



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

Diseño de una impulsión por bombeo para el suministro de agua a las urbanizaciones de Nova Xàbia, La Plana y La Corona, en Jávea (Alicante)

RESUMEN

El objeto de este proyecto es el diseño y dimensionado de una impulsión de bombeo de agua potable entre dos depósitos situados en el término municipal de Jávea (Alicante). Con ello se pretende abastecer a tres urbanizaciones de este municipio (Nova Xàbia, La Plana y La Corona).

Para ello, se estudian los posibles trazados para la conducción, así como las distintas alternativas en cuanto a las bombas necesarias y el tiempo que deben estar en funcionamiento a lo largo del día, teniendo en cuenta las tarifas eléctricas de discriminación horaria. También se dimensiona el depósito de cabecera, que es donde se almacenará el agua bombeada a la espera de ser suministrada a la población.

Por otra parte, se evalúan los costes de inversión de los elementos que forman la estación de bombeo, así como de las obras a efectuar para la colocación de la tubería. Teniendo en cuenta la amortización de dicha inversión y los costes energéticos derivados del funcionamiento de las bombas, se determina el diámetro más económico para la conducción.

Además, se realiza un análisis de los transitorios hidráulicos para saber cómo afectan a la integridad de la instalación y en consecuencia se diseñan los accesorios necesarios para protegerla de este fenómeno.

Palabras Clave: abastecimiento, bombeo, impulsión, agua potable, depósito de regulación, conducción de agua, diámetro económico, transitorio hidráulico, golpe de ariete, calderín.

RESUM

La finalitat d'aquest projecte és el disseny i dimensionament d'una impulsió de bombament d'aigua potable entre dos dipòsits situats al terme municipal de Xàbia (Alacant). Així, es pretén abastir tres urbanitzacions d'aquest municipi (Nova Xàