es menor de 0,3 Hm<sup>3</sup>/año por lo que el valor que tomaremos será:  $K_{hp}= 1,8$

El valor de  $K_{dmc}$ , está influido por factores estacionales y climatológicos. En España y en poblaciones típicas el máximo consumo se da en Mayo-Junio o en Septiembre-Octubre, pues la población disminuye en Julio-Agosto. Para poblaciones típicas  $K_{dmc} = 1.2$  (abastecimiento > 10 hm<sup>3</sup>/año) y  $K_{dmc}=1,6$  (abastecimiento < 0,3 hm<sup>3</sup>/año).

En nuestro caso, el abastecimiento es menor de 0,3 Hm<sup>3</sup>/año por lo que el valor que tomaremos será:  $K_{dmc}= 1,6$

La variabilidad indicada para  $K_{hp}$  y  $K_{dmc}$  da un intervalo de valores de  $K_p$  [1,70 - 2,90].

Así pues, el producto de ambos coeficientes nos proporciona un valor de  $K_p$ :

$$K_p = K_{hp} \cdot K_{dmc} = 2,88$$

Con el valor obtenido para  $K_p$  ya se puede calcular el caudal punta:

$$Q_{p(dmc)} = k_p \cdot Q_{m(anual)} = 2,88 \cdot 11,458333 = 52,8 \left( \frac{\text{litros}}{\text{segundo}} \right)$$



### 3.4. CONSUMOS

#### 3.4.1. CONSUMO URBANO (CURVA DE DEMANDA)

Una vez obtenidos los caudales, será necesario generar un patrón de consumo que indique las demandas en función de la hora del día.

Según los datos proporcionados por el ayuntamiento los periodos en donde se sitúan los momentos de mayor consumo de la red están ubicados en tres franjas horarias. De 7:00 h a 9:00 h, de 12:00 h a 15:00 h y de 20:00 h a 22:00 h.

Para crear la Curva de Demanda, se emplean intervalos de cálculo de una hora, es decir, caudales cada hora durante un día (24 h).

Los multiplicadores necesarios para obtener la gráfica se obtienen de la siguiente forma:

1. Se obtiene el consumo total del día sumando los consumos de cada franja horaria.

$$\text{Consumo total} = 250(\text{l/hab}) \cdot 3960 (\text{habitantes}) = 990.000 \text{ litros}$$

2. Se obtiene el consumo medio horario, dividiendo el total entre 24 horas.

$$(990.000 \text{ (l)}) / (24 \text{ (h)}) = 41.250(\text{l/h})$$

3. El multiplicador de cada hora se obtiene dividiendo el consumo de la hora por el consumo medio horario.

$$\text{Multiplicador} = \frac{Q_{1\text{hora}}}{Q_{mh}}$$

Siendo:

$Q_{1\text{hora}} \rightarrow$  Caudal de una hora

$Q_{mh} \rightarrow$  Caudal medio por hora

4. Para comprobar que la curva diseñada es correcta el promedio de todos los coeficientes calculados debe de ser la unidad y su suma 24.

A continuación se muestra una tabla con los valores de los multiplicadores para cada hora del día.

| HORA             | MULTIPLICADOR | Qconsumido (L/h) |
|------------------|---------------|------------------|
| 1                | 0,05          | 2062,5           |
| 2                | 0,08          | 3300             |
| 3                | 0,08          | 3300             |
| 4                | 0,08          | 3300             |
| 5                | 0,08          | 3300             |
| 6                | 0,25          | 10312,5          |
| 7                | 1,10          | 45375            |
| 8                | 1,40          | 57750            |
| 9                | 0,90          | 37125,0          |
| 10               | 0,80          | 33000,0          |
| 11               | 1,40          | 57750            |
| 12               | 1,50          | 61875            |
| 13               | 1,80          | 74250            |
| 14               | 1,50          | 61875            |
| 15               | 1,30          | 53625            |
| 16               | 0,90          | 37125            |
| 17               | 0,80          | 33000            |
| 18               | 0,70          | 28875            |
| 19               | 1,00          | 41250,0          |
| 20               | 1,40          | 57750            |
| 21               | 2,00          | 82500            |
| 22               | <b>2,88</b>   | 118800,0         |
| 23               | 1,40          | 57750            |
| 24               | 0,60          | 24750            |
| <b>Suma (L)</b>  | 24,00         | 990000           |
| <b>Media (L)</b> | 1,00          | 41250            |

*Tabla 1: Tabla multiplicadores*

El coeficiente punta se da a las 22:00 h, hora en que el consumo de la población es mayor. Este coeficiente lo hemos obtenido a partir de multiplicar el coeficiente del día de mayor consumo con el coeficiente de hora punta, como hemos descrito en el apartado anterior.

### 3.4.2. CONSUMO PARA EL RIEGO DE JARDINES Y LIMPEZA

Para el riego de las zonas verdes que tenemos en la zona del estudio hemos empleado una dotación media de 9 l/m<sup>2</sup>/día. Como tenemos una superficie total de 13.461 m<sup>2</sup> de zonas verdes, el volumen necesario diario para el riego de estas zonas es de 121,149 m<sup>3</sup>.

El riego de estas zonas se hará en horario nocturno, en la franja horaria de consumo valle, distribuyendo el riego en seis horas, desde las 1:00 h hasta las 6:00 h.

La elección de esta franja horaria responde principalmente a no aumentar el caudal en las horas en que el consumo urbano es mayor. Además en verano es recomendable realizar el riego por la noche para evitar la excesiva evaporación del agua debido a las altas temperaturas.

En la siguiente tabla se representan las horas del día en que se riega así como los caudales empleados para satisfacer las demandas de riego.

| HORA         | MULTIPLICADOR | Q consumido (l/s) | Q consumido (l/h) |
|--------------|---------------|-------------------|-------------------|
| 1            | 4,00          | 5,61              | 20191,50          |
| 2            | 4,00          | 5,61              | 20191,50          |
| 3            | 4,00          | 5,61              | 20191,50          |
| 4            | 4,00          | 5,61              | 20191,50          |
| 5            | 4,00          | 5,61              | 20191,50          |
| 6            | 4,00          | 5,61              | 20191,50          |
| 7            | 0,00          | 0,00              | 0,00              |
| 8            | 0,00          | 0,00              | 0,00              |
| 9            | 0,00          | 0,00              | 0,00              |
| 10           | 0,00          | 0,00              | 0,00              |
| 11           | 0,00          | 0,00              | 0,00              |
| 12           | 0,00          | 0,00              | 0,00              |
| 13           | 0,00          | 0,00              | 0,00              |
| 14           | 0,00          | 0,00              | 0,00              |
| 15           | 0,00          | 0,00              | 0,00              |
| 16           | 0,00          | 0,00              | 0,00              |
| 17           | 0,00          | 0,00              | 0,00              |
| 18           | 0,00          | 0,00              | 0,00              |
| 19           | 0,00          | 0,00              | 0,00              |
| 20           | 0,00          | 0,00              | 0,00              |
| 21           | 0,00          | 0,00              | 0,00              |
| 22           | 0,00          | 0,00              | 0,00              |
| 23           | 0,00          | 0,00              | 0,00              |
| 24           | 0,00          | 0,00              | 0,00              |
| <b>Suma</b>  | 24,00         |                   |                   |
| <b>Media</b> | 1,00          |                   |                   |

*Tabla 2 Curva de modulación para el riego.*

## **4. DEPÓSITO**

### **4.1. TIPO DE SISTEMA DE REGULACIÓN PARA EL ABASTECIMIENTO DEL BARRIO DE LA VIÑA**

Todos los sistemas de regulación que pueden utilizarse en un abastecimiento se obtienen mediante la combinación de tres elementos básicos, que enumerados por orden de importancia son:

- Depósitos.
- Bombas.
- Válvulas de regulación.

Como en las cercanías de la zona del estudio no existen zonas elevadas en las que poder disponer de una altura que dote de presión suficiente al sistema. Para este problema hay dos tipos de soluciones:

- La construcción de un depósito elevado para así poder abastecer la red a la presión requerida de forma constante.
- La construcción de un depósito en superficie o semienterrado y conseguir la presión mediante el bombeo directo a la red

Hemos elegido el sistema de regulación mediante bombeo directo a la red, ya que teniendo el volumen de depósito que tenemos el coste de la infraestructura en el caso de ser elevada sería demasiado.

Las razones principales de la elección de este sistema de abastecimiento son económicas; a pesar que el mayor costo de la energía se produce debido a la necesidad de estar bombeando en las horas puntas, es compensado con un menor costo en las infraestructuras necesarias.

Vamos a utilizar un conjunto de bombas funcionando en paralelo, con puesta en marcha y parada escalonada en función del caudal demandado a cada zona horaria. Las bombas se irán poniendo en marcha escalonadamente en función del caudal demandado por la red.

### **4.2. FUENTE DE ABASTECIMIENTO**

La fuente de abastecimiento proviene de la red general de distribución de agua potable de la población. Esta agua ya viene con la dosificación necesaria de cloro por lo que no hemos propuesto ningún tratamiento de cloración a la salida del depósito.

### **4.3. CAPACIDAD DEL DEPÓSITO**

El caudal suministrado desde la fuente de abastecimiento de agua es constante, sin embargo el consumo es por su misma esencia variable. Los depósitos son uno de los elementos utilizados en los sistemas de regulación de los sistemas de abastecimiento de aguas para enlazar estos dos regímenes.

La función básica es pues la de almacenar agua cuando el consumo es inferior al suministro y suministrarla en caso contrario. Además de su misión principal; que es la que lo hace prácticamente imprescindible, un depósito tiene otras misiones. Entre ellas destaca la de constituir un volumen de reserva que permite responder, tanto a las necesidades de consumo producidas durante una interrupción del suministro, como a la necesidad de suministrar el caudal de incendios. Otra misión

muy habitual es suministrar una presión constante al inicio de la red de distribución, motivo por el cual vamos a construir el depósito.

Las razones apuntadas hacen que no se plantee prácticamente ninguna red de distribución que no disponga en su inicio de un depósito con, al menos, las dos misiones citadas, regulación y reserva.

#### 4.3.1. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DEL DEPÓSITO

El volumen mínimo que debemos tener en cuenta es aquel que asegure una capacidad suficiente de regulación y reserva.

- El volumen de regulación mínimo es la máxima diferencia existente entre las curvas de caudales acumulados de entrada y salida del depósito para el día de mayor consumo.
- Un volumen de reserva mínimo resultante de la suma de estos dos valores:
  - Reserva frente a incendios, 120 m<sup>3</sup> para poblaciones menores de 5000 habitantes y 240 m<sup>3</sup> para poblaciones de más de 5000 habitantes; en nuestro caso al tener menos de 5000 habitantes elegimos 120 m<sup>3</sup>.
  - Reserva frente averías, que corresponde al consumo del día medio; 990 m<sup>3</sup> como habíamos calculado en apartados anteriores.

#### 4.3.2. VOLUMEN DE REGULACIÓN

Para el volumen de regulación utilizaremos el caudal medio del día de mayor consumo:

Para el cálculo del volumen de regulación utilizaremos el caudal medio del día de mayor consumo:

$$Q_{m\_dmc} = K_{dmc} \cdot Q_m = 11,458333 \cdot 1,6 = 18,33333(l/s) = 66 (m^3/h)$$

Como también tenemos que regar las zonas verdes, incluimos a este consumo el consumo por riego.

El volumen de regulación del depósito se calcula mediante el método de las diferencias acumuladas. Este método consiste en calcular el volumen de aportación, que va a coincidir con el caudal medio horario del día de mayor consumo, calcular la demanda horaria de la población y calcular la diferencia entre ambos resultados. El volumen de regulación será la suma algebraica de la máxima diferencia positiva y la máxima diferencia negativa en valor absoluto.

En la siguiente tabla se muestra el proceso de cálculo para obtener el volumen de regulación.

| HORA | CURVA<br>MODULACIÓN<br>URBANO | Qconsumido<br>(m3/h)<br>URBANO | CURVA<br>MODULACIÓN<br>RIEGO | Qconsumido<br>(m3/h)<br>RIEGO | Qconsumido<br>total (m3/h) | Estado<br>bomba | Qentrada<br>al<br>depósito<br>(m3/h) | V<br>entrada<br>(m3) | V<br>consumido<br>(m3) | V<br>almacenado<br>(m3) |
|------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|--------------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| 1    | 0,05                          | 3,3                            | 4,00                         | 20,1915                       | 23,4915                    | 1               | 71,048                               | 71,048               | 23,492                 | 47,556                  |
| 2    | 0,08                          | 5,28                           | 4,00                         | 20,1915                       | 25,4715                    | 1               | 71,048                               | 142,096              | 48,963                 | 93,133                  |
| 3    | 0,08                          | 5,28                           | 4,00                         | 20,1915                       | 25,4715                    | 1               | 71,048                               | 213,144              | 74,435                 | 138,709                 |
| 4    | 0,08                          | 5,28                           | 4,00                         | 20,1915                       | 25,4715                    | 1               | 71,048                               | 284,192              | 99,906                 | 184,286                 |
| 5    | 0,08                          | 5,28                           | 4,00                         | 20,1915                       | 25,4715                    | 1               | 71,048                               | 355,239              | 125,378                | 229,862                 |
| 6    | 0,25                          | 16,5                           | 4,00                         | 20,1915                       | 36,6915                    | 1               | 71,048                               | 426,287              | 162,069                | 264,218                 |
| 7    | 1,1                           | 72,6                           | 0,00                         | 0                             | 72,6                       | 1               | 71,048                               | 497,335              | 234,669                | 262,666                 |
| 8    | 1,4                           | 92,4                           | 0,00                         | 0                             | 92,4                       | 1               | 71,048                               | 568,383              | 327,069                | 241,314                 |
| 9    | 0,9                           | 59,4                           | 0,00                         | 0                             | 59,4                       | 1               | 71,048                               | 639,431              | 386,469                | 252,962                 |
| 10   | 0,8                           | 52,8                           | 0,00                         | 0                             | 52,8                       | 1               | 71,048                               | 710,479              | 439,269                | 271,210                 |
| 11   | 1,4                           | 92,4                           | 0,00                         | 0                             | 92,4                       | 1               | 71,048                               | 781,527              | 531,669                | 249,858                 |
| 12   | 1,5                           | 99                             | 0,00                         | 0                             | 99                         | 1               | 71,048                               | 852,575              | 630,669                | 221,906                 |
| 13   | 1,8                           | 118,8                          | 0,00                         | 0                             | 118,8                      | 1               | 71,048                               | 923,622              | 749,469                | 174,153                 |
| 14   | 1,5                           | 99                             | 0,00                         | 0                             | 99                         | 1               | 71,048                               | 994,670              | 848,469                | 146,201                 |
| 15   | 1,3                           | 85,8                           | 0,00                         | 0                             | 85,8                       | 1               | 71,048                               | 1065,718             | 934,269                | 131,449                 |
| 16   | 0,9                           | 59,4                           | 0,00                         | 0                             | 59,4                       | 1               | 71,048                               | 1136,766             | 993,669                | 143,097                 |
| 17   | 0,8                           | 52,8                           | 0,00                         | 0                             | 52,8                       | 1               | 71,048                               | 1207,814             | 1046,469               | 161,345                 |
| 18   | 0,7                           | 46,2                           | 0,00                         | 0                             | 46,2                       | 1               | 71,048                               | 1278,862             | 1092,669               | 186,193                 |
| 19   | 1                             | 66                             | 0,00                         | 0                             | 66                         | 1               | 71,048                               | 1349,910             | 1158,669               | 191,241                 |
| 20   | 1,4                           | 92,4                           | 0,00                         | 0                             | 92,4                       | 1               | 71,048                               | 1420,958             | 1251,069               | 169,889                 |
| 21   | 2                             | 132                            | 0,00                         | 0                             | 132                        | 1               | 71,048                               | 1492,005             | 1383,069               | 108,936                 |
| 22   | 2,88                          | 190,08                         | 0,00                         | 0                             | 190,08                     | 1               | 71,048                               | 1563,053             | 1573,149               | -10,096                 |
| 23   | 1,4                           | 92,4                           | 0,00                         | 0                             | 92,4                       | 1               | 71,048                               | 1634,101             | 1665,549               | -31,448                 |
| 24   | 0,6                           | 39,6                           | 0,00                         | 0                             | 39,6                       | 1               | 71,048                               | 1705,149             | 1705,149               | 0,000                   |
|      |                               | 1584                           |                              |                               | 121,149                    | 1705,149        | 24                                   | 1705,149             | max                    | 271,20975               |
|      |                               |                                |                              |                               |                            |                 |                                      |                      | min                    | -31,447875              |

Tabla 3: Tabla para el cálculo del volumen de regulación del depósito

A continuación pasaremos a explicar cada columna de la tabla:

- La columna de HORA refleja todas las horas de un día de consumo
- La columna de CURVA MODULACIÓN URBANO es la correspondiente a la curva de modulación que hemos calculado en el apartado anterior para el consumo de la población.
- La columna "Qconsumido URBANO" resulta de multiplicar el caudal medio horario del día de mayor consumo por el coeficiente de la curva de modulación urbana. descrito.
- La columna de CURVA DE MODULACIÓN RIEGO es la correspondiente a la curva de modulación que hemos calculado en el apartado anterior.
- La columna "Qconsumido RIEGO" resulta de multiplicar el caudal medio horario resultante de dividir el consumo total del riego entre 24 horas y el coeficiente de la curva de modulación del riego.
- La columna "Qconsumido TOTAL" resulta de sumar el caudal consumido urbano más el caudal consumido por el riego a cada hora del día
- La columna "Qconsumido" resulta de multiplicar el caudal medio horario del día de mayor consumo por el coeficiente anteriormente descrito.
- La columna "Estado bomba" nos indica con un 1 que la bomba está funcionando y con un 0 que la bomba se encuentra parada.
- "Qbomba" el valor que se muestra es el resultado de dividir el volumen del día de mayor consumo entre las horas totales que la bomba está funcionando.
- "Vbomba" recoge el volumen que la bomba lleva acumulado durante las diferentes horas del día.
- "Vconsumido" es el volumen de agua consumido por la población. Es el resultado de ir sumando cada hora el caudal consumido hasta la hora en cuestión.
- "Valmacenado" es el volumen que se dispone en el depósito a cada hora del día. Se obtienen el valor restándole al "Vbomba" el "Vconsumido" por la población.

El volumen de regulación lo obtenemos de sumar el máximo y el mínimo en valor absoluto de la columna de "Valmacenado":

$$V_{regulación} = V_{max} - V_{mín} = 271,20975 - (-31,447875) = 302,65763m^3$$

Este es el volumen de regulación obtenido para un bombeo de 24 horas.

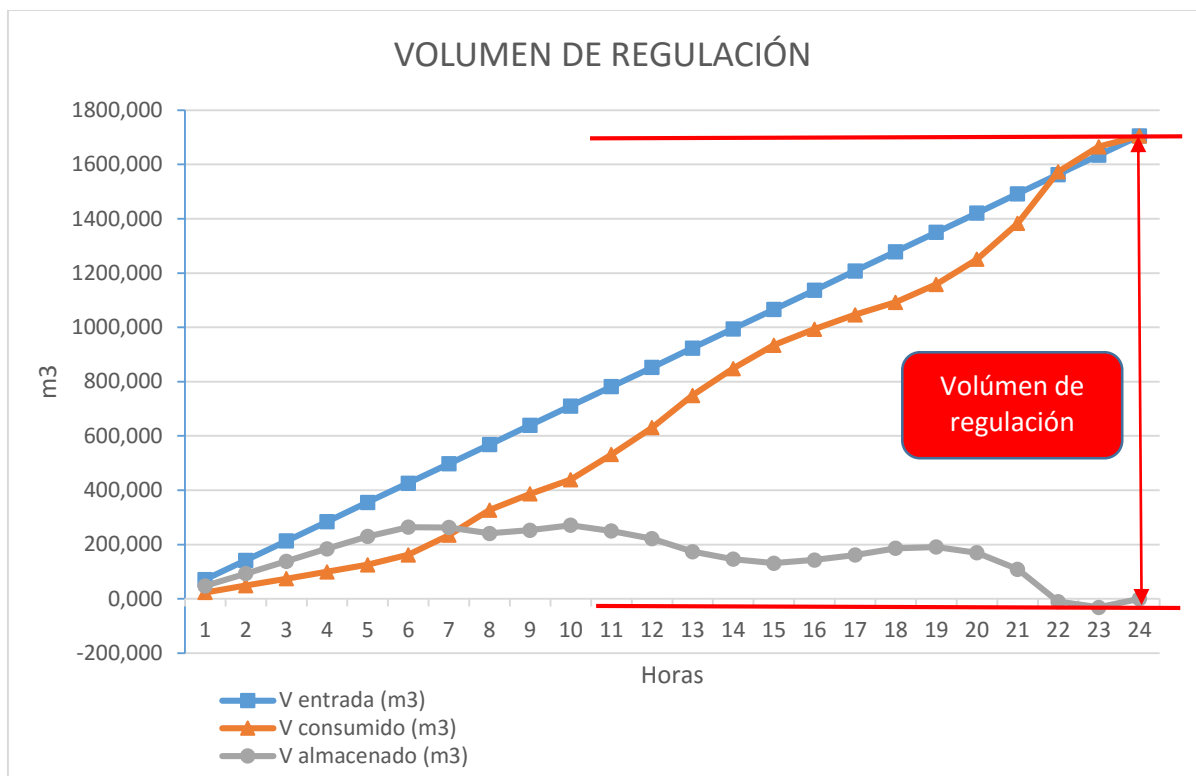


Gráfico 1: Volumen de regulación

#### 4.3.3. VOLUMEN DE RESERVA FRENTE A INCENDIOS

El volumen mínimo necesario para poder hacer frente a un incendio corresponde al abastecimiento de dos hidrantes con un caudal de 8,33 l/s (caudal correspondiente a poblaciones menores de 5000 habitantes) y durante un periodo de 2 horas sin interrupción.

$$Vol_{incendio} = 8,33 \left( \frac{l}{s} \right) \cdot 2(hidrantes) \cdot 7200(s) = 119952(l) = 120(m^3)$$



#### 4.3.4. VOLUMEN DE RESERVA FRENTE A AVERÍAS

El volumen de reserva para averías lo calcularemos como el consumo del día medio.

$$Vol_{averias}=Vol_{medio} = 11,458333(l/s) * 3600 \left(\frac{s}{h}\right) * 24 \left(\frac{h}{día}\right) * \frac{1}{1000} (m^3/l) = 990 (m^3/día)$$

El volumen de reserva frente a posibles averías del depósito será 990 m<sup>3</sup>.

#### 4.3.5. VOLUMEN TOTAL DEL DEPÓSITO

El volumen total del depósito resultara el de sumar el volumen de regulación anteriormente calculado con el volumen de reserva.

$$\begin{aligned} Volumen_{total} &= Volumen_{reg} + Volumen_{reserva} + Volumen_{incendio} \\ &= 302,65763 + 990 + 120 = 1412,609625 m^3 \cong 1412,7 m^3 \end{aligned}$$

#### 4.4. DIMENSIONES DEL DEPÓSITO

El depósito tiene unas dimensiones exteriores de 13 x 27 m., con dos vasos adyacentes de 12 x 12,75 m. de medidas interiores, cada uno. El volumen total de almacenamiento de agua es de 1412,7 m<sup>3</sup>. (Altura lámina de agua de hasta 4,80 m. sobre la parte superior de la losa de cimentación).

#### 4.5. UBICACIÓN DEL DEPÓSITO

El depósito va a estar ubicado en una zona próxima al punto de conexión de la red. En los alrededores de la zona del estudio disponemos de una parcela en la que no hay nada edificado de la cual podemos hacer uso para la ubicación del depósito.



Ilustración 2: Ubicación del depósito

Hemos elegido esta zona por su proximidad a la red, como se puede observar en la ilustración 2, y por disponer de espacio suficiente para ejecutar la obra.

#### 5. SISTEMA DE IMPULSIÓN

La infraestructura objeto del presente estudio tiene como fin suministrar el 100% de los caudales demandados por el Barrio de la Viña en Lorca (Murcia), así como dotar de presión suficiente a la red de distribución, tomando como dato de partida la presión obtenida al principio de la red por el estudio realizado por Alba Traver Gual, de 48,9 m.c.a.

La presión anteriormente descrita tiene la misión de asegurar una presión mínima en cada punto de la red de 21 m.c.a.

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA EL DEPÓSITO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL BARRIO LA VIÑA, T.M. DE LORCA (MURCIA)

El caudal que la bomba deberá de suministrar a la red dependerá del caudal demandado por la población, tal como se muestra en la Tabla 1: Tabla de Multiplicadores, en donde para cada hora del día el caudal varía dependiendo de la demanda.

Calcularemos simultáneamente el bombeo y la conducción de impulsión para cada uno de los esquemas de bombas que vamos a describir a continuación.

## **5.1. TUBERÍA DE IMPULSIÓN**

### **5.1.1. LONGITUD DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN**

La longitud total de la tubería de impulsión desde el depósito hasta la conexión con la red es de 197 metros.

### **5.1.2. MATERIAL UTILIZADO PARA LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN**

El material elegido para la impulsión es polietileno de alta densidad banda azul (PE 100). El uso de este tipo de tuberías está muy extendido, son fáciles de encontrar en el mercado, se pueden unir por soldadura térmica o electrosoldadura (electrofusión, soldadura a tope) evitando piezas especiales para su unión que son más propensas a fugas, producen menores pérdidas localizadas, etc. Se suministran en rollos para diámetros pequeños, o en barras de 10 metros para mayores diámetros. Tienen poco peso, rugosidad muy baja, envejecimiento aparente nulo, precio económico, etc.

### **5.1.3. TRAZADO DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN**

El trazado de la tubería de impulsión transcurrirá siguiendo la vía pública, preferiblemente debajo de las aceras y no demasiado cerca de la línea de fachada, para evitar problemas de descalces de cimentación debido a roturas de la tubería.

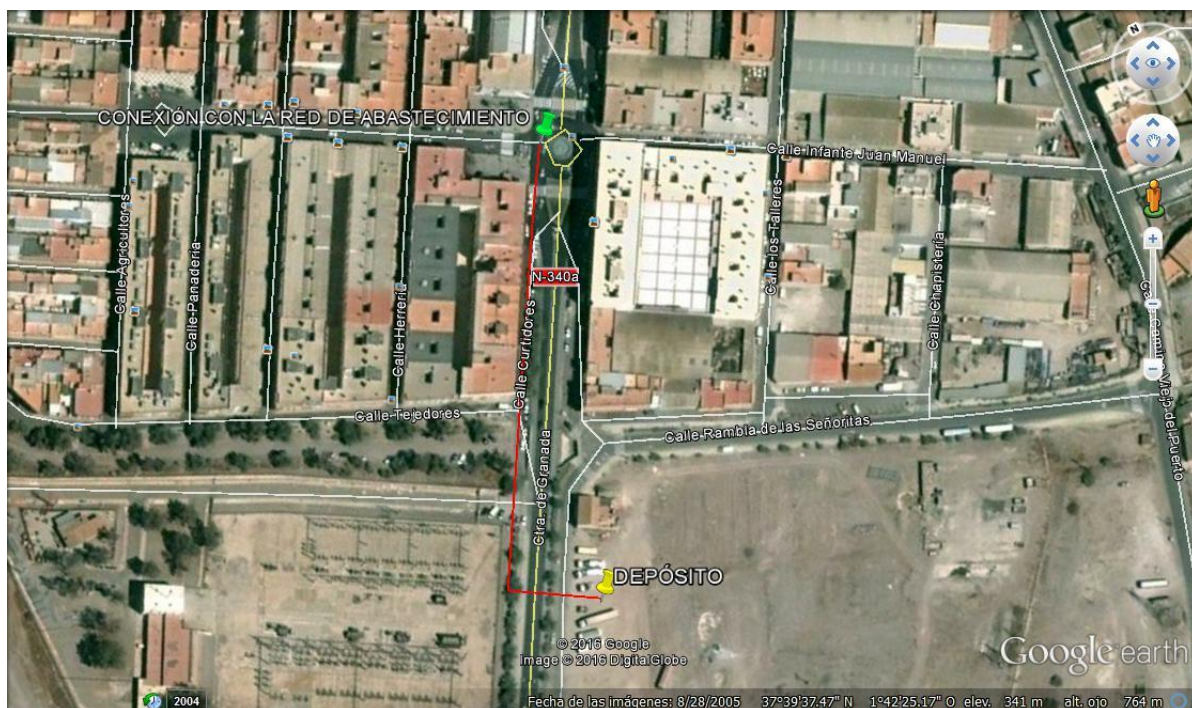
Como las conducciones se sitúan por debajo de la acera, según la Norma UNE 53331 IN, la profundidad mínima a la que debe estar situada la parte superior de la tubería es de 0,6 m y en los tramos por los que discorra por debajo de la calzada la profundidad será de 1 m. La tubería descansará sobre una cama de arena y el relleno de la zanja será de terreno natural procedente de préstamo ya que el propio terreno de la excavación no nos sirve como relleno (como se indica en el Anejo nº2 Geológico y Geotécnico).

Siendo  $e(m)$  el espesor de la cama que se obtiene de la siguiente expresión:

$$e = 0.1 \times [1 + DN(m)] = 0.1 \times [1 + 0.250] = 0.125m$$

Siendo DN el diámetro nominal de la tubería.





*Ilustración 3: Planta de la tubería de impulsión*

## 5.2. CÁLCULO DE LA CONDUCCIÓN

### 5.2.1. CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LA CONDUCCIÓN

En primer lugar y a partir del caudal punta, calcularemos la velocidad del flujo por la tubería con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$

La velocidad tendrá que ser superior a 0,3 m/s e inferior a 1,5 m/s; en nuestro caso elegimos un diámetro para el caudal máximo en el que las velocidades no sean muy elevadas para así minimizar en la medida de lo posible las pérdidas de carga y economizar energía en el bombeo. Tampoco vamos a elegir un diámetro demasiado grande porque entonces estaríamos incrementando el coste de la conducción.

Con estos condicionantes elegimos un diámetro de 250 mm.

### 5.2.2. PÉRDIDAS LOCALIZADAS

La fórmula para obtener las pérdidas de carga localizadas es la siguiente:

$$H_{loc} = \sum \frac{K * V^2}{2 \cdot g}$$

En donde:

- K: coeficiente de pérdidas para cada uno de los elementos.
- V: velocidad del flujo por la tubería.
- g: aceleración de la gravedad.

| Elemento                 | K    |
|--------------------------|------|
| Codos a 90               | 0,6  |
| Codos a 45               | 0,4  |
| Paso depósito a conducto | 0,5  |
| Paso conducto a depósito | 1    |
| T sentido recto          | 0,3  |
| Y sentido recto          | 0,3  |
| Cono convergente         | 0,25 |
| Cono divergente          | 0,4  |
| Caudalímetro             | 0,05 |
| Válvula compuerta        | 0,3  |
| Válvula mariposa         | 0,6  |
| Válvula bola             | 0,14 |
| Válvula retención        | 3    |

*Tabla 4: Coeficiente de pérdidas de los elementos*

Estas pérdidas de carga localizadas totales van a ir variando cada hora del día al depender de la velocidad del flujo por la tubería.

### 5.2.3. PÉRDIDAS POR FRICCIÓN

Una vez calculada la velocidad pasamos a calcular la altura manométrica de la instalación. La altura manométrica  $H_m$  será la suma de la presión al inicio de la red, más las pérdidas de carga por rozamiento interno del agua en el interior de la tubería  $j$ , más las pérdidas de carga localizadas calculadas anteriormente; para lo que se tiene en cuenta la formulación de Darcy que nos determina la pérdida de carga  $j$  de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$j = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

En donde:

- “ $f$ ” es el factor de fricción del agua en el interior de la tubería.
- “ $L$ ” es la longitud de la conducción.
- “ $D$ ” es el diámetro de la conducción.
- “ $V$ ” es la velocidad del flujo por la conducción.
- “ $g$ ” es la aceleración de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>)

En donde  $f$  es el factor de fricción del agua en el interior de la tubería, en las condiciones de trabajo a la que está sometida la misma, y para su cálculo nos apoyaremos en la fórmula de Colebrook-White donde interviene el tipo de material de la tubería, el diámetro y el número de Reynolds que se calcula a continuación y donde:

El factor de fricción  $f$ , de acuerdo con la fórmula de Colebrook-White, para después llevar su valor a la ecuación de Darcy para calcular las pérdidas de fricción, será:

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^{-2}}$$

En donde:

- $\varepsilon$ : es el factor de fricción
- $Re$ : es el número de Reynolds
- $D$ : es el diámetro de la tubería
- $f$ : es el factor de fricción

El valor de  $\varepsilon$  adoptado para el cálculo es de 0,0025 mm.

Esta es la ecuación para obtener el número de Reynolds que nos indicara la naturaleza del comportamiento del fluido dentro de la conducción:

$$Re = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\nu}$$

En donde:

- $\rho$ : Densidad del fluido
- $\nu$ : Viscosidad cinemática del fluido
- D: Diámetro de la tubería.
- V: Velocidad del flujo

Como en todos los casos el número de Reynolds  $Re$ , nos da un valor superior a 4000, podemos asegurar que nos encontramos ante un régimen turbulento, y es a partir de esta afirmación cuando nos disponemos a calcular los valores de las pérdidas de carga por rozamiento del agua en la tubería, teniendo en cuenta el régimen turbulento.

La altura manométrica total será la suma de las dos alturas determinadas anteriormente, o sea la presión al inicio de la red más las pérdidas de carga por rozamiento.

$$H_m = H + j$$

En donde:

- $H_m$ : es la altura manométrica.
- $H$ : es la presión al inicio de la red.
- $j$ : es las pérdidas de carga por rozamiento.

#### 5.2.4. PÉRDIDAS TOTALES

Para poder calcular las pérdidas en todos los momentos del día, las pérdidas de carga a considerar en la tubería estudiada responderán de acuerdo a la curva resistente del sistema, cuya ecuación cuadrática responderá a una parábola del siguiente tipo:

$$H_m = H + H_{loc} + R \cdot Q^2$$

En donde:

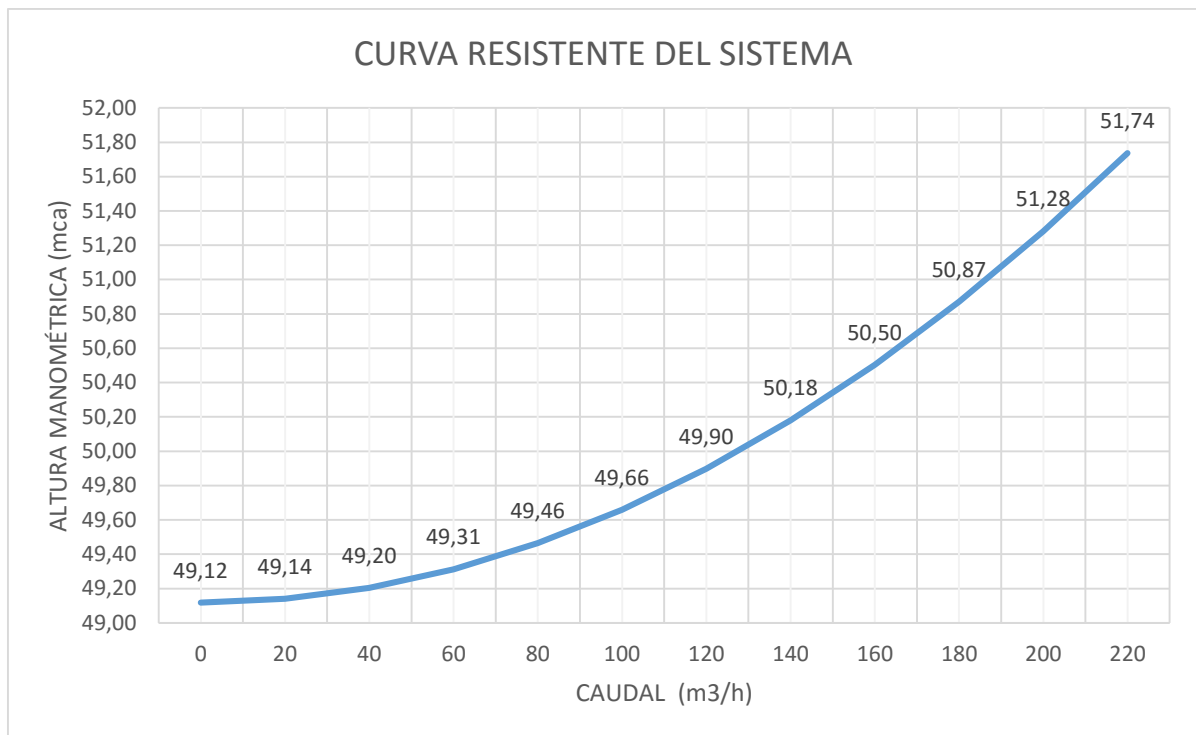
- $H_m$ : es la altura manométrica.
- $H_{loc}$ : son las pérdidas de carga localizadas.
- $R$ : es el coeficiente de fricción.
- $Q$ : es el caudal.
- $H$ : es la presión impuesta al inicio de la red de abastecimiento.

Donde el valor del coeficiente  $R$  se obtiene de la siguiente expresión:

$$R = \frac{8 \cdot f \cdot L}{\pi^2 \cdot D^5 \cdot g \cdot 3600^2}$$

En donde:

- $f$ : es el factor de fricción.
- $L$ : es la longitud de la tubería.
- $D$ : es el diámetro de la tubería.
- $g$ : es la aceleración de la gravedad.



*Tabla 5: Curva resistente del sistema*



### 5.2.5. DIÁMETRO ELEGIDO PARA LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN

Teniendo en cuenta los cálculos anteriormente descritos y el rango de velocidades aconsejables para una tubería de agua potable, el diámetro elegido para la conducción de impulsión es de 250 mm.

En la siguiente tabla se describen los valores representativos del cálculo de la tubería para el caudal punta de 190,08 m<sup>3</sup>/h:

| TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PE100 de 10 atm |             |
|---|-------------|
| CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)                              | 0,0528      |
| DIAMETRO TUBERIA exterior (mm)                          | 250         |
| ESPESOR DE LA TUBERÍA (mm)                              | 14,8        |
| DIAMETRO TUBERIA interior (mm)                          | 220,4       |
| AREA TUBERIA (m <sup>2</sup> )                          | 0,038151627 |
| VELOCIDAD TUBERÍA (m/s)                                 | 1,383951468 |

Tabla 6: Valores representativos para la conducción de impulsión de 10 atm de resistencia.

Estas son las pérdidas de carga por fricción y localizadas en la conducción:

| PÉRDIDAS DE CARGA PARA LA TUBERÍA DE 10 atm |             |
|---|-------------|
| DENSIDAD DEL AGUA (N/m <sup>3</sup> )       | 9800        |
| CAUDAL MEDIO (m <sup>3</sup> /s)            | 0,0528      |
| P. AL INICIO DE LA RED (mca)                | 48,9        |
| ALTURA PERDIDAS (mca)                       | 1,27313286  |
| ALTURA DE PÉRDIDAS LOCALIZADAS (mca)        | 1,171450561 |
| ALTURA DE PÉRDIDAS TOTAL (mca)              | 2,444583421 |
| ALTURA TOTAL                                | 51,34458342 |

Tabla 7: Pérdidas de carga para la tubería de 10 atm

Todos estos valores representados en las tablas 6 y 7 corresponden a la elección de una tubería de polietileno de alta densidad con una resistencia de 10 atmósferas, que corresponden a 103,33 mca. Teniendo en cuenta el coste de la tubería, hemos elegido la tubería de 6 atmósferas puesto que cumple con el requisito de presión máxima que se da en la conducción de impulsión y conseguimos así también menores pérdidas de carga debido al menor espesor de esta.

En las siguientes tablas se exponen los resultados para la tubería de 6 atmósferas:

| TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PE100 DE 6 atm |             |
|--|-------------|
| CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)                             | 0,0528      |
| DIAMETRO TUBERIA exterior (mm)                         | 250         |
| ESPESOR DE LA TUBERÍA (mm)                             | 9,6         |
| DIAMETRO TUBERIA interior (mm)                         | 230,8       |
| AREA TUBERIA (m <sup>2</sup> )                         | 0,041837092 |
| VELOCIDAD TUBERÍA (m/s)                                | 1,262038001 |

Tabla 8: Valores representativos para la conducción de impulsión de 6 atm de resistencia.

Estas son las pérdidas de carga por fricción y localizadas en la conducción:

| PÉRDIDAS DE CARGA PARA LA TUBERÍA DE 6 atm |             |
|--|-------------|
| DENSIDAD DEL AGUA (N/m <sup>3</sup> )      | 9800        |
| CAUDAL MEDIO (m <sup>3</sup> /s)           | 0,0528      |
| P. AL INICIO DE LA RED (mca)               | 48,9        |
| ALTURA PERDIDAS (mca)                      | 1,019218453 |
| ALTURA DE PÉRDIDAS LOCALIZADAS (mca)       | 0,974152854 |
| ALTURA DE PÉRDIDAS TOTAL (mca)             | 1,993371307 |
| ALTURA TOTAL                               | 50,89337131 |

Tabla 9: Pérdidas de carga para la tubería de 6 atm

### 5.3. CÁLCULO DE LAS BOMBAS

Como se ha descrito al principio del apartado vamos a estudiar dos tipos de esquemas de bombeo para ver cuál de los dos es el más eficiente y mejor se adapte a las demandas de caudales y presión de la red de distribución.

Los esquemas son los siguientes:

- Dos bombas funcionando en paralelo con su respectivos variadores de frecuencia para adaptarse a las demandas.
- Tres bombas en paralelo con sus respectivos variadores de frecuencia para adaptarse a las demandas.

#### 5.3.1. CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE LA BOMBA

Tomamos de los catálogos comerciales proporcionados por BOMBAS IDEAL, una bomba cuyo rango de funcionamiento se encuentre próximo a lo requerido ( $Q=Q_{\text{bombeo}}$ ,  $H=H_m$ ) y obtenemos tres puntos de su curva de funcionamiento.

Por otra parte, hay que considerar las condiciones de trabajo del bombeo seleccionado, y estudiar su comportamiento trabajando en la instalación. Para ello tomamos los caudales y alturas manométricas, suministradas por el fabricante de la bomba, de tres puntos de la curva característica del bombeo, a fin de poder determinar la ecuación analítica de la misma.

Los puntos seleccionados corresponden a un punto del inicio, otro del punto medio y el tercero del final de la curva.

La ecuación analítica de la bomba es del tipo:

$$H = aQ^2 + bQ + c$$

Como tenemos tres incógnitas y los tres puntos anteriormente descritos, asignamos un sistema de ecuaciones con tres ecuaciones y tres incógnitas para obtener el valor de los coeficientes **a**, **b** y **c**.

$$\begin{cases} H_1 = aQ_1^2 + bQ_1 + c \\ H_2 = aQ_2^2 + bQ_2 + c \\ H_3 = aQ_3^2 + bQ_3 + c \end{cases}$$

Resolviendo el sistema de tres ecuaciones, encontramos los valores de los coeficientes **a**, **b** y **c**, que sustituidos en la ecuación general obtenemos la curva característica de la bomba seleccionada.

### 5.3.2. VARIADORES DE FRECUENCIA

Una bomba rotodinámica tiene un dispositivo dinámico con la altura generada por un impulsor rotatorio. De esta forma, hay una relación entre la velocidad periférica del impulsor y la altura generada. La velocidad periférica está directamente relacionada con la velocidad rotacional del eje, para un diámetro del impulsor fijo. Variando la velocidad de rotación por lo tanto tenemos un efecto directo en el rendimiento de la bomba. Las ecuaciones que relacionan los parámetros de rendimiento de caudal y velocidad, y altura y potencia absorbida al acelerar, son conocidas como las Leyes de Afinidad.

Cambiando el diámetro del impulsor también cambia efectivamente al punto de trabajo en un sistema dado, y a bajo coste, pero esto puede usarse solamente para un ajuste permanente a la curva de la bomba.

Para sistemas donde predomina la fricción, reduciendo la velocidad de la bomba se mueve al punto de intersección a la curva del sistema a lo largo de una línea de eficiencia constante. El punto de operación de una bomba, relativo a su punto de mejor eficiencia, queda constante y la bomba continua operando en su región ideal. Las Leyes de Afinidad se cumplen, lo cual significa que hay una reducción sustancial en la potencia absorbida acompañando la reducción en caudal y altura, haciendo la velocidad variable el método de control ideal.

Es relevante indicar que el control del caudal por regulación de velocidad siempre es más eficiente que una válvula de control. Adicionalmente al ahorro energético, puede haber otros beneficios para disminuir la velocidad. Las fuerzas hidráulicas en el impulsor, creados por el perfil de presión en el interior de la carcasa de la bomba, se reduce aproximadamente con el cuadrado de la velocidad. Estas fuerzas son transportadas por los rodamientos de la bomba, de forma que reduciendo la velocidad se incrementa la vida de los rodamientos. Puede mostrarse que para una bomba rotodinámica, la vida de los rodamientos es proporcional a la séptima

potencia de la velocidad. Adicionalmente, la vibración y el ruido se reducen y la vida del sellado se incrementa, probado que el punto de servicio queda dentro del rango de operación permisible.

En nuestro caso cuando intersectamos las dos curvas (la resistente de la tubería y la característica de la bomba) dándonos un punto en el que el caudal está bastante por encima del caudal de bombeo calculado. Este hecho nos obligaría a estar bombeando más agua de la necesaria y por lo tanto necesitaríamos un volumen de depósito mayor, sin ser necesario ya que los requerimientos de la población son los que son.

Aplicando las leyes de afinidad de las bombas hidráulicas hacemos variar la velocidad de giro del rodete para que se adecue a las necesidades de caudal de bombeo que hemos calculado.

Las leyes de afinidad se exponen a continuación:

- Curva característica de una bomba a una velocidad de giro  $N_0$ :

$$H_0 = aQ_0^2 + bQ_0 + c$$

- Curva característica de una bomba a una velocidad de giro  $N = \alpha N_0$

$$H = aQ^2 + b \alpha Q + c \alpha^2$$

Sustituyendo el valor de la altura manométrica y el caudal que hemos calculado obtenemos el valor de  $\alpha$  que multiplicándolo por las revoluciones de la bomba obtenemos un nuevo valor de giro que nos dará el caudal que necesitamos a la altura demandada con la misma bomba.

El variador de frecuencia elegido para la regulación de las bombas del estudio es de la marca *ABB* y el modelo es el *ACS310*.

Los convertidores de frecuencia ACS310 de ABB están destinados a aplicaciones de par variable, como bombas de carga de presión y ventiladores centrífugos. Las características específicas para bombas y ventiladores del convertidor ahorran costes de explotación, incrementan la eficiencia energética y reducen las emisiones de CO<sub>2</sub>. Dichas características incluyen, entre otras, controladores PID y PFC (control de bombas y ventiladores) integrados que modifican el rendimiento del convertidor en función de los cambios de presión, caudal u otros datos externos.

El convertidor ACS310 satisface las necesidades de los distribuidores técnicos y logísticos, así como los requisitos de los usuarios finales en aplicaciones de bombeo y ventilación

El convertidor ACS310 ha sido expresamente diseñado para satisfacer la demanda de cargas con par variable de bombas y ventiladores centrífugos. El resultado es un tiempo de actividad máximo, una reducción de los costes de mantenimiento y un ahorro de energía mayor.

Un sistema con bombas de control de presión tiene por objeto elevar la presión del agua suministrada hasta un nivel predeterminado en plantas de bombeo y de tratamiento de agua. La macro de control de bombas y ventiladores (PFC) del convertidor ACS310 es útil cuando se operan diversas bombas en paralelo al mismo tiempo y el caudal necesario es variable.

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA EL DEPÓSITO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL BARRIO LA VIÑA, T.M. DE LORCA (MURCIA)

Principales ventajas:

- De 0,37 a 22 kW / 0,5 hasta 30 CV 400V.
- Envoltente IP20.
- Características integradas para bombas y ventiladores, tales como control multibomba y funciones de limpieza y llenado de tuberías
- Modbus EIA-485 integrado



*Ilustración 4: Variador de frecuencia ABB modelo ACS310*

### 5.3.2.1. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO CON UN VARIADOR DE FRECUENCIA

Cuando estamos utilizando un variador de frecuencia estamos variando el punto de funcionamiento de la bomba así como también su curva característica.

El rendimiento de una bomba nos viene dado por su curva original testada en laboratorio para cada uno de los puntos de funcionamiento a la velocidad de 2900 rpm. Cuando utilizamos el variador de frecuencia estamos disminuyendo esta velocidad para adaptarnos a los requerimientos de nuestro sistema, variando solamente el caudal y manteniendo constante la presión, con lo que el rendimiento tenemos que obtenerlo desde la curva original.

Para poder obtenerlo utilizamos las siguientes ecuaciones que nos permiten hacer pasar una curva de isorendimiento por nuestro punto de funcionamiento, que intersecta a la curva original de la bomba marcándonos el rendimiento real.

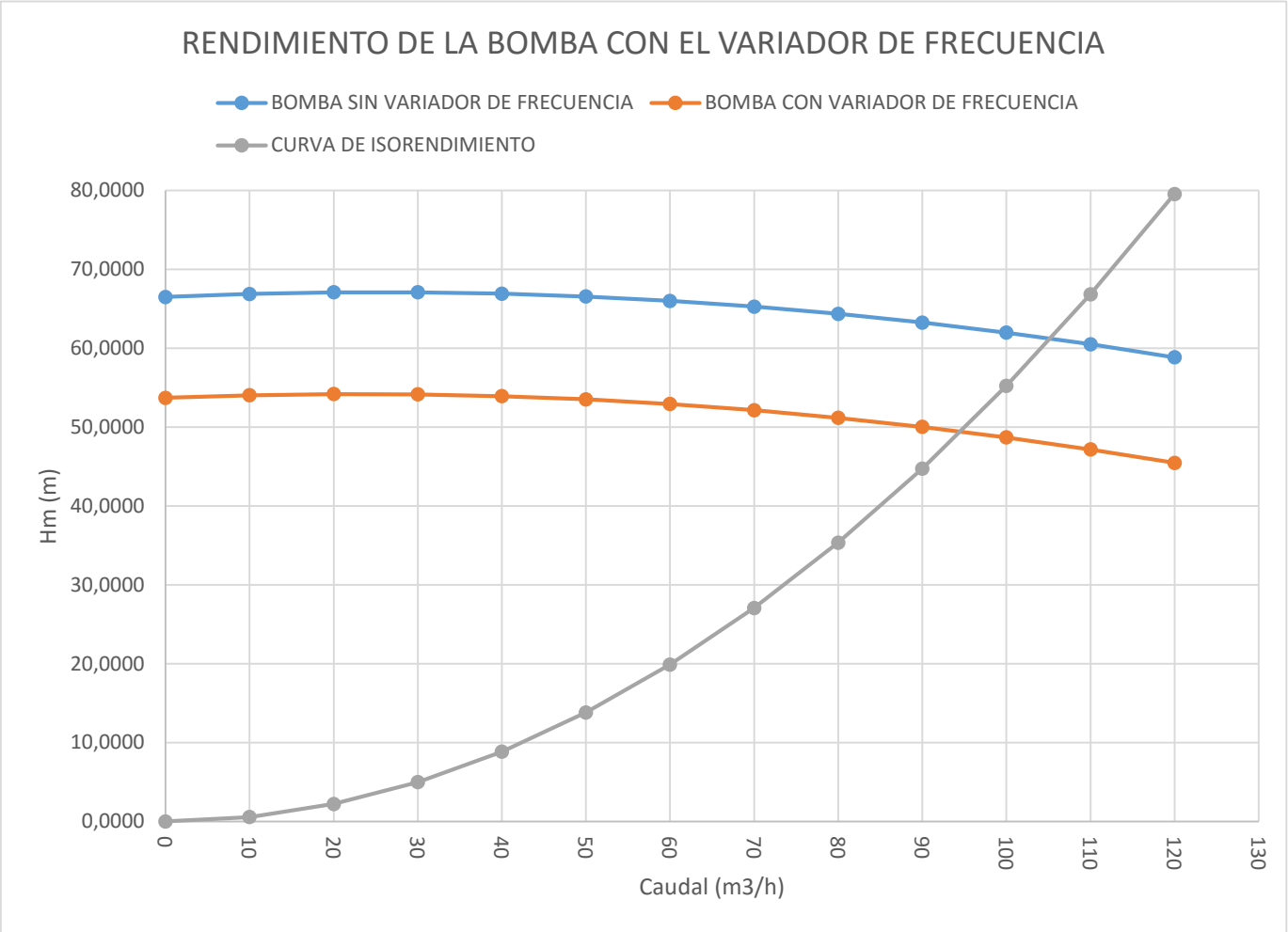
Obtenemos esta curva mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2$$

- Siendo:
- Q1: Caudal del punto original de la bomba.
- Q2: Caudal del punto con el variador de frecuencia.
- H1: Altura sin el variador de frecuencia.
- H2: Altura con el variador de frecuencia.

Despejando:

$$H_1 = H_2 \cdot \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2$$



Gráfica 1: Rendimiento de la bomba con el variador de frecuencia

## 6. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

### 6.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

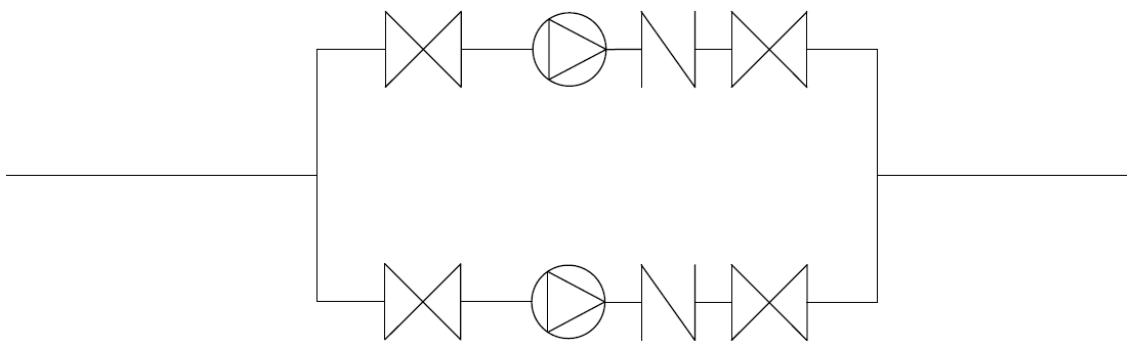
En el estudio nos hemos centrado en la eficiencia energética como parte fundamental a la hora de elegir una alternativa u otra, puesto que el mayor gasto económico que se va a producir en la explotación de la infraestructura va a ser el bombeo de las aguas potables hasta la población del estudio.

Como una sola bomba no era capaz de poder cumplir el amplio espectro de caudales que se suceden durante el día entre las horas valle y las horas punta, la solución adoptada es la de la ejecución de un grupo de bombeo con bombas en paralelo. Estas bombas irán poniéndose en marcha o parando durante el día dependiendo del caudal que se demande. Como hemos descrito en apartados anteriores los caudales son variables pero la presión tiene que ser siempre constante, es por esto que hemos implementado a cada bomba un variador de frecuencia para poder cumplir así este requerimiento.

Para poder elegir una alternativa u otra vamos a estudiar el comportamiento de los sistemas con los caudales punta, más repetido y valle. La que tenga mejores rendimientos y por lo tanto menores consumos será la propuesta elegida.

Las alternativas propuestas sobre las que vamos a estudiar el consumo energético son las siguientes:

- Alternativa Nº 1: dos bombas funcionando en paralelo más una tercera bomba de reserva para evitar fallos en el sistema por averías en las mismas.

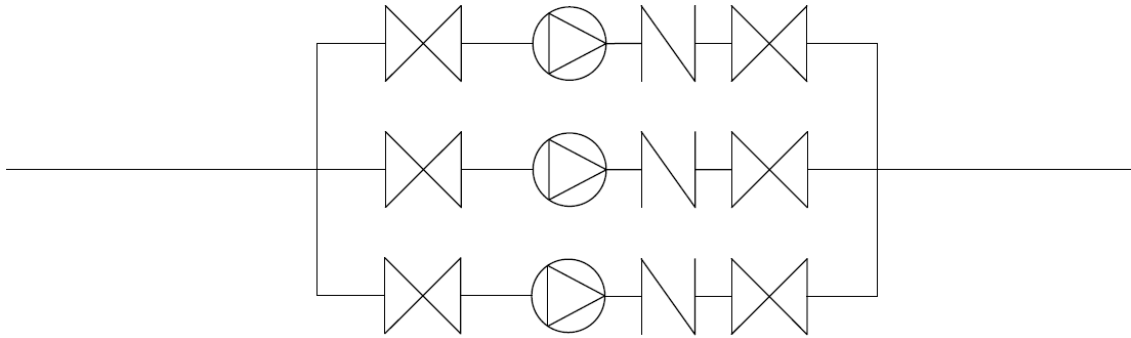


En este esquema podemos observar el sistema que se va a estudiar, formado por:

- 2 bombas en paralelo.
- 4 válvulas de compuerta.
- 2 válvulas antirretorno.
- Los consiguientes estrechamientos y ensanchamientos para adaptarse al diámetro de entrada y salida a la bomba.



- Alternativa Nº 2: tres bombas funcionando en paralelo más una cuarta bomba de reserva para evitar fallos en el sistema por averías en las mismas.



En este esquema podemos observar el sistema que se va a estudiar, formado por:

- 3 bombas en paralelo.
- 6 válvulas de compuerta.
- 3 válvulas antiretorno.
- Los consiguientes estrechamientos y ensanchamientos para adaptarse al diámetro de entrada y salida a la bomba.

## **6.2. BOMBAS UTILIZADAS EN LAS ALTERNATIVAS**

En ambas alternativas hemos utilizado bombas de la marca Ideal (<http://www.bombasideal.com/>) de la serie RNI-GNI. A continuación vamos a detallar las características de estas bombas.

### **6.2.1. APLICACIONES**

Bombas adecuadas para elevación y trasiego de líquidos en: Minas, industrias, riego, construcción, instalaciones de calefacción y aire acondicionado, municipios, equipos contra incendios etc.

### **6.2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES**

Las normas EN 733 / DIN 24255 / NF E-44111 definen los campos de trabajo hidráulicos y principales dimensiones de las bombas centrífugas de aspiración axial PN 10 con soporte para cojinete de eje horizontal. Bajo estas normas hemos diseñado nuestra gama de bombas centrífugas horizontales. Esta normalización permite unificar la misma pieza a gran número de tamaños de bombas, facilitando así el servicio de recambios al reducirla variedad de piezas. La ejecución estándar con cierre mecánico o empaquetadura, es adecuada para elevar líquidos con temperaturas hasta 100º C. En la construcción con cierre mecánico especial se pueden alcanzar incluso los 160º C. Su diseño permite la revisión completa de todas las partes giratorias e internas, sin necesidad de desconectar el cuerpo de bomba de las tuberías de aspiración e impulsión. No es necesario desplazar tampoco el motor, si se ha provisto de un manguito de acoplamiento con distanciador.

La gama GNI son grupos monobloc, formados por la bomba normalizada EN 733/DIN 24255 acoplada a un motor estándar. Esta gama cubre el campo hidráulico de aplicación dado en la norma con las ventajas propias de su construcción compacta, fácil instalación, perfecta alineación bomba-motor, reducidas dimensiones,... etc.

### **6.2.3. MOTORES**

Motores eléctricos estandarizados según normas EN 60034 / DIN VDE 0530 / IEC 34-72 del tipo asíncrono con rotor en jaula de ardilla, IP 55, y aislamiento clase F. Para funcionamiento continuo a la potencia nominal, máxima temperatura ambiente 40ºC.

### 6.3. CAUDAL MÁS REPETIDO DURANTE EL DÍA DE MAYOR CONSUMO

Para poder hacer un estudio más fiel a la realidad sobre el consumo energético de las propuestas que expondremos en el siguiente apartado, hemos realizado un análisis de los caudales que se van demandando durante el día para encontrar el caudal que más se demandaba durante más horas.

| HORA  | Qconsumido (m3/h) |
|-------|-------------------|
| 1:00  | 23,4915           |
| 2:00  | 25,4715           |
| 3:00  | 25,4715           |
| 4:00  | 25,4715           |
| 5:00  | 25,4715           |
| 6:00  | 36,6915           |
| 7:00  | 72,6              |
| 8:00  | 92,4              |
| 9:00  | 59,4              |
| 10:00 | 52,8              |
| 11:00 | 92,4              |
| 12:00 | 99                |
| 13:00 | 118,8             |
| 14:00 | 99                |
| 15:00 | 85,8              |
| 16:00 | 59,4              |
| 17:00 | 52,8              |
| 18:00 | 46,2              |
| 19:00 | 66                |
| 20:00 | 92,4              |
| 21:00 | 132               |
| 22:00 | 190,08            |
| 23:00 | 92,4              |
| 0:00  | 39,6              |

*Tabla 10: Consumos para el día de mayor consumo*

Tal como se puede observar en la tabla, en las celdas coloreadas de amarillo, los caudales que más se repiten durante el día están dentro del rango de 90 m3/h a 100 m3/h.

Para la obtención del caudal más repetido durante el día de mayor consumo lo que hemos hecho es hacer un promedio de estas 6 horas dándonos un valor de 94,6 m3/h, que va a ser el valor que vamos a estudiar para establecer que alternativa es mejor desde el punto de vista de la eficiencia energética.

## **7. ALTERNATIVA Nº 1, DOS BOMBAS EN PARALELO**

Este esquema utilizado con dos bombas es el más simple que se puede utilizar para cumplir las demandas de la población del estudio.

En las horas de mayor consumo estarían funcionando las dos bombas de forma paralela tal como se muestra en el esquema y en las horas valle funcionaría una sola bomba. Con este tipo de esquema de parada y marcha de las bombas se persigue conseguir la mayor eficiencia energética para el sistema.

Para esta alternativa hemos utilizado dos bombas centrífugas horizontales de la marca Ideal, modelo RNI 65-20/40.

### **7.1. ESTUDIO DE LA ALTERNATIVA Nº1 PARA EL CAUDAL DE 94,6 m<sup>3</sup>/h**

A continuación se muestran los resultados para el caudal de 94,6 m<sup>3</sup>/h, que es el caudal que más horas al día se repite. A la hora de poder ver cuál de los dos esquemas es el más eficiente hemos realizado los cálculos para este caudal y así poder ver cuál de los dos esquemas cumple mejor esta demanda.

#### **7.1.1. CURVA CARACTERÍSTICA DE LA BOMBA PARA EL CAUDAL DE 94,6 m<sup>3</sup>/h**

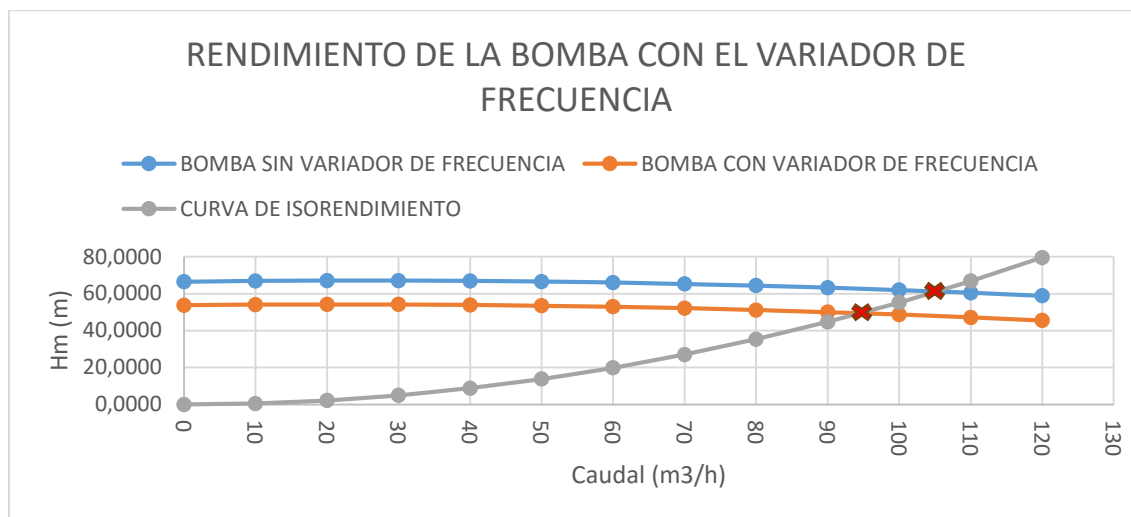
Para el caudal de 94,6 m<sup>3</sup>/h solo vamos a necesitar una bomba en funcionamiento ya que con este modelo de bomba obtenemos así un mejor rendimiento.

| CURVA FUNCIONAMIENTO BOMBA |                 |
|----------------------------|-----------------|
| VARIADOR DE FRECUENCIA     | 0,898634223     |
| CAUDAL (m3/h)              | ALTURA (m)      |
| 0                          | 53,7016         |
| 10                         | 54,0334         |
| 20                         | 54,1800         |
| 30                         | 54,1414         |
| 40                         | 53,9176         |
| 50                         | 53,5086         |
| 60                         | 52,9144         |
| 70                         | 52,1351         |
| 80                         | 51,1706         |
| 90                         | 50,0208         |
| 100                        | 48,6859         |
| 110                        | 47,1658         |
| 120                        | 45,4606         |
| <b>94,6</b>                | <b>49,42978</b> |

Tabla 11: Curva de funcionamiento de la bomba para el caudal de cálculo

| CURVA DE ISORENDIMIENTO |         |
|-------------------------|---------|
| Q (m3/h)                | H (m)   |
| 0                       | 0,0000  |
| 10                      | 0,5523  |
| 20                      | 2,2094  |
| 30                      | 4,9711  |
| 40                      | 8,8374  |
| 50                      | 13,8085 |
| 60                      | 19,8842 |
| 70                      | 27,0647 |
| 80                      | 35,3498 |
| 90                      | 44,7395 |
| 100                     | 55,2340 |
| 110                     | 66,8331 |
| 120                     | 79,5369 |

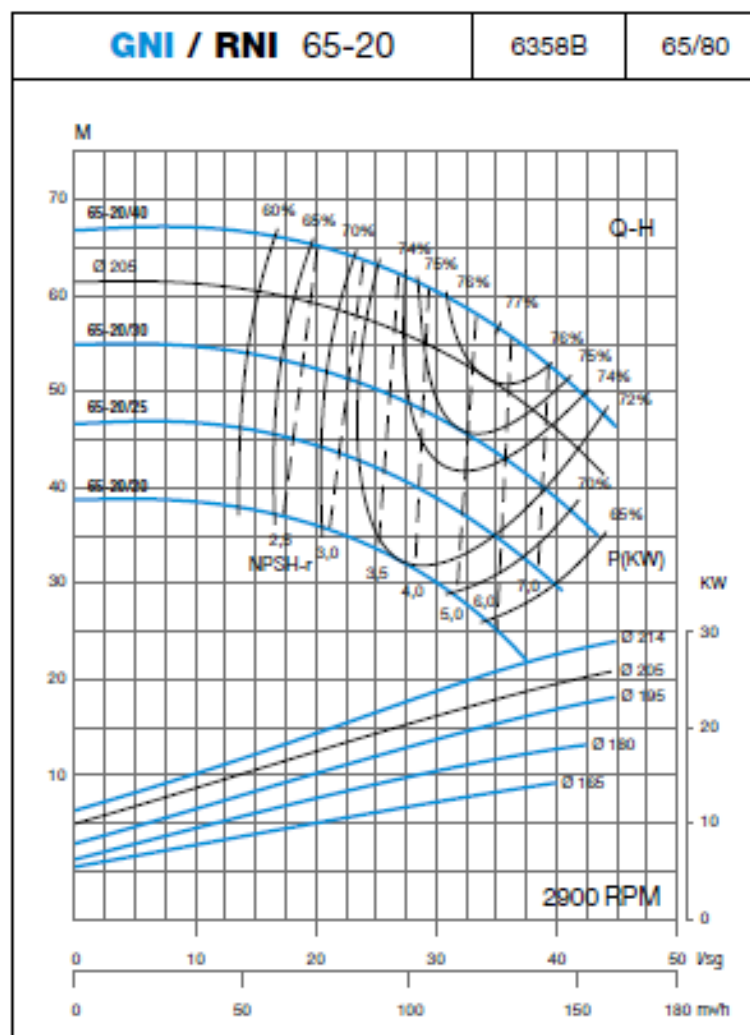
Tabla 12: Curva de isorendimiento para el caudal de cálculo



Gráfica 2: Curvas de la bomba

En la gráfica anterior se pueden observar dos curvas de funcionamiento de la bomba, una con variador de frecuencia y la otra sin variador de frecuencia; y la curva de isorendimiento calculada según lo descrito en los apartados anteriores.

Como se puede observar en la curva de isorendimiento el punto del que tenemos que obtener el rendimiento se traslada hasta el punto de funcionamiento original correspondiente a 105,3 m<sup>3</sup>/h.



Gráfica 3: Curvas características de la bomba para el modelo RNI 65-20

Como se puede ver en la gráfica este punto corresponde a un rendimiento de 75,7% para el modelo 65-20/40, correspondiente a la bomba que no tiene modificado el rodete.

### 7.1.2. CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA PARA EL ESQUEMA DE 2 BOMBAS PARA EL CAUDAL DE 94,6 m<sup>3</sup>/h

#### 7.1.2.1. PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS

En la siguiente tabla se muestran todos los elementos necesarios para poder formar el esquema de dos bombas en paralelo, así como las pérdidas localizadas “k” que imponen al sistema. El valor total de las pérdidas localizadas está calculado según la ecuación de pérdidas localizadas del apartado anterior.

|                          | PÉRDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS |            |
|--------------------------|-------------------------------|------------|
|                          | NÚMERO DE ELEMENTOS           | K          |
| Codos a 90               | 4                             | 2,4        |
| Paso depósito a conducto | 1                             | 0,5        |
| Cono convergente         | 2                             | 0,5        |
| Cono divergente          | 2                             | 0,8        |
| Válvula compuerta        | 4                             | 1,2        |
| Válvula retención        | 2                             | 6          |
| T sentido recto          | 2                             | 0,6        |
| TOTAL (m.c.a.)           |                               | 0,24128845 |

Tabla 13: Coeficientes de pérdidas localizadas para los elementos del esquema de dos bombas

#### 7.1.2.2. VALORES DE LA TUBERÍA

Estos son los valores correspondientes a las pérdidas por fricción de la tubería calculados conforme a la fórmula de Colebrook-White.

|                      |             |
|----------------------|-------------|
| LONGITUD TUBERIA (m) | 197         |
| ε (mm) PE            | 0,0025      |
| Numero de Reynolds   | 111775,5843 |
| Factor de fricción   | 1,76E-02    |

Tabla 14: Valores de cálculo para las pérdidas por fricción en la tubería



En esta tabla se representa el valor de la velocidad del caudal de cálculo para la tubería de polietileno de alta densidad con una resistencia nominal de 0,6 atm.

| TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PE100 |             |
|---|-------------|
| CAUDAL (m3/s)                                 | 0,026277778 |
| DIAMETRO TUBERIA exterior (mm)                | 250         |
| ESPESOR DE LA TUBERÍA (mm)                    | 9,6         |
| DIAMETRO TUBERIA interior (mm)                | 230,8       |
| AREA TUBERIA (m2)                             | 0,041837092 |
| VELOCIDAD TUBERÍA (m/s)                       | 0,628097616 |

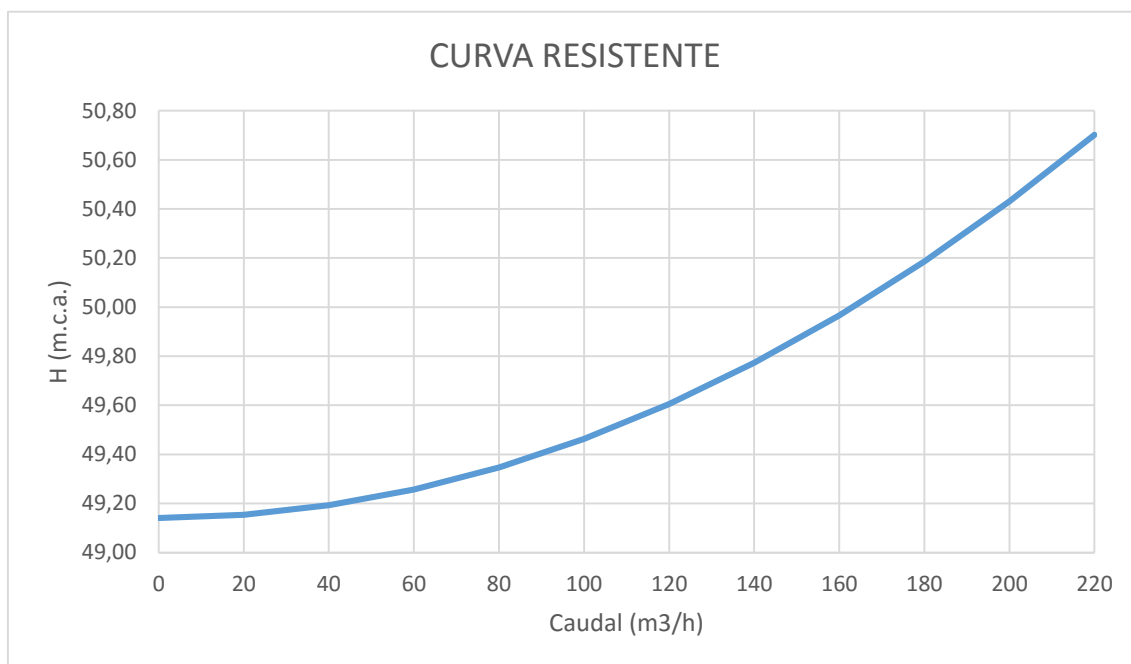
Tabla 15: Valores de cálculo para la tubería para el caudal de cálculo

### 7.1.2.3. CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA CON LAS PERDIDAS LOCALIZADAS

Al valor correspondiente a las pérdidas por fricción de la tubería que se muestran, le hemos sumado el valor de las pérdidas localizadas por los elementos del sistema, como anteriormente hemos descrito en apartados anteriores.

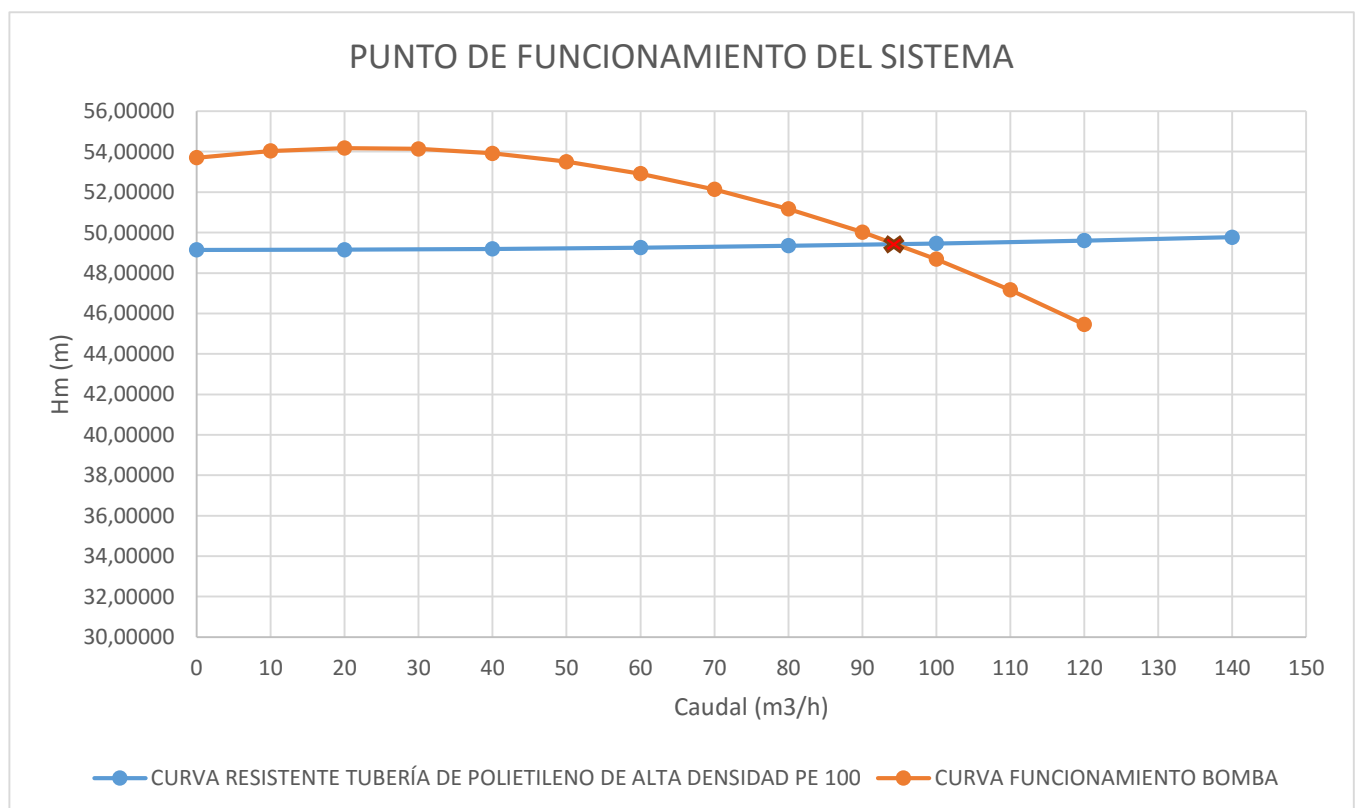
| CURVA RESISTENTE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PE 100 |             |
|---|-------------|
| R   | 3,22367E-05 |
| CURVA RESISTENTE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PE 100 |             |
| Q (m3/h)  | Hm (m)      |
| 0   | 49,14129    |
| 20  | 49,15418    |
| 40  | 49,19287    |
| 60  | 49,25734    |
| 80  | 49,34760    |
| 100   | 49,46366    |
| 120   | 49,60550    |
| 140   | 49,77313    |
| 160   | 49,96655    |
| 180   | 50,18576    |
| 200   | 50,43076    |
| 220   | 50,70154    |

Tabla 16: Valores de la curva resistente del sistema para cada caudal



Gráfica 4: Curva resistente del sistema

### 7.1.3. PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PARA EL CAUDAL DE 94,6 m³/4



Gráfica 5: Punto de funcionamiento del sistema

El punto de funcionamiento está marcado con una "x" roja en la gráfica.

Como hemos dispuesto de un variador de frecuencia por bomba, el punto de funcionamiento del sistema será el que nosotros necesitemos, con un caudal de 94,6 m<sup>3</sup>/h y una presión de 49,43 m.c.a., tal como se puede observar en la gráfica nº 5.

#### 7.1.4. CONSUMO ENERGÉTICO DEL ESQUEMA DE 2 BOMBAS PARA EL CAUDAL DE 94,6 m<sup>3</sup>/h

Como el caudal en que estamos calculando este apartado es el que más se repite durante la duración del día, el valor del consumo energético del sistema es el más representativo que podemos utilizar. Tal como se muestra en la siguiente tabla, tenemos que para un día de mayor consumo, la energía total consumida es de 403,981 kW por día.

| POTENCIA DE LA BOMBA                          |                    |
|---|--------------------|
| DENSIDAD DEL AGUA (N/m <sup>3</sup> )         | 9800               |
| CAUDAL MEDIO (m <sup>3</sup> /s)              | 0,026277778        |
| P. AL INICIO DE LA RED (mca)                  | 48,9               |
| ALTURA PERDIDAS (mca)                         | 0,288491333        |
| ALTURA DE PÉRDIDAS LOCALIZADAS (mca)          | 0,24128845         |
| ALTURA DE PÉRDIDAS TOTAL (mca)                | 0,529779783        |
| ALTURA TOTAL                                  | 49,42977978        |
| CONSUMO DE LA BOMBA (kW)                      | 16,83257038        |
| <b>CONSUMO ENERGÉTICO DIARIO (kW por día)</b> | <b>403,9816892</b> |

*Gráfica 6: Potencia y consumo energético de la bomba para el caudal de cálculo*

## 7.2. ESTUDIO DE LA ALTERNATIVA Nº1 DOS BOMBAS EN PARALELO PARA EL CAUDAL VALLE DE 23,4915 m<sup>3</sup>/h

### 7.2.1. CURVA CARACTERÍSTICA DE LA BOMBA

Ahora vamos a ver el comportamiento del sistema para el caudal mínimo o valle. Para el caudal valle solo vamos a utilizar una bomba funcionando, ya que con una bomba es suficiente para dar la altura necesaria. Con el variador de frecuencia adaptaremos el giro de la bomba a las necesidades del caudal valle.

| CURVA FUNCIONAMIENTO BOMBA |             |
|----------------------------|-------------|
| VARIADOR DE FRECUENCIA     | 0,855767623 |
| CAUDAL (m <sup>3</sup> /h) | ALTURA (m)  |
| 0                          | 48,7005     |
| 10                         | 49,0120     |
| 20                         | 49,1383     |
| 30                         | 49,0795     |
| 40                         | 48,8355     |
| 50                         | 48,4062     |
| 60                         | 47,7918     |
| 70                         | 46,9922     |
| 80                         | 46,0075     |
| 90                         | 44,8375     |
| 59,4                       | 47,8339     |
| 23,4915                    | 49,1388     |

Tabla 17: Curva de funcionamiento de la bomba con variador de frecuencia para el caudal valle

La curva de isorendimiento para el caudal valle es la que se muestra a continuación, calculada según el método explicado en apartados anteriores:

| CURVA DE ISORENDIMIENTO |           |
|-------------------------|-----------|
| Q (m3/h)                | H (m)     |
| 0                       | 0,0000    |
| 10                      | 8,9044    |
| 20                      | 35,6175   |
| 30                      | 80,1394   |
| 40                      | 142,4700  |
| 50                      | 222,6094  |
| 60                      | 320,5575  |
| 70                      | 436,3143  |
| 80                      | 569,8799  |
| 90                      | 721,2543  |
| 100                     | 890,4374  |
| 110                     | 1077,4293 |
| 120                     | 1282,2299 |

Tabla 18: Curva de isorendimiento para el caudal valle

En la siguiente tabla en la que se muestran las curvas de funcionamiento para la bomba con variador de frecuencia y sin variador de frecuencia, además de la curva de isorendimiento; se puede observar como el nuevo punto de funcionamiento de la bomba para averiguar el rendimiento corresponde al caudal de 25,4 m3/h en la curva original.

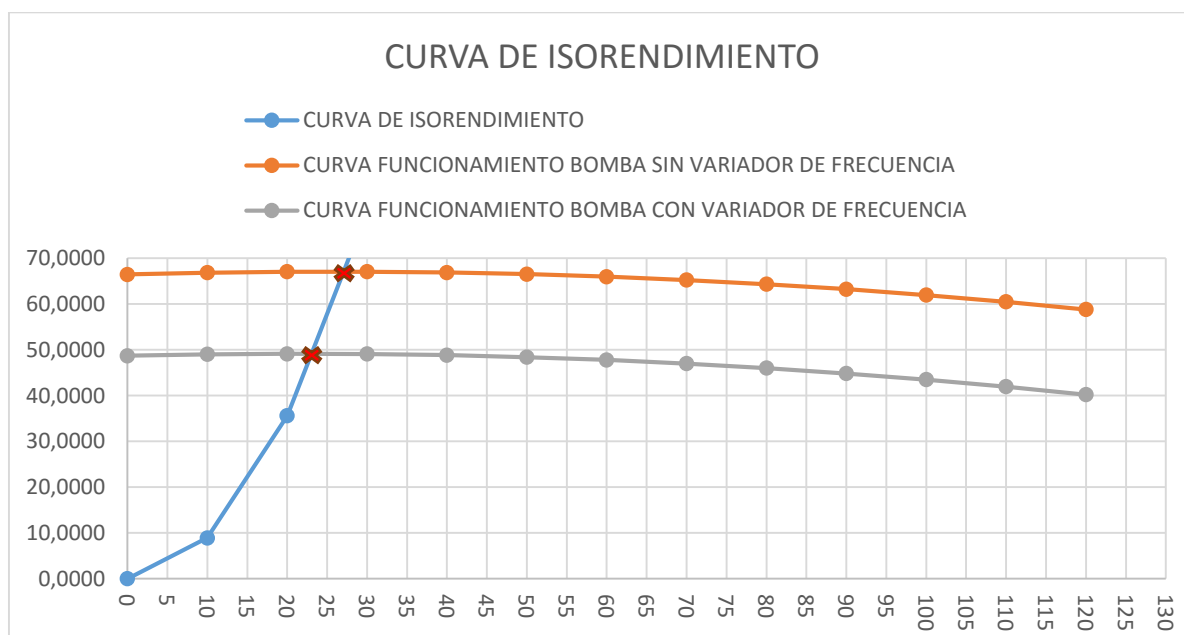


Tabla 19: Curva de isorendimiento para el caudal valle

Como podemos observar en la curva característica original, mostrada en la *Gráfica 7: Curvas características de la bomba para el modelo RNI 65-20* el rendimiento correspondiente a un caudal de 25,4 m<sup>3</sup>/h es del 60%, para el modelo 65-20/40, rendimiento mínimo de la bomba.

## 7.2.2. CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA PARA EL ESQUEMA DE DOS BOMBAS CON EL CAUDAL VALLE DE 23,4915 m<sup>3</sup>/h

### 7.2.2.1. PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS

En la siguiente tabla se muestran todos los elementos necesarios para poder formar el esquema de dos bombas en paralelo, así como las pérdidas localizadas “k” que imponen al sistema. El valor total de las pérdidas localizadas está calculado según la ecuación de pérdidas localizadas del apartado anterior.

|                          | PÉRDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS |             |
|--------------------------|-------------------------------|-------------|
|                          | NÚMERO DE ELEMENTOS           | K           |
| Codos a 90               | 4                             | 2,4         |
| Paso depósito a conducto | 1                             | 0,5         |
| Cono convergente         | 2                             | 0,5         |
| Cono divergente          | 2                             | 0,8         |
| Válvula compuerta        | 4                             | 1,2         |
| Válvula retención        | 2                             | 6           |
| T sentido recto          | 2                             | 0,6         |
| TOTAL                    |                               | 0,014879069 |

*Gráfica 8: Coeficientes de pérdidas localizadas para los elementos del esquema de dos bombas*

### 7.2.2.2. VALORES DE LA TUBERÍA

Estos son los valores correspondientes a las pérdidas por fricción de la tubería calculados conforme a la fórmula de Colebrook-White.

|                      |             |
|----------------------|-------------|
| LONGITUD TUBERIA (m) | 197         |
| ε (mm) PE            | 0,0025      |
| Numer de Reynolds    | 35292,49731 |
| Factor de fricción   | 2,26E-02    |

*Tabla 20: Valores de cálculo para las pérdidas por fricción en la tubería*

En esta tabla se representa el valor de la velocidad para el caudal de cálculo para la tubería de polietileno de alta densidad con una resistencia nominal de 0,6 atm.

| TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PE100 |             |
|---|-------------|
| CAUDAL (m3/s)                                 | 0,006525417 |
| DIAMETRO TUBERIA exterior (mm)                | 250         |
| ESPESOR DE LA TUBERÍA (mm)                    | 9,6         |
| DIAMETRO TUBERIA interior (mm)                | 230,8       |
| AREA TUBERIA (m2)                             | 0,041837092 |
| VELOCIDAD TUBERÍA (m/s)                       | 0,155972042 |

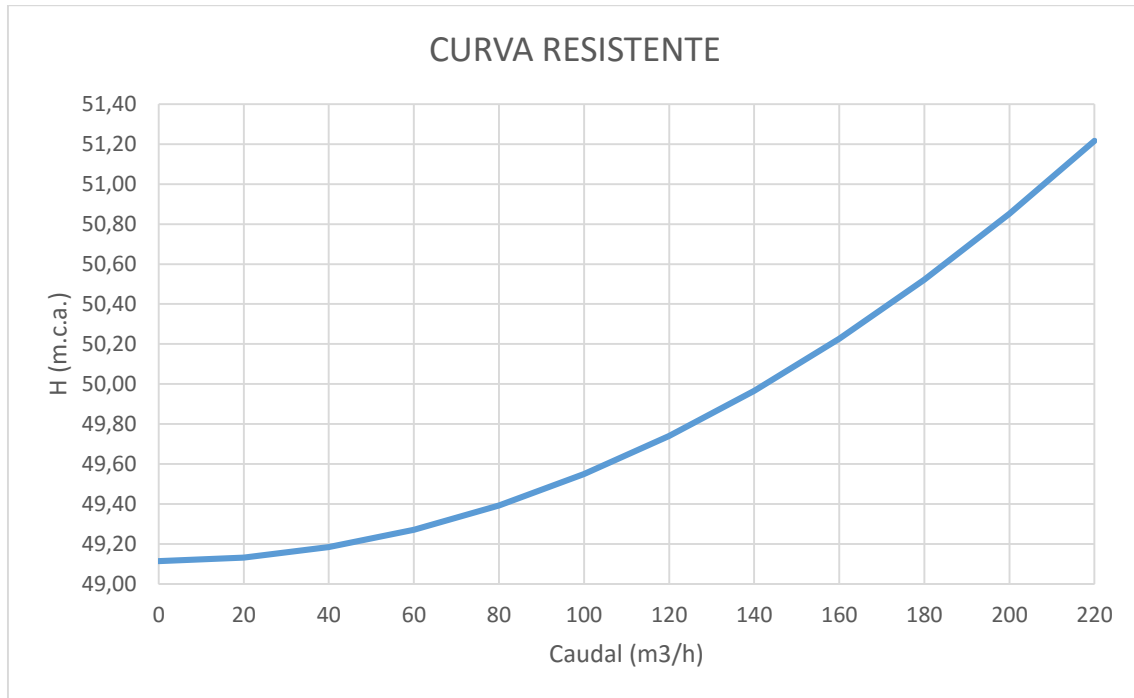
### 7.2.3. CURVA RESISTENTE DE LA TUBERÍA PARA EL CAUDAL VALLE DE 23,4915 m3/h

Al valor correspondiente a las pérdidas por fricción de la tubería que se muestran, le hemos sumado el valor de las pérdidas localizadas por los elementos del sistema, como anteriormente hemos descrito en apartados anteriores.

| CURVA RESISTENTE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PE 100 |             |
|---|-------------|
| R   | 4,34247E-05 |
| Q (m3/h)  | Hm (m)      |
| 0   | 49,11488    |
| 20  | 49,13225    |
| 40  | 49,18436    |
| 60  | 49,27121    |
| 80  | 49,39280    |
| 100   | 49,54913    |
| 120   | 49,74019    |
| 140   | 49,96600    |
| 160   | 50,22655    |
| 180   | 50,52184    |
| 200   | 50,85187    |
| 220   | 51,21663    |

Tabla 21: Valores de la curva resistente del sistema para cada caudal

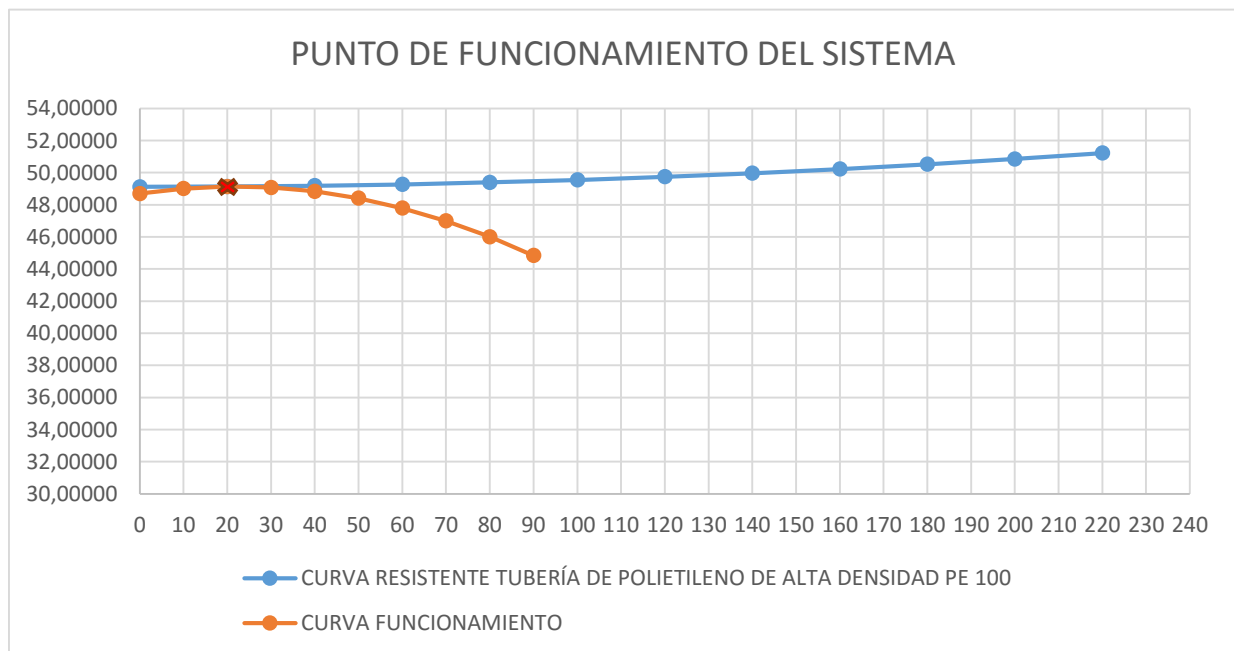
En la siguiente gráfica se muestran los valores de la curva.



Gráfica 9: Curva resistente del sistema

### 7.2.1. PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PARA EL CAUDAL VALLE PARA EL CAUDAL VALLE DE 23,49 m³/h

Como hemos dispuesto de un variador de frecuencia por bomba, el punto de funcionamiento del sistema será el que nosotros necesitemos, tal como se puede observar en la siguiente gráfica



Gráfica 10: Punto de funcionamiento del sistema



El punto de funcionamiento está marcado con una “x” roja en la gráfica y corresponde a un consumo de 23,4915 m<sup>3</sup>/h y 49,14 m.c.a.

### 7.2.2. CONSUMO ENERGÉTICO PARA EL ESQUEMA DE DOS BOMBAS EN PARALELO PARA EL CAUDAL VALLE DE 23,4915 m<sup>3</sup>/h

En la siguiente tabla se muestran los valores de la potencia necesaria de la bomba para el caudal valle, este caudal es el mínimo que se da durante el día y aunque el rendimiento de la bomba sea bajo, al tener menos caudal que impulsar el consumo energético no es desorbitado.

| POTENCIA DE LA BOMBA                  |             |
|---------------------------------------|-------------|
| DENSIDAD DEL AGUA (N/m <sup>3</sup> ) | 9800        |
| CAUDAL MEDIO (m <sup>3</sup> /s)      | 0,006525417 |
| P. AL INICIO DE LA RED (mca)          | 49,1        |
| ALTURA PERDIDAS (mca)                 | 0,02396394  |
| ALTURA DE PÉRDIDAS LOCALIZADAS (mca)  | 0,014879069 |
| ALTURA DE PÉRDIDAS TOTAL (mca)        | 0,038843009 |
| ALTURA TOTAL                          | 49,13884301 |
| POTENCIA DE LA BOMBA (kW)             | 5,242650801 |

*Gráfica 11: Potencia de la bomba para el caudal valle*

### 7.1. ESTUDIO DE LA ALTERNATIVA Nº1 DOS BOMBAS EN PARALELO PARA EL CAUDAL PUNTA DE 190,08 m<sup>3</sup>/h

En el siguiente apartado vamos a ver el comportamiento del sistema para el caudal máximo o punta. Para el caudal máximo vamos a utilizar las dos bombas en paralelo para que puedan bombear la totalidad del flujo necesario a la presión requerida. Con el variador de frecuencia adaptaremos el giro de la bomba a las necesidades del caudal punta.

| CURVA FUNCIONAMIENTO 2<br>BOMBAS |                 |
|----------------------------------|-----------------|
| VARIADOR DE<br>FRECUENCIA        | 0,910829477     |
| CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)       | ALTURA (m)      |
| 0                                | 55,1691         |
| 20                               | 55,5066         |
| 40                               | 55,6589         |
| 60                               | 55,6261         |
| 80                               | 55,4081         |
| 100                              | 55,0048         |
| 120                              | 54,4164         |
| 140                              | 53,6428         |
| 160                              | 52,6841         |
| 180                              | 51,5401         |
| 200                              | 50,2110         |
| 220                              | 48,6966         |
| 240                              | 46,9971         |
| <b>190,08</b>                    | <b>50,89337</b> |

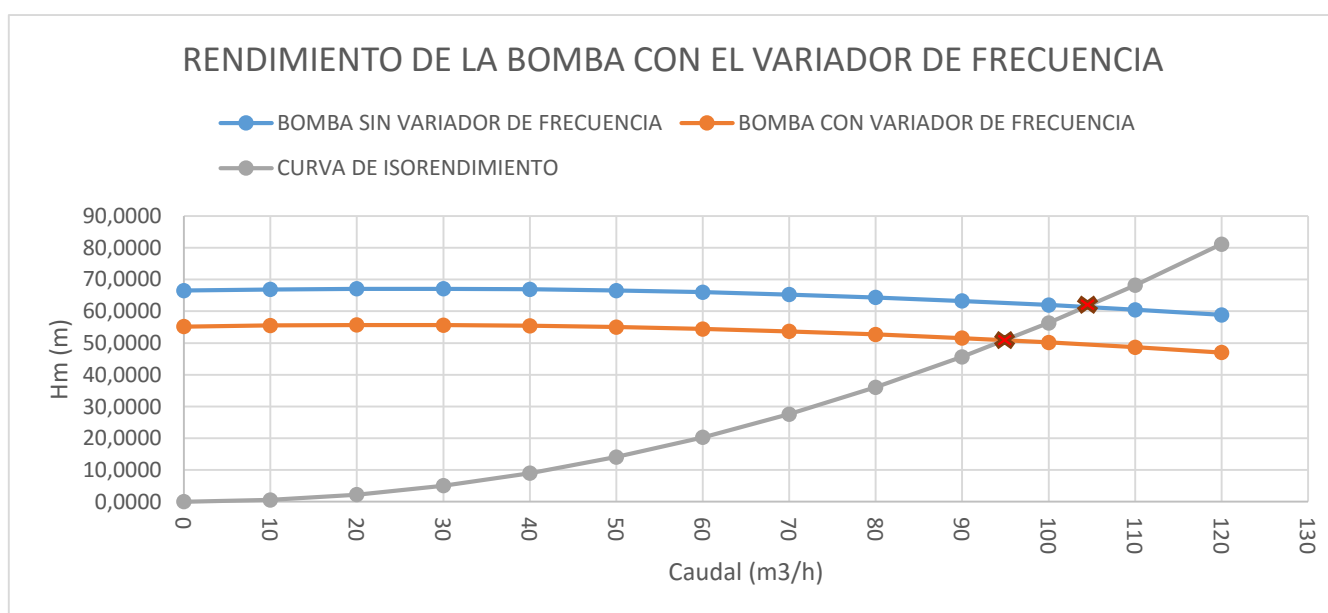
Tabla 22: Curva de funcionamiento de las dos bombas en paralelo para el caudal punta

La curva de isorendimiento para el caudal punta es la que se muestra a continuación, calculada según el método explicado en apartados anteriores.

| CURVA DE ISORENDIMIENTO |         |
|-------------------------|---------|
| Q (m <sup>3</sup> /h)   | H (m)   |
| 0                       | 0,0000  |
| 10                      | 0,5634  |
| 20                      | 2,2538  |
| 30                      | 5,0710  |
| 40                      | 9,0151  |
| 50                      | 14,0860 |
| 60                      | 20,2839 |
| 70                      | 27,6086 |
| 80                      | 36,0602 |
| 90                      | 45,6387 |
| 100                     | 56,3441 |
| 110                     | 68,1763 |
| 120                     | 81,1355 |

Tabla 23: Curva de isorendimiento para el caudal punta

En la siguiente tabla en la que se muestran las curvas de funcionamiento para la bomba con variador de frecuencia y sin variador de frecuencia (para solo una bomba), además de la curva de isorendimiento; se puede observar como el nuevo punto de funcionamiento de la bomba para averiguar el rendimiento corresponde al caudal de 104,5 m<sup>3</sup>/h en la curva original.



Como podemos observar en la curva característica original, mostrada en la *Gráfica 12: Curvas características de la bomba para el modelo RNI 65-20*, el rendimiento correspondiente a un caudal de 104,5 m<sup>3</sup>/h es del 75%, rendimiento mínimo de la bomba.

## 7.2. CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA PARA EL ESQUEMA DE DOS BOMBAS CON EL CAUDAL PUNTA DE 190,08 m<sup>3</sup>/h

### 7.2.1.1. PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS

En la siguiente tabla se muestran todos los elementos necesarios para poder formar el esquema de dos bombas en paralelo, así como las pérdidas localizadas “k” que imponen al sistema. El valor total de las pérdidas localizadas está calculado según la ecuación de pérdidas localizadas del apartado anterior.

|                          | PÉRDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS |             |
|--------------------------|-------------------------------|-------------|
|                          | NÚMERO DE ELEMENTOS           | K           |
| Codos a 90               | 4                             | 2,4         |
| Paso depósito a conducto | 1                             | 0,5         |
| Cono convergente         | 2                             | 0,5         |
| Cono divergente          | 2                             | 0,8         |
| Válvula compuerta        | 4                             | 1,2         |
| Válvula retención        | 2                             | 6           |
| T sentido recto          | 2                             | 0,6         |
| TOTAL (m.c.a.)           |                               | 0,974152854 |

Tabla 24: Coeficiente de pérdidas de carga localizadas para el caudal punta

### 7.2.1.2. VALORES DE LA TUBERÍA

Estos son los valores correspondientes a las pérdidas por fricción de la tubería para el caudal punta calculados conforme a la fórmula de Colebrook-White.

|                      |             |
|----------------------|-------------|
| LONGITUD TUBERIA (m) | 197         |
| ε (mm) PE            | 0,0025      |
| Número de Reynolds   | 285567,0301 |
| Factor de fricción   | 1,47E-02    |

Tabla 25: Valores de cálculo para las pérdidas por fricción en la tubería

En esta tabla se representa el valor de la velocidad para el caudal punta en la tubería de polietileno de alta densidad con una resistencia nominal de 0,6 atm.

| TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PE100 |             |
|---|-------------|
| CAUDAL (m3/s)                                 | 0,0528      |
| DIAMETRO TUBERIA exterior (mm)                | 250         |
| ESPESOR DE LA TUBERÍA (mm)                    | 9,6         |
| DIAMETRO TUBERIA interior (mm)                | 230,8       |
| AREA TUBERIA (m2)                             | 0,041837092 |
| VELOCIDAD TUBERÍA (m/s)                       | 1,262038001 |

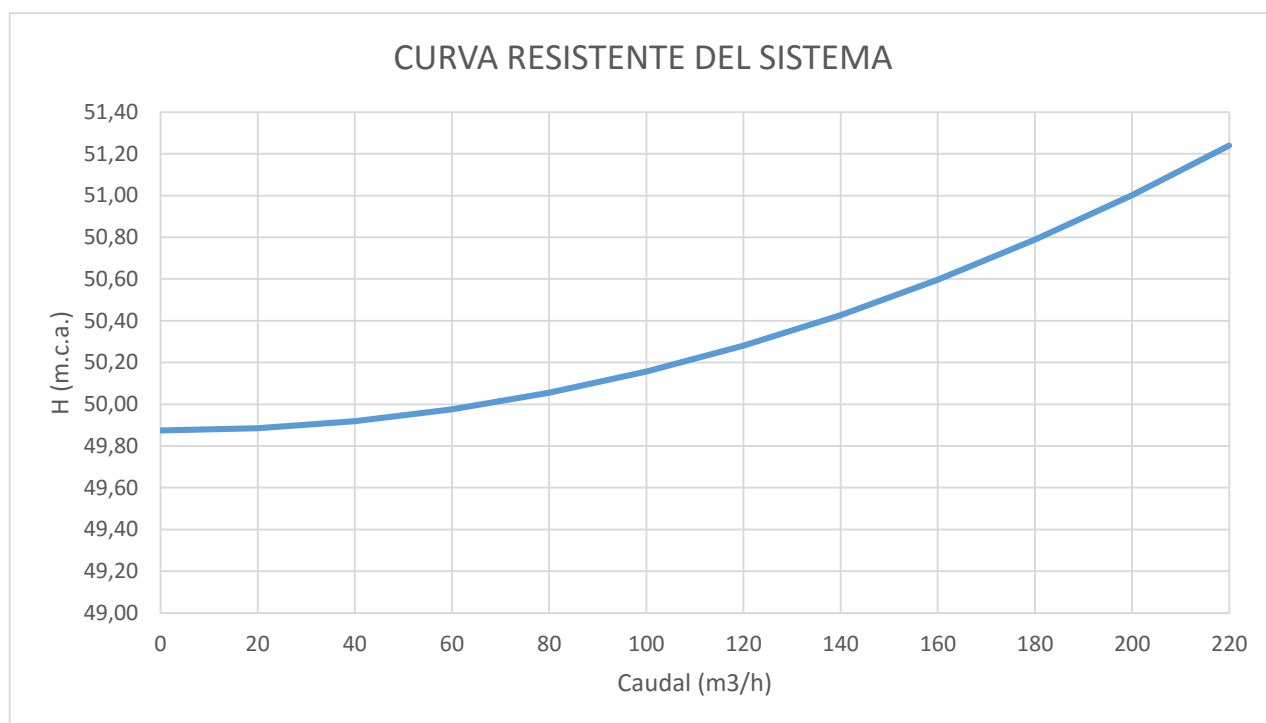
Tabla 26: Valores de cálculo para la tubería para el caudal punta

### 7.2.1.3. CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA

Al valor correspondiente a las pérdidas por fricción de la tubería que se muestran, le hemos sumado el valor de las pérdidas localizadas por los elementos del sistema, como anteriormente hemos descrito en apartados anteriores.

| CURVA RESISTENTE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PE 100 |             |
|---|-------------|
| R   | 2,82094E-05 |
| Q (m3/h)  | Hm (m)      |
| 0   | 49,87415    |
| 20  | 49,88544    |
| 40  | 49,91929    |
| 60  | 49,97571    |
| 80  | 50,05469    |
| 100   | 50,15625    |
| 120   | 50,28037    |
| 140   | 50,42706    |
| 160   | 50,59631    |
| 180   | 50,78814    |
| 200   | 51,00253    |
| 220   | 51,23949    |

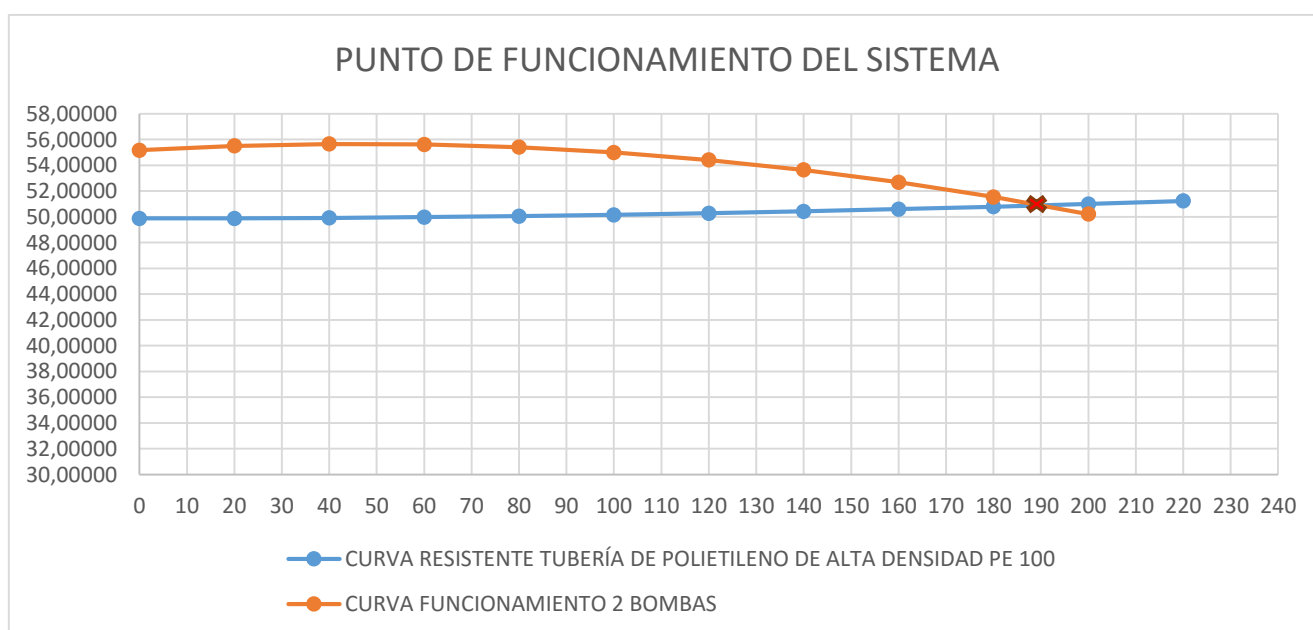
Tabla 27: Valores de la curva resistente del sistema para el caudal punta



Gráfica 13: Curva resistente del sistema

### 7.2.2. PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PARA EL CAUDAL PUNTA DE 190,08 m³/h

Como hemos dispuesto de un variador de frecuencia por bomba, el punto de funcionamiento del sistema será el que nosotros necesitemos, tal como se puede observar en la siguiente gráfica.



Gráfica 14: Punto de funcionamiento del sistema para el caudal punta

El punto de funcionamiento está marcado con una “x” roja en la gráfica, correspondiente a 190,08 m³/h y 50,89 m.c.a.

### 7.2.3. CONSUMO ENERGÉTICO DEL ESQUEMA DE 2 BOMBAS PARA EL CAUDAL PUNTA DE 190,08 m<sup>3</sup>/h

Este es el máximo caudal que se da en el sistema, por lo tanto este es el máximo consumo que se nos dará en el sistema. Tal como se muestra en la tabla, la potencia de la bomba necesaria es de 35,15 kW teniendo en cuenta el rendimiento del 75% de la bomba (rendimiento óptimo).

| POTENCIA DE LA BOMBA                  |             |
|---------------------------------------|-------------|
| DENSIDAD DEL AGUA (N/m <sup>3</sup> ) | 9800        |
| CAUDAL MEDIO (m <sup>3</sup> /s)      | 0,0528      |
| P. AL INICIO DE LA RED (mca)          | 48,9        |
| ALTURA PERDIDAS (mca)                 | 1,019218453 |
| ALTURA DE PÉRDIDAS LOCALIZADAS (mca)  | 0,974152854 |
| ALTURA DE PÉRDIDAS TOTAL (mca)        | 1,993371307 |
| ALTURA TOTAL                          | 50,89337131 |
| POTENCIA DE LA BOMBA (kW)             | 35,14818367 |

*Gráfica 15: Potencia de la bomba para el caudal de cálculo*

## **8. ALTERNATIVA Nº2, TRES BOMBAS FUNCIONANDO EN PARALELO**

Este esquema utilizado con tres bombas es más complejo que el anterior.

En las horas de mayor consumo estarían funcionando las tres bombas de forma paralela tal como se muestra en el esquema, en las horas con consumo medio las dos y en las horas valle funcionaría una sola bomba. Con este tipo de esquema de parada y marcha de las bombas se persigue conseguir la mayor eficiencia energética para el sistema.

### **8.1. ESTUDIO DE LA ALTERNATIVA Nº2 ESQUEMA 3 BOMBAS PARA EL CAUDAL DE 94,6 m<sup>3</sup>/h**

A continuación se muestran los resultados para el caudal de 94,6 m<sup>3</sup>/h, caudal que como hemos descrito anteriormente es el caudal que más horas al día se repite. A la hora de poder ver cuál de los dos esquemas es el más eficiente hemos realizado los cálculos para este caudal y así poder ver cuál de los dos esquemas cumple mejor esta demanda.

#### **8.1.1. CURVA CARACTERÍSTICA DE LA BOMBA PARA EL CAUDAL DE 94,6 m<sup>3</sup>/h**

Para el caudal de 94,6 m<sup>3</sup>/h vamos a poner en funcionamiento las dos bombas en paralelo, ya que con este esquema y el modelo de bomba elegido es necesario la utilización de dos bombas para el caudal impuesto a la presión requerida con un rendimiento cerca del óptimo.



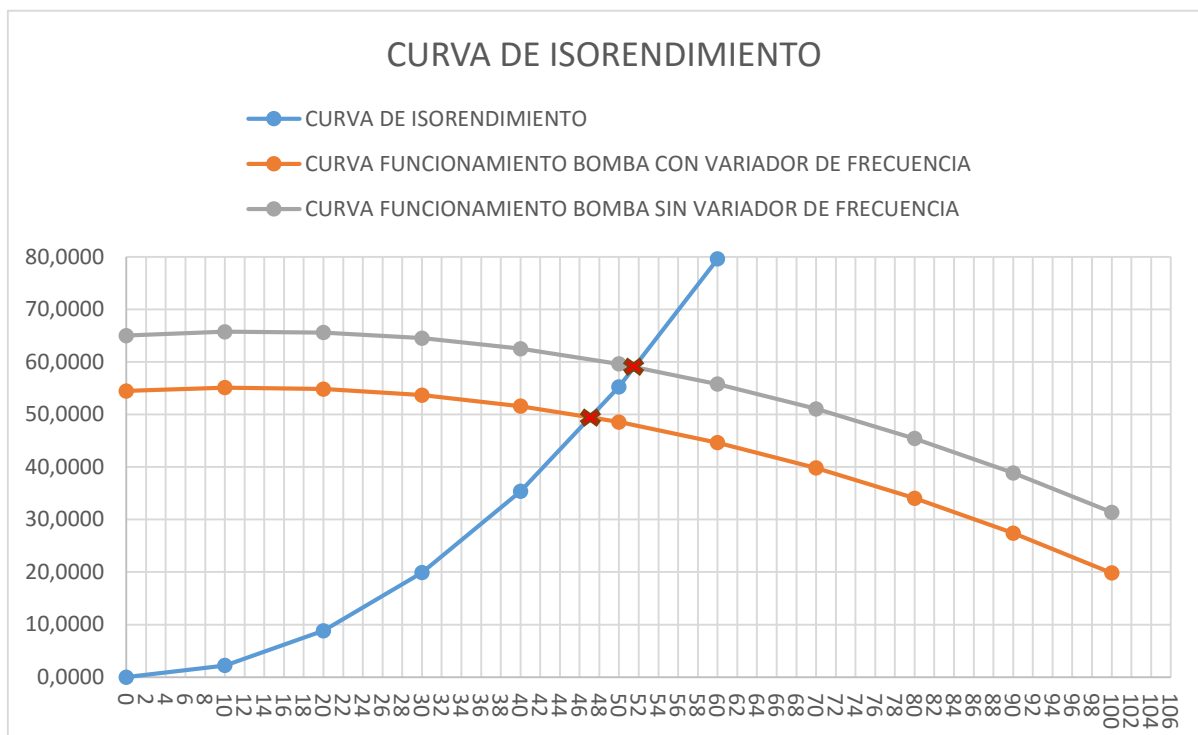
| CURVA FUNCIONAMIENTO 2 BOMBAS     |            |
|-----------------------------------|------------|
| VARIDOR DE FRECUENCIA 0,915345625 |            |
| CAUDAL (m3/h)                     | ALTURA (m) |
| 0                                 | 54,4607    |
| 20                                | 55,1050    |
| 40                                | 54,8365    |
| 60                                | 53,6554    |
| 80                                | 51,5615    |
| 100                               | 48,5550    |
| 120                               | 44,6357    |
| 140                               | 39,8038    |
| 160                               | 34,0591    |
| 180                               | 27,4018    |
| 200                               | 19,8318    |
| 94,6                              | 49,4567    |

Tabla 28: Curva de funcionamiento de la bomba para el caudal de 94,8 m3/h

Como tenemos funcionando un variador de frecuencia en cada bomba, para poder saber el rendimiento real de la bomba utilizamos la curva de isorendimiento. Esta curva nos dará el punto original para a partir del mismo poder saber el rendimiento real al que está trabajando la bomba con variador de frecuencia, tal como hemos descrito en apartados anteriores.

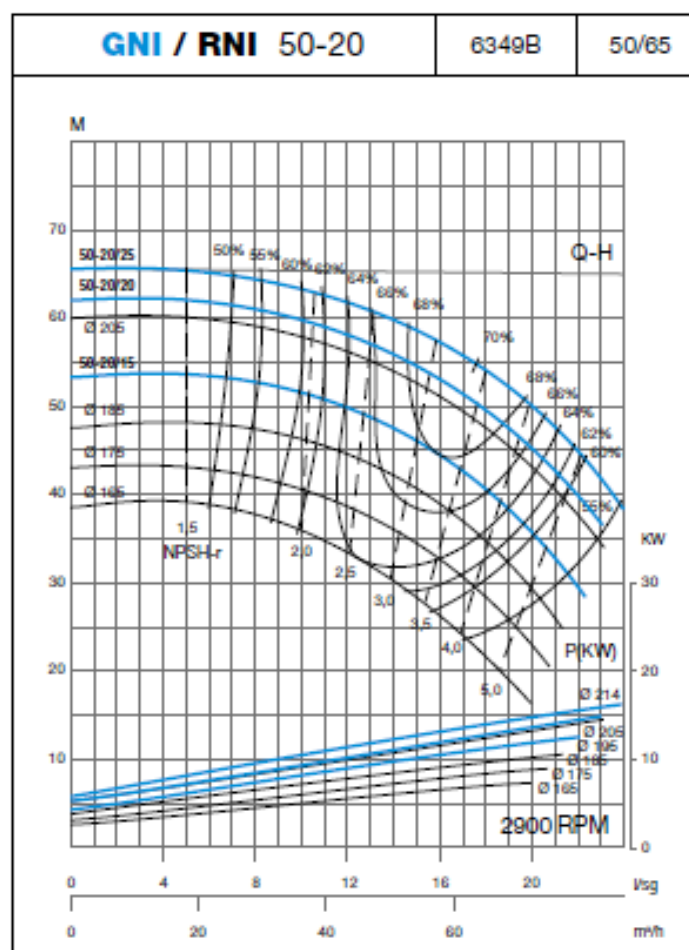
| CURVA DE ISORENDIMIENTO |            |
|-------------------------|------------|
| CAUDAL (m3/h)           | ALTURA (m) |
| 0                       | 0,0000     |
| 10                      | 2,2106     |
| 20                      | 8,8423     |
| 30                      | 19,8951    |
| 40                      | 35,3690    |
| 50                      | 55,2641    |
| 60                      | 79,5803    |
| 70                      | 108,3176   |
| 80                      | 141,4760   |
| 90                      | 179,0556   |
| 100                     | 221,0563   |

Tabla 29: Curva de isorendimiento para el caudal de 94,8 m3/h



Gráfica 16: Curva de isorendimiento

Teniendo en cuenta que tenemos las dos bombas funcionando en paralelo el caudal para cada bomba se divide entre dos, siendo este de 47,3 m³/h. Como se puede observar en la curva de isorendimiento el punto del que tenemos que leer el rendimiento se traslada hasta el punto de funcionamiento original correspondiente a 51,7 m³/h.



Gráfica 17: Curvas características de la bomba para el modelo RNI 50-20

Como se puede ver en la gráfica este punto corresponde a un rendimiento de 67,3% para el modelo 50-20/25, correspondiente a la bomba que no tiene modificado el rodete.

### 8.1.2. CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA PARA EL CAUDAL DE 94,6 m<sup>3</sup>/h

#### 8.1.2.1. PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS

En la siguiente tabla se muestran todos los elementos necesarios para poder formar el esquema de tres bombas en paralelo, así como las pérdidas localizadas “k” que imponen al sistema. El valor total de las pérdidas localizadas está calculado según la ecuación de pérdidas localizadas del apartado anterior.

|                          | PÉRDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS |             |
|--------------------------|-------------------------------|-------------|
|                          | NÚMERO DE ELEMENTOS           | K           |
| Codos a 90               | 4                             | 2,4         |
| Paso depósito a conducto | 1                             | 0,5         |
| Cono convergente         | 3                             | 0,75        |
| Cono divergente          | 3                             | 0,99        |
| Válvula compuerta        | 6                             | 1,2         |
| Válvula retención        | 3                             | 7,5         |
| TOTAL                    |                               | 0,268232327 |

Tabla 30: Coeficientes de pérdidas localizadas para los elementos del esquema de dos bombas

#### 8.1.2.2. VALORES DE LA TUBERÍA

Estos son los valores correspondientes a las pérdidas por fricción de la tubería calculados conforme a la fórmula de Colebrook-White.

|                      |             |
|----------------------|-------------|
| LONGITUD TUBERIA (m) | 197         |
| $\epsilon$ (mm) PE   | 0,0025      |
| Número de Reynolds   | 142122,4803 |
| Factor de fricción   | 1,68E-02    |

Tabla 31: Valores de cálculo para las pérdidas por fricción en la tubería

En esta tabla se representa el valor de la velocidad para el caudal de cálculo para la tubería de polietileno de alta densidad con una resistencia nominal de 0,6 atm.

| TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PE100 |             |
|---|-------------|
| CAUDAL (m3/s)                                 | 0,026277778 |
| DIAMETRO TUBERIA exterior (mm)                | 250         |
| ESPESOR DE LA TUBERÍA (mm)                    | 9,6         |
| DIAMETRO TUBERIA interior (mm)                | 230,8       |
| AREA TUBERIA (m2)                             | 0,041837092 |
| VELOCIDAD TUBERÍA (m/s)                       | 0,628097616 |

Tabla 32: Valores de cálculo para la tubería para el caudal de 94,8 m3/h

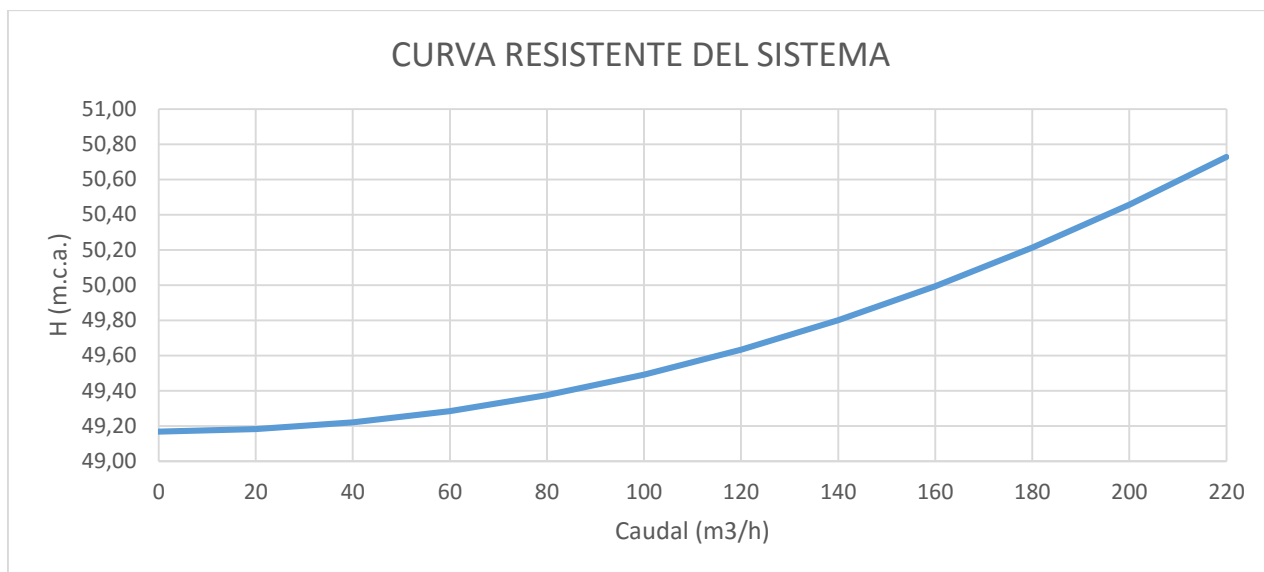
Estos valores son los mismos en las dos alternativas ya que solo se tiene en cuenta la tubería de impulsión que va desde el depósito hasta el punto de abastecimiento, y en ambos casos es la misma.

#### 8.1.2.3. CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA CON LAS PÉRDIDAS LOCALIZADAS

Al valor correspondiente a las pérdidas por fricción de la tubería que se muestran, le hemos sumado el valor de las pérdidas localizadas por los elementos del sistema, como anteriormente hemos descrito en apartados anteriores.

| CURVA RESISTENTE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PE 100 |             |
|---|-------------|
| R   | 3,22367E-05 |
| Q (m3/h)  | Hm (m)      |
| 0   | 49,16823    |
| 20  | 49,18113    |
| 40  | 49,21981    |
| 60  | 49,28428    |
| 80  | 49,37455    |
| 100   | 49,49060    |
| 120   | 49,63244    |
| 140   | 49,80007    |
| 160   | 49,99349    |
| 180   | 50,21270    |
| 200   | 50,45770    |
| 220   | 50,72849    |

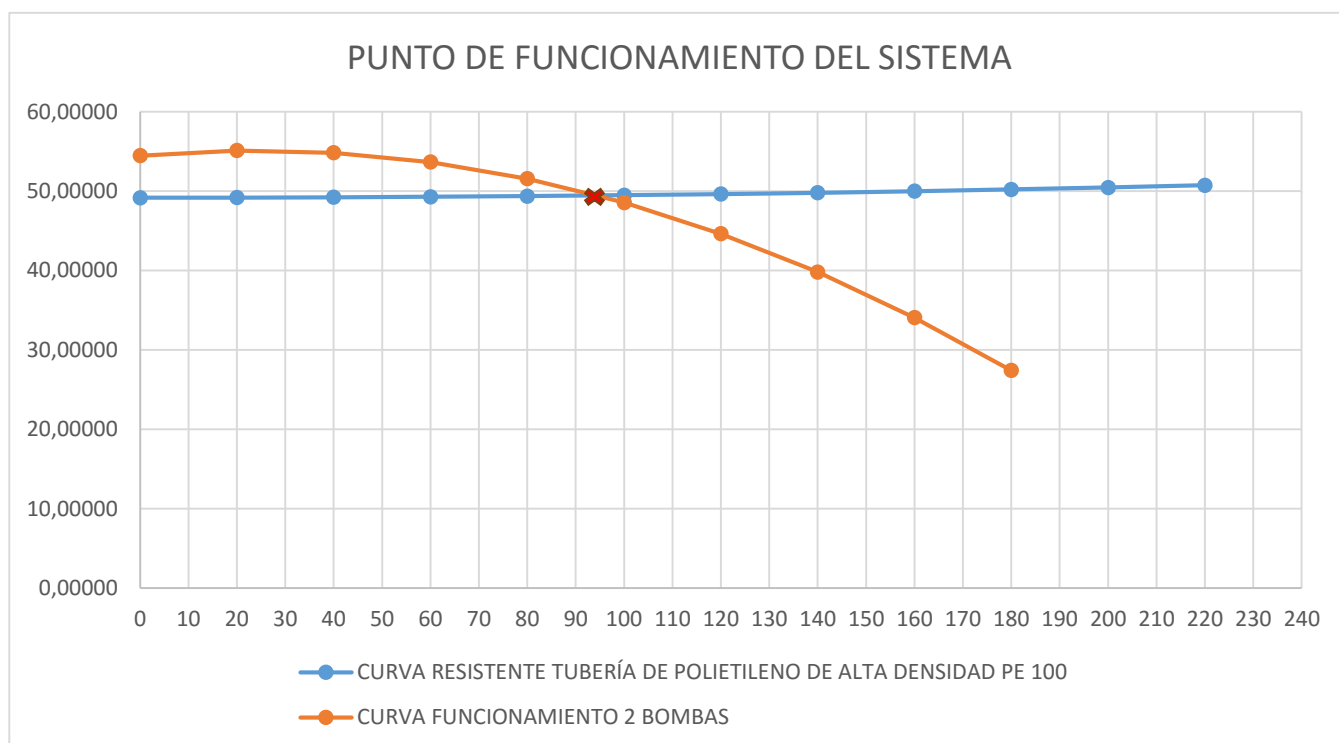
Tabla 33: Curva resistente del sistema para el esquema de 3 bombas



Gráfica 18: Curva resistente del sistema

### 8.1.3. PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PARA EL ESQUEMA DE 3 BOMBAS PARA EL CAUDAL DE 94,6 m³/h

Como hemos dispuesto de un variador de frecuencia por bomba, el punto de funcionamiento del sistema será el que nosotros necesitemos, tal como se puede observar en la siguiente gráfica.



Gráfica 19: Punto de funcionamiento del sistema

El punto de funcionamiento está marcado con una "x" roja en la gráfica, correspondiente a un consumo de 94,6 m³/h y a una presión de 49,46 m.c.a.

#### 8.1.4. CONSUMO ENERGÉTICO PARA EL ESQUEMA DE 3 BOMBAS PARA EL CAUDAL DE 94,6 m<sup>3</sup>/h

Como el caudal en que estamos calculando este apartado es el que más se repite durante la duración del día, el valor del consumo energético del sistema es el más representativo que podemos utilizar. Tal como se muestra en la siguiente tabla, tenemos que para un día de mayor consumo, el consumo energético es de 454,652 kW por día.

| POTENCIA DE LA BOMBA                                |                    |
|---|--------------------|
| DENSIDAD DEL AGUA (N/m <sup>3</sup> )               | 9800               |
| CAUDAL MEDIO (m <sup>3</sup> /s)                    | 0,026277778        |
| P. AL INICIO DE LA RED (mca)                        | 48,9               |
| ALTURA PERDIDAS (mca)                               | 0,288491333        |
| ALTURA DE PÉRDIDAS LOCALIZADAS (mca)                | 0,268232327        |
| ALTURA DE PÉRDIDAS TOTAL (mca)                      | 0,55672366         |
| ALTURA TOTAL  | 49,45672366        |
| POTENCIA DE LA BOMBA (kW)                           | 18,94383582        |
| <b>CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL DIARIO (kW por día)</b> | <b>454,6520597</b> |

Tabla 34: Potencia y consumo energético de la bomba para el caudal de cálculo

## 8.2. ESTUDIO DE LA ALTERNATIVA Nº2 TRES BOMBAS EN PARALELO PARA EL CAUDAL VALLE DE 23,4915 m<sup>3</sup>/h

Ahora vamos a ver el comportamiento del sistema para el caudal mínimo o valle. Para el caudal valle solo vamos a utilizar una bomba funcionando, ya que con una bomba es suficiente para dar la altura necesaria. Con el variador de frecuencia adaptaremos el giro de la bomba a las necesidades del caudal valle.

| CURVA FUNCIONAMIENTO BOMBA |             |
|----------------------------|-------------|
| VARIADOR DE FRECUENCIA     | 0,868323689 |
| CAUDAL (m <sup>3</sup> /h) | ALTURA (m)  |
| 0                          | 49,0091     |
| 10                         | 49,5968     |
| 20                         | 49,2718     |
| 30                         | 48,0341     |
| 40                         | 45,8837     |
| 50                         | 42,8206     |
| 60                         | 38,8449     |
| 70                         | 33,9564     |
| 80                         | 28,1552     |
| 90                         | 21,4413     |
| 23,4915                    | 48,94337    |

Tabla 35: curva de funcionamiento de la bomba con variador de frecuencia para el caudal valle

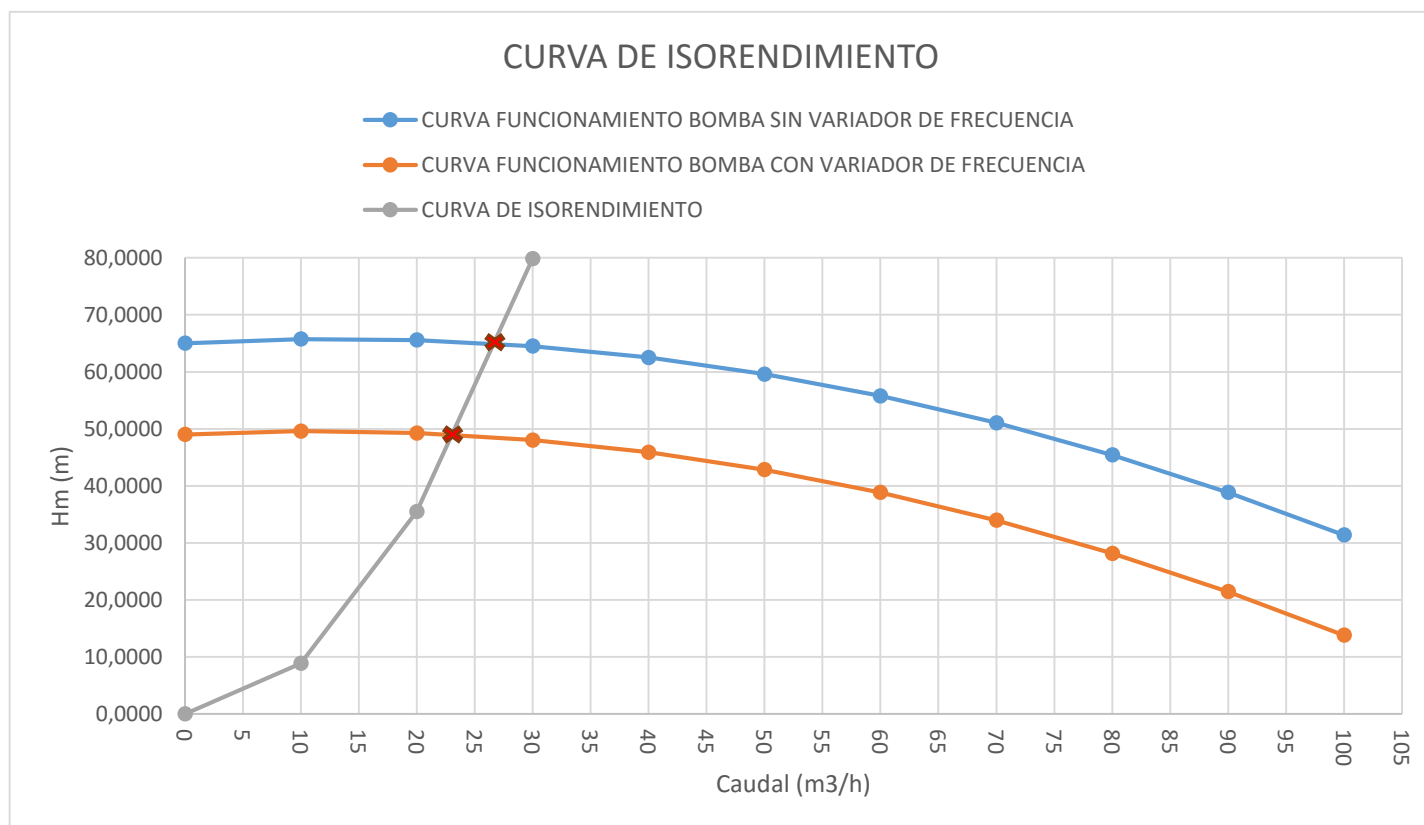


La curva de isorendimiento para el caudal valle es la que se muestra a continuación, calculada según el método explicado en apartados anteriores:

| CURVA DE ISORENDIMIENTO |            |
|-------------------------|------------|
| CAUDAL (m3/h)           | ALTURA (m) |
| 0                       | 0,0000     |
| 10                      | 8,8690     |
| 20                      | 35,4758    |
| 30                      | 79,8206    |
| 40                      | 141,9033   |
| 50                      | 221,7238   |
| 60                      | 319,2823   |
| 70                      | 434,5787   |
| 80                      | 567,6130   |
| 90                      | 718,3852   |
| 100                     | 886,8953   |

Tabla 36: Curva de isorendimiento para el caudal valle para el esquema de 3 bombas

En la siguiente tabla en la que se muestran las curvas de funcionamiento para la bomba con variador de frecuencia y sin variador de frecuencia, además de la curva de isorendimiento; se puede observar como el nuevo punto de funcionamiento de la bomba para averiguar el rendimiento corresponde al caudal de 26,7 m3/h en la curva original.



Gráfica 20: Curva de isorendimiento para el caudal valle en el esquema de 3 bombas

Tal como se puede observar en la gráfica de la curva original de nuestra bomba utilizada (modelo 50-20/25), *mostrada en la Gráfica 15: Curvas características de la bomba para el modelo RNI 50-20*, el rendimiento correspondiente para un caudal de 26,7 m<sup>3</sup>/h es del 50%. Cabe destacar que este rendimiento tan bajo se da solo para las horas de menor consumo, por lo que no supone un incremento importante en el global del consumo energético diario del sistema. El sistema lo hemos diseñado para que de un rendimiento óptimo para las horas de mayor consumo del día, y para que de un rendimiento aceptable en las horas valle.

### 8.2.1. CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA PARA EL ESQUEMA DE DOS BOMBAS PARA EL CAUDAL VALLE DE 23,4915 m<sup>3</sup>/h

#### 8.2.1.1. PÉRDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS

En la siguiente tabla se muestran todos los elementos necesarios para poder formar el esquema de tres bombas en paralelo, así como las pérdidas localizadas “k” que imponen al sistema. El valor total de las pérdidas localizadas está calculado según la ecuación de pérdidas localizadas del apartado anterior, para el caudal valle.

|                          | PÉRDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS |             |
|--------------------------|-------------------------------|-------------|
|                          | NÚMERO DE ELEMENTOS           | K           |
| Codos a 90               | 4                             | 2,4         |
| Paso depósito a conducto | 1                             | 0,5         |
| Cono convergente         | 3                             | 0,75        |
| Cono divergente          | 3                             | 1,2         |
| Válvula compuerta        | 6                             | 1,8         |
| Válvula retención        | 3                             | 9           |
| TOTAL                    |                               | 0,019404786 |

Gráfica 21: Pérdidas de carga localizadas para el caudal valle en el esquema de 3 bombas

#### 8.2.1.2. VALORES DE LA TUBERÍA

Estos son los valores correspondientes a las pérdidas por fricción en la tubería de impulsión para el caudal valle, calculados conforme a la fórmula de Colebrook-White.

|                      |             |
|----------------------|-------------|
| LONGITUD TUBERIA (m) | 197         |
| ε (mm) PE            | 0,0025      |
| Numero de Reynolds   | 35292,49731 |
| Factor de fricción   | 2,26E-02    |

Tabla 37: Valores de cálculo para las pérdidas de fricción en el sistema

Tal como se puede observar, los valores son los mismos al de los del esquema de dos bombas para el caudal valle, ya que solo tenemos en cuenta la tubería de impulsión y no los elementos del sistema de impulsión.

| TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PE100 |             |
|---|-------------|
| CAUDAL (m3/s)                                 | 0,006525417 |
| DIAMETRO TUBERIA exterior (mm)                | 250         |
| ESPEJOR DE LA TUBERÍA (mm)                    | 9,6         |
| DIAMETRO TUBERIA interior (mm)                | 230,8       |
| AREA TUBERIA (m2)                             | 0,041837092 |
| VELOCIDAD TUBERÍA (m/s)                       | 0,155972042 |

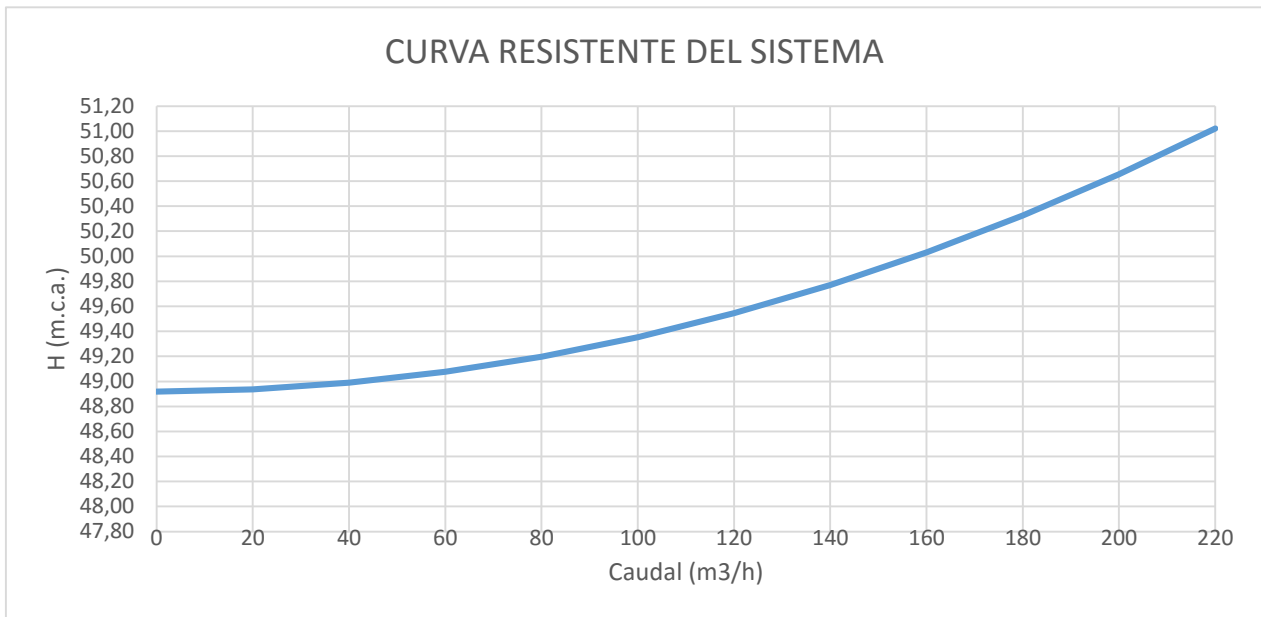
Tabla 38: Valores de cálculo para la tubería para el caudal de 23,4915 m3/h

#### 8.2.1.3. CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA FORMADO POR TRES BOMBAS CON LAS PÉRDIDAS LOCALIZADAS PARA EL CAUDAL VALLE DE 23,4915 m3/h

Al valor correspondiente a las pérdidas por fricción de la tubería que se muestran, le hemos sumado el valor de las pérdidas localizadas por los elementos del sistema, como anteriormente hemos descrito en apartados anteriores.

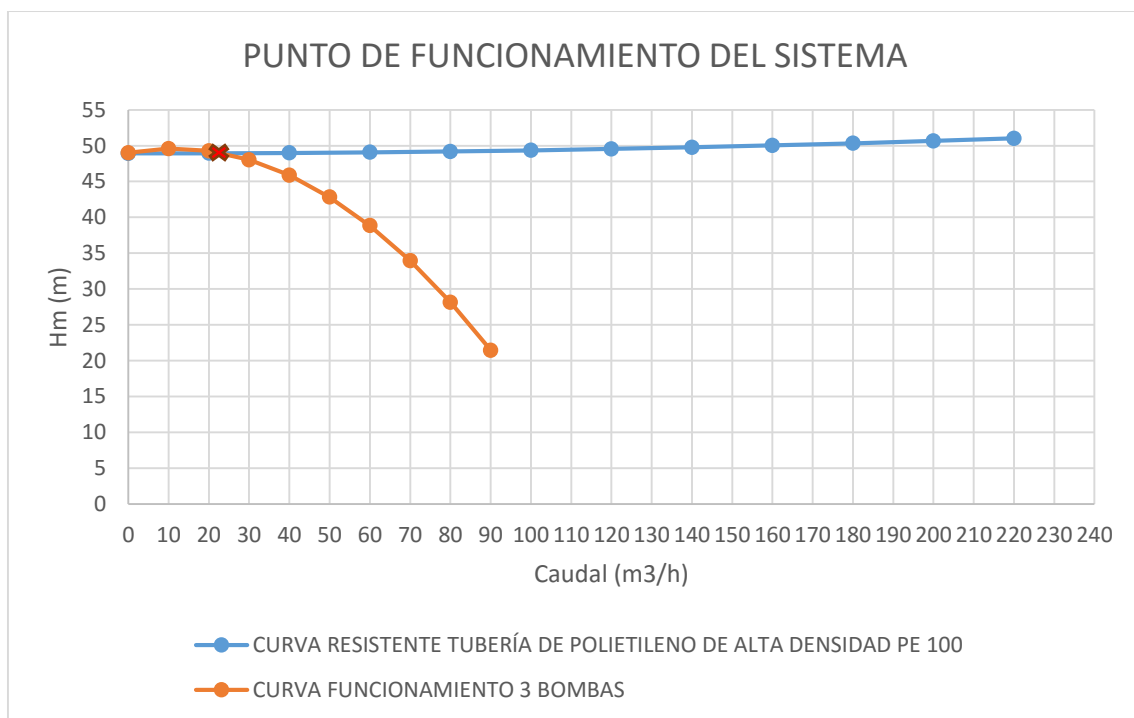
| CURVA RESISTENTE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PE 100 |             |
|---|-------------|
| R   | 4,34247E-05 |
| Q (m3/h)  | Hm (m)      |
| 0   | 48,91940    |
| 20  | 48,93677    |
| 40  | 48,98888    |
| 60  | 49,07573    |
| 80  | 49,19732    |
| 100   | 49,35365    |
| 120   | 49,54472    |
| 140   | 49,77053    |
| 160   | 50,03108    |
| 180   | 50,32636    |
| 200   | 50,65639    |
| 220   | 51,02116    |

Tabla 39: Valores de la curva resistente del sistema para cada caudal



Gráfica 22: Curva resistente del sistema con las pérdidas localizadas para el esquema de 3 bombas

Como hemos dispuesto de un variador de frecuencia por bomba, el punto de funcionamiento del sistema será el que nosotros necesitemos, tal como se puede observar en la siguiente gráfica



Gráfica 23: Punto de funcionamiento del sistema para el caudal valle en el esquema de 3 bombas

El punto de funcionamiento está marcado con una "x" roja en la gráfica, correspondiente a un consumo de 23,49 m³/h y a una presión de 48,94 m.c.a.

### 8.2.2. CONSUMO ENERGÉTICO DEL ESQUEMA DE 3 BOMBAS EN PARALELO PARA EL CAUDAL VALLE DE 23,4915 m<sup>3</sup>/h

En la siguiente tabla se muestran los valores de consumo de la bomba para el caudal valle. Este caudal es el mínimo que se da durante el día y aunque el rendimiento de la bomba sea bajo, al tener menos caudal que impulsar el consumo energético no es desorbitado; siendo este mayor que en la alternativa N°1 de dos bombas en paralelo.

| POTENCIA DE LA BOMBA                  |             |
|---------------------------------------|-------------|
| DENSIDAD DEL AGUA (N/m <sup>3</sup> ) | 9800        |
| CAUDAL MEDIO (m <sup>3</sup> /s)      | 0,006525417 |
| P. AL INICIO DE LA RED (mca)          | 48,9        |
| ALTURA PERDIDAS (mca)                 | 0,02396394  |
| ALTURA DE PÉRDIDAS LOCALIZADAS (mca)  | 0,019404786 |
| ALTURA DE PÉRDIDAS TOTAL (mca)        | 0,043368726 |
| ALTURA TOTAL (mca)                    | 48,94336873 |
| POTENCIA DE LA BOMBA (kW)             | 6,266154648 |

*Tabla 40: Potencia de la bomba para el caudal valle en el esquema de 3 bombas*

### 8.3. ESTUDIO DE LA ALTERNATIVA Nº2 TRES BOMBAS EN PARALELO PARA EL CAUDAL PUNTA DE 190,08 m<sup>3</sup>/h

En el siguiente apartado vamos a ver el comportamiento del sistema para el caudal máximo o punta. Para el caudal máximo vamos a utilizar las tres bombas en paralelo para que puedan bombear la totalidad del flujo necesario a la presión requerida. Con el variador de frecuencia adaptaremos el giro de la bomba a las necesidades del caudal punta.

| CURVA FUNCIONAMIENTO 3 BOMBAS |             |
|-------------------------------|-------------|
| VARIDOR DE FRECUENCIA         | 0,975772497 |
| CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)    | ALTURA (m)  |
| 0                             | 61,8886     |
| 30                            | 62,6055     |
| 60                            | 62,4097     |
| 90                            | 61,3012     |
| 120                           | 59,2800     |
| 150                           | 56,3461     |
| 180                           | 52,4995     |
| 210                           | 47,7402     |
| 240                           | 42,0682     |
| 270                           | 35,4835     |
| 300                           | 27,9862     |
| 190,08                        | 51,0022     |

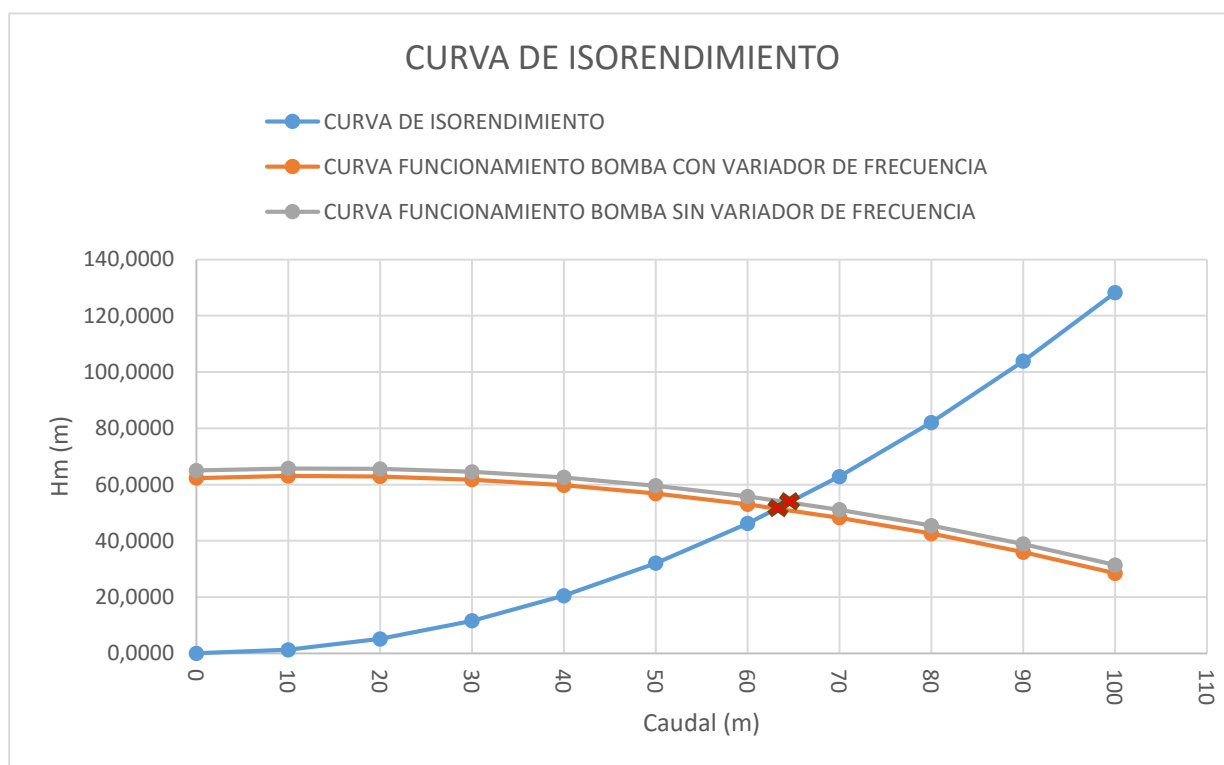
Tabla 41: Curva de funcionamiento de las tres bombas en paralelo para el caudal punta

La curva de isorendimiento para el caudal punta es la que se muestra a continuación, calculada según el método explicado en apartados anteriores. Esta curva corresponde a solo una de las tres bombas que están funcionando en paralelo.

| CURVA DE ISORENDIMIENTO    |            |
|----------------------------|------------|
| CAUDAL (m <sup>3</sup> /h) | ALTURA (m) |
| 0                          | 0,0000     |
| 10                         | 1,2822     |
| 20                         | 5,1290     |
| 30                         | 11,5402    |
| 40                         | 20,5158    |
| 50                         | 32,0560    |
| 60                         | 46,1606    |
| 70                         | 62,8298    |
| 80                         | 82,0634    |
| 90                         | 103,8615   |
| 100                        | 128,2240   |

Tabla 42: Curva de isorendimiento para el caudal punta

En la siguiente tabla en la que se muestran las curvas de funcionamiento para la bomba con variador de frecuencia y sin variador de frecuencia (para solo una bomba), además de la curva de isorendimiento; se puede observar como el nuevo punto de funcionamiento de la bomba para averiguar el rendimiento corresponde al caudal de 63,36 m<sup>3</sup>/h en la curva original.



Gráfica 24: Curva de isorendimiento para el caudal punta en el esquema de 3 bombas

Como se puede ver en la gráfica, *mostrada en la Gráfica 15: Curvas características de la bomba para el modelo RNI 50-20*, este punto corresponde a un rendimiento de 68% para el modelo 50-20/25, correspondiente a la bomba que no tiene modificado el rodete.

### 8.3.1. CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA PARA EL CAUDAL PUNTA DE 190,08 m<sup>3</sup>/h

#### 8.3.1.1. PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS

En la siguiente tabla se muestran todos los elementos necesarios para poder formar el esquema de tres bombas en paralelo, así como las pérdidas localizadas “k” que imponen al sistema. El valor total de las pérdidas localizadas está calculado según la ecuación de pérdidas localizadas del apartado anterior.

|                          | PÉRDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS |            |
|--------------------------|-------------------------------|------------|
|                          | NÚMERO DE ELEMENTOS           | K          |
| Codos a 90               | 4                             | 2,4        |
| Paso depósito a conducto | 1                             | 0,5        |
| Cono convergente         | 3                             | 0,75       |
| Cono divergente          | 3                             | 0,99       |
| Válvula compuerta        | 6                             | 1,2        |
| Válvula retención        | 3                             | 7,5        |
| TOTAL                    |                               | 1,30226254 |

*Tabla 43: Coeficientes de pérdidas localizadas para los elementos del esquema de tres bombas y el caudal punta*



### 8.3.1.2. VALORES DE LA TUBERÍA

Estos son los valores correspondientes a las pérdidas por fricción de la tubería para el caudal punta calculados conforme a la fórmula de Colebrook-White.

|                      |             |
|----------------------|-------------|
| LONGITUD TUBERIA (m) | 197         |
| $\epsilon$ (mm) PE   | 0,0025      |
| Número de Reynolds   | 299042,0624 |
| Factor de fricción   | 1,46E-02    |

En esta tabla se representa el valor de la velocidad para el caudal punta para la tubería de polietileno de alta densidad con una resistencia nominal de 0,6 atm.

| TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PE100 |             |
|---|-------------|
| CAUDAL (m3/s)                                 | 0,0528      |
| DIAMETRO TUBERIA exterior (mm)                | 250         |
| ESPESOR DE LA TUBERÍA (mm)                    | 14,8        |
| DIAMETRO TUBERIA interior (mm)                | 220,4       |
| AREA TUBERIA (m2)                             | 0,038151627 |
| VELOCIDAD TUBERÍA (m/s)                       | 1,383951468 |

*Tabla 44: Valores de cálculo para la tubería para el caudal punta*

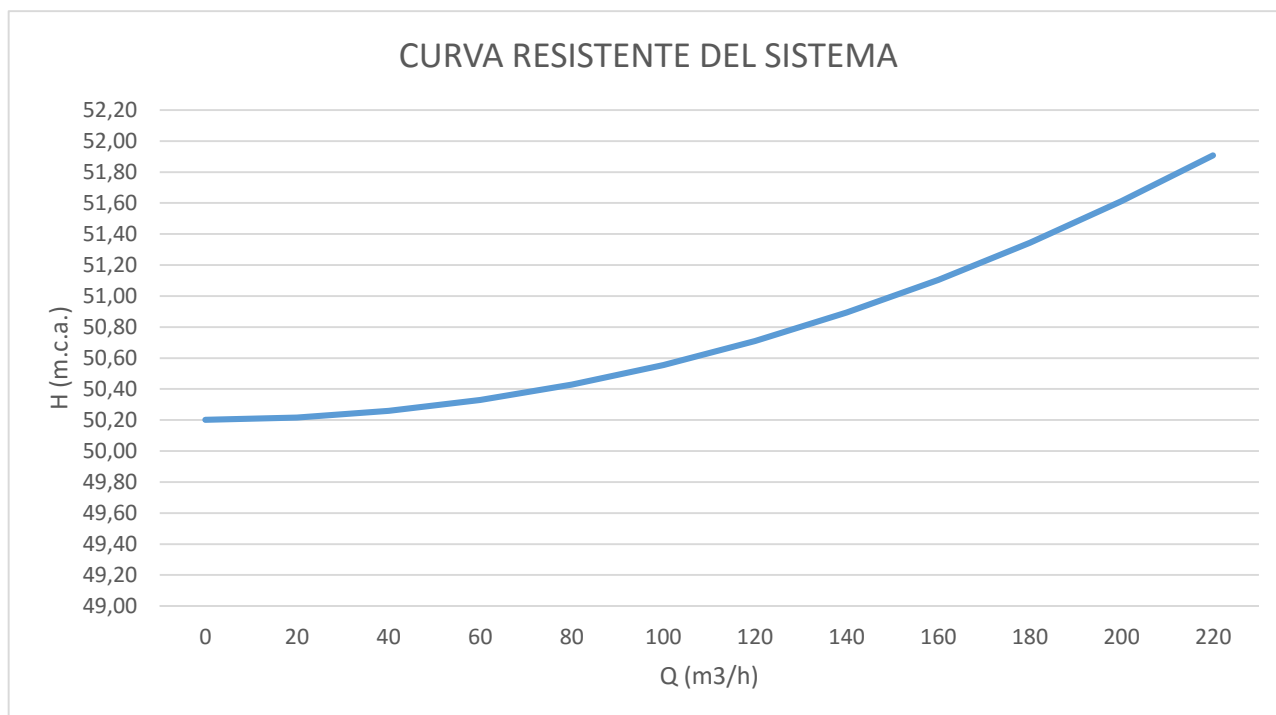
Estos valores son los mismos en las dos alternativas para el caudal punta ya que solo se tiene en cuenta la tubería de impulsión que va desde el depósito hasta el punto de abastecimiento, y en ambos casos es la misma.

### 8.3.2. CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA CON LAS PÉRDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS

Al valor correspondiente a las pérdidas por fricción de la tubería que se muestran, le hemos sumado el valor de las pérdidas localizadas por los elementos del sistema, como anteriormente hemos descrito en apartados anteriores.

| CURVA RESISTENTE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PE 100 |               |
|---|---------------|
| <b>R</b>  | 3,52372E-05   |
| <b>Q (m3/h)</b>   | <b>Hm (m)</b> |
| 0   | 50,20226      |
| 20  | 50,21636      |
| 40  | 50,25864      |
| 60  | 50,32912      |
| 80  | 50,42778      |
| 100   | 50,55463      |
| 120   | 50,70968      |
| 140   | 50,89291      |
| 160   | 51,10433      |
| 180   | 51,34395      |
| 200   | 51,61175      |
| 220   | 51,90774      |

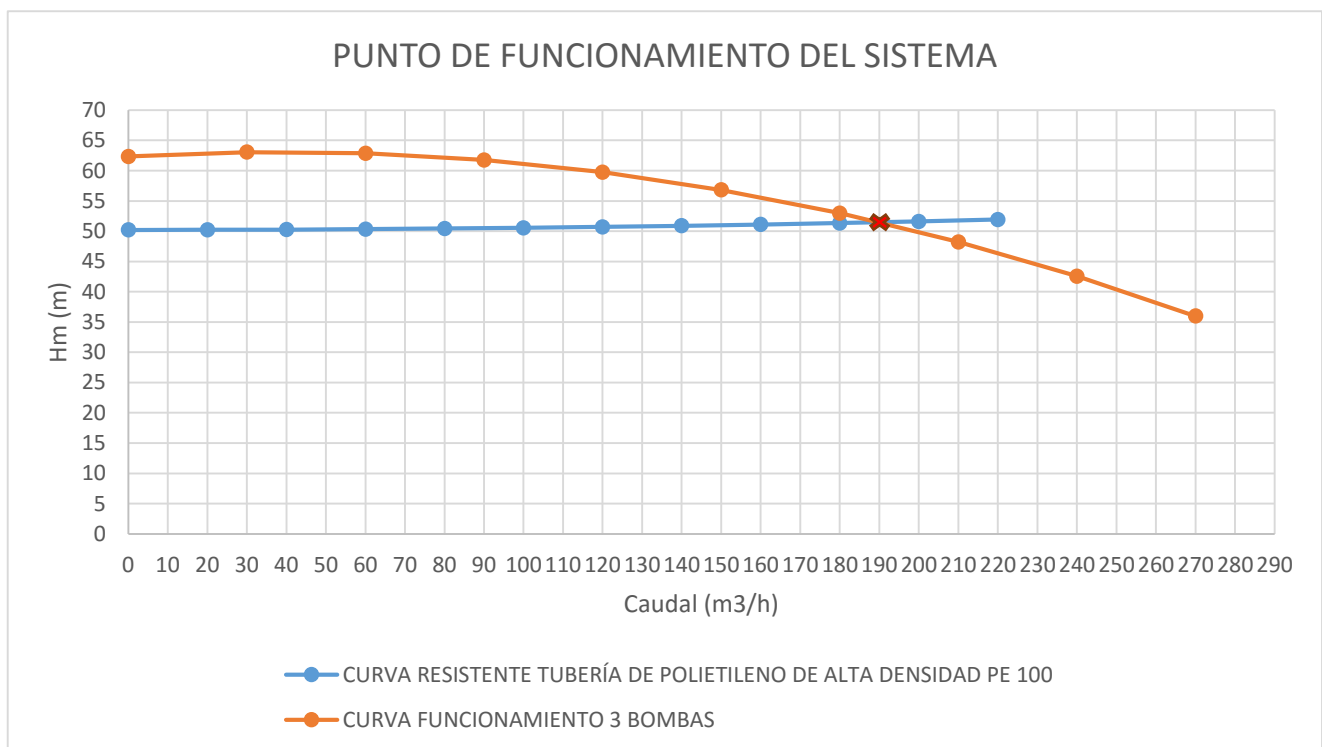
Tabla 45: Curva resistente del sistema



Gráfica 25: Curva resistente del sistema

### 8.3.3. PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PARA EL ESQUEMA DE 3 BOMBAS CON EL CAUDAL PUNTA DE 190,08 m<sup>3</sup>/h

Como hemos dispuesto de un variador de frecuencia por bomba, el punto de funcionamiento del sistema será el que nosotros necesitemos, tal como se puede observar en la siguiente gráfica.



Gráfica 26: Punto de funcionamiento del sistema

El punto de funcionamiento está marcado con una “x” roja en la gráfica, correspondiente a un caudal de 190,08 m<sup>3</sup>/h y una presión de 51 m.c.a.

### 8.3.4. CONSUMO ENERGÉTICO DEL ESQUEMA DE 3 BOMBAS PARA EL CAUDAL PUNTA DE 190,08 m<sup>3</sup>/h

Este es el máximo caudal que se da en el sistema, por lo tanto este es el máximo consumo que se nos dará en el sistema. Tal como se muestra en la tabla, la potencia de la bomba necesaria es de 39,21 kW teniendo en cuenta el rendimiento del 68% de la bomba (rendimiento óptimo).

| POTENCIA DE LA BOMBA                  |             |
|---------------------------------------|-------------|
| DENSIDAD DEL AGUA (N/m <sup>3</sup> ) | 9800        |
| CAUDAL MEDIO (m <sup>3</sup> /s)      | 0,0528      |
| P. AL INICIO DE LA RED (mca)          | 48,9        |
| ALTURA PERDIDAS (mca)                 | 1,27313286  |
| ALTURA DE PÉRDIDAS LOCALIZADAS (mca)  | 1,30226254  |
| ALTURA DE PÉRDIDAS TOTAL (mca)        | 2,5753954   |
| ALTURA TOTAL (mca)                    | 51,4753954  |
| POTENCIA DE LA BOMBA (kW)             | 39,20971707 |

Tabla 46: Potencia de las bombas para el caudal punta

## 9. GOLPE DE ARIETE

Con las condiciones de funcionamiento de la tubería, vistas anteriormente, es necesario conocer cuáles serán las sobrepresiones y depresiones a las que será sometida la tubería, cuando se produzca una variación repentina del régimen de circulación del agua a través de la tubería, ya sea por corte del suministro eléctrico en los motores de la impulsiones, o por maniobras bruscas de la válvula.

- CONCEPTO DEL GOLPE DE ARIETE
  - Fenómeno transitorio que ocurre en una conducción forzada al producirse una variación de la velocidad de circulación del líquido, originando una onda de presión por compresión del fluido y dilatación de la conducción, que se propaga por la tubería y se amortigua con el tiempo.
  - El valor máximo de la sobrepresión puede producir roturas si no se tiene en cuenta este fenómeno en su dimensionamiento.
  - El valor mínimo de la sobrepresión podría originar presiones inferiores a la atmosférica e incluso la rotura de la vena líquida

➤ NATURALEZA ONDULATORIA DEL PROBLEMA.

El golpe de ariete es resultado de la propagación de dos ondas desde los extremos de la conducción, una hacia aguas arriba y otra hacia aguas abajo.

La celeridad, la velocidad de propagación de la onda, se define según la fórmula:

|  |
|--|
| D = diámetro interior (o medio)        |
| e = espesor                            |
| K = constante que depende del material |

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + k \frac{D}{e}}} \quad (\text{m/s})$$

| Material     | K      |
|--------------|--------|
| HDPE         | 111.11 |
| PVC          | 33.3   |
| PRV          | 6.6    |
| Fibrocemento | 5.56   |
| Hormigón     | 5      |
| Fundición    | 1      |
| Acero        | 0.5    |

Tabla 47: Valores de k para los distintos materiales de construcción de las tuberías.

El fenómeno se caracteriza por una transformación alternativa de la energía cinética del fluido en energía elástica que almacenará tanto el fluido como las paredes de la propia tubería.

El período es de  $4L/a$ , de forma que el tiempo recorrido por la onda de presión (ida y vuelta de una onda positiva o negativa) se define por:

$$T_0 = \frac{2L}{a}$$

➤ MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO.

➤ Cierre rápido: Fórmula de Allievi.

Tiempo de cierre (T) inferior al tiempo de recorrido de la onda ( $T_0$ ), cierre rápido o conducción larga.

$$T < T_0 = \frac{2L}{a} \quad \Delta H = \frac{aV}{g} \quad L_{\text{transición o crítica}} = \frac{aT}{2}$$

➤ Cierre lento: fórmula de Michauld.

Tiempo de cierre (T) superior al tiempo de recorrido de la onda (T<sub>0</sub>), cierre lento o conducción corta.

$$T > T_0 = \frac{2L}{a} \quad \Delta H = \frac{2Lv}{gT}$$

➤ Impulsiones. Fórmula de Mendiluce.

Tiempo de parada de la bomba:

$$T = C_1 + C_2 \frac{Lv}{gH_m}$$

|                       |    |    |     |     |     |    |
|-----------------------|----|----|-----|-----|-----|----|
| H <sub>m</sub> /L (%) | 10 | 20 | 25  | 30  | 35  | 40 |
| C <sub>1</sub>        | 1  | 1  | 0.8 | 0.5 | 0.4 | 0  |

Tabla 48: Obtención del valor de C1

|                |      |      |          |      |       |
|----------------|------|------|----------|------|-------|
| L (m)          | <500 | 500  | 500-1500 | 1500 | >1500 |
| C <sub>2</sub> | 2    | 1.75 | 1.50     | 1.25 | 1     |

Tabla 49: Obtención del valor de C2

Vamos a realizar el cálculo del golpe de ariete para la situación más desfavorable. Esta situación sería que hubiese un corte eléctrico y se dejase de bombear de forma instantánea durante el caudal punta.

| GOLPE DE ARIETE       |            |
|-----------------------|------------|
| H <sub>m</sub> (mca)  | 51,34458   |
| Velocidad (m/s)       | 1,38395147 |
| Longitud tubería (m)  | 197        |
| Diámetro exterior (m) | 0,25       |
| Diámetro interior (m) | 0,2308     |
| Espesor               | 0,0096     |
| K                     | 111,11     |

| CELERIDAD                    |            |
|------------------------------|------------|
| a (m/s)                      | 189,838856 |
| PERIODO                      |            |
| T <sub>0</sub> (s)           | 2,07544445 |
| TIEMPO DE PARADA DE LA BOMBA |            |
| H <sub>m</sub> /L (%)        | 26,06%     |
| C <sub>1</sub>               | 0,7        |
| C <sub>2</sub>               | 2          |
| T (s)                        | 1,78256372 |

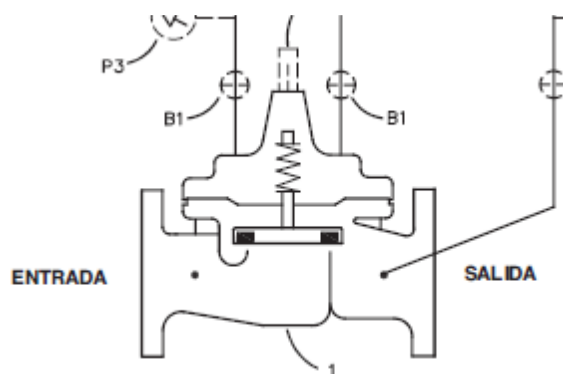
| Cierre rápido                     |            |
|-----------------------------------|------------|
| ΔH                                | 26,7816272 |
| L <sub>transición o crítica</sub> | 169,199928 |

| Presión máxima                          |            |
|---|------------|
| H <sub>max</sub> (mca)                  | 78,1262072 |
| H <sub>max</sub> (KgF/cm <sup>2</sup> ) | 7,81262072 |

| Presión nominal tubería |    |
|-------------------------|----|
| PN (mca)                | 62 |

Tal como se puede observar en los cálculos realizados, la presión máxima que se produciría es de 78,13 m.c.a. y la presión nominal máxima de la tubería es de 62 m.c.a. con lo que con total seguridad se produciría el fenómeno de golpe de ariete, ya que la sobrepresión producida por el mismo supera la resistencia de la tubería.

Para evitar una posible rotura de la conducción de impulsión vamos a instalar al inicio de la misma una válvula hidráulica de diafragma antiariete.



*Ilustración 5: Detalle de una válvula antiarrete de diafragma*

Las válvulas de alivio de sobre presión (también llamadas anti golpe de ariete) son una eficaz protección contra las presiones excesivas de línea eliminando, por tanto, el posible golpe de ariete en las conducciones de agua. La válvula está prefijada a una presión de desalojo determinada, normalmente entre un 5 y 10% por encima de la presión de trabajo en línea; cuando la presión llega al límite prefijado, la válvula realiza la apertura y descarga de caudal de agua a la atmósfera. Con este sencillo principio de operación se consigue evitar los excesos de presión en las conducciones de agua.

Para nuestro caso prefijaremos la presión de desalojo a 61 m.c.a. La válvula estará dispuesta a la salida del grupo de bombeo, conectada mediante una 'T' de polietileno a la tubería de impulsión y la descarga de caudal en el caso de producirse un golpe de ariete la verteremos al alcantarillado.



## 10. RESUMEN DE LAS ALTERNATIVAS

Las dos alternativas que hemos propuesto anteriormente son iguales desde el punto de vista de la construcción del depósito, la tubería de impulsión y la fuente de abastecimiento.

El factor diferenciador entre las dos es el esquema utilizado para el grupo de bombeo, la primera utilizando dos bombas en paralelo y la segunda utilizando tres bombas en paralelo. Ambas propuestas tienen en común que tienen una bomba de más por temas de posibles averías en el futuro para que no se detenga el suministro de agua.

Las bombas en ambas alternativas están elegidas en base al caudal más repetido durante el día, ya que va a ser el que más se va a utilizar y por lo tanto el que mejor debe estar adaptado en términos de rendimiento de la bomba. En cuanto al caudal punta también es de importancia que la bomba este trabajando en valores próximos al de máximo rendimiento. Para el caudal valle la bomba no funciona dentro del rango de mejores rendimientos, pero mirándolo desde el punto de vista del consumo energético son las horas del día en que menos se consume ya que el caudal a bombear es mucho menor.

### 10.1. RENDIMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS

En la siguiente tabla vamos a mostrar los rendimientos de la bomba en ambas propuestas para los tres caudales mencionados en el párrafo anterior:

|                  | Nº DE BOMBAS | RENDIMIENTO CAUDAL PUNTA | RENDIMIENTO CAUDAL VALLE | RENDIMIENTO CAUDAL MÁS REPETIDO |
|------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| ALTERNATIVA Nº 1 | 2            | 75%                      | 60%                      | 75,7%                           |
| ALTERNATIVA Nº 2 | 3            | 68%                      | 50%                      | 67,3%                           |

Tabla 50: Rendimiento de las bombas en cada alternativa

Tal como se puede observar en la anterior tabla, la mejor alternativa de las dos propuestas es la Nº1, dos bombas en paralelo, puesto que en cada uno de los tres caudales característicos tiene unos rendimientos de la bomba, o de las bombas en el caso del caudal punta, mayores que la alternativa Nº2 de tres bombas en paralelo.

Además de lo expuesto en el tema del rendimiento, el esquema de dos bombas en paralelo es más simple que el de tres bombas, con la reducción de elementos que ocasionan pérdidas localizadas al sistema como válvulas de compuerta, válvulas de retención, codos, ensanches, etc.

## 10.2. CONSUMO DE LAS ALTERNATIVAS

En la siguiente tabla se muestran los consumos energéticos para los tres caudales característicos durante una hora de duración de los mismos:

|                  | Nº DE BOMBAS | CONSUMO CAUDAL PUNTA (kWh) | CONSUMO CAUDAL VALLE (kWh) | CONSUMO CAUDAL MÁS REPETIDO (kWh) |
|------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| ALTERNATIVA Nº 1 | 2            | 35,1482                    | 5,2427                     | 16,8326                           |
| ALTERNATIVA Nº 2 | 3            | 38,8492                    | 6,2662                     | 18,9438                           |

Tabla 51: Consumo energético de las alternativas

Tal como era de esperar a la luz de los resultados de la tabla de rendimientos, la alternativa Nº1 de dos bombas funcionando en paralelo es la que menor consumo energético presenta en los tres casos.

Este resultado es debido a que tiene mejor rendimiento que la alternativa Nº2 y porque el esquema al ser más sencillo presenta menos pérdidas de carga localizadas, ya que como anteriormente se ha dicho en otros apartados las pérdidas de carga por fricción son las mismas en ambas alternativas, al tratarse de que ambas comparten la misma tubería de impulsión.

## 10.3. PERDIDAS DE CARGA DE LAS ALTERNATIVAS

En la siguiente tabla se muestran los resultados de las pérdidas de carga localizadas para cada uno de los tres caudales (punta, valle y más repetido) para cada una de las alternativas.

|                  | Nº DE BOMBAS | PÉRDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS CAUDAL PUNTA (m.c.a.) | PÉRDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS CAUDAL VALLE (m.c.a.) | PÉRDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS CAUDAL MÁS REPETIDO (m.c.a.) |
|------------------|--------------|---|---|--|
| ALTERNATIVA Nº 1 | 2            | 0,9742  | 0,0149  | 0,2413   |
| ALTERNATIVA Nº 2 | 3            | 1,0829  | 0,0194  | 0,2682   |

Tabla 52: Pérdidas de carga localizadas de cada alternativa

Como hemos dicho anteriormente, las pérdidas de carga del esquema de tres bombas son mayores al del esquema de dos bombas por tener más elementos que producen pérdidas de carga localizadas del sistema.

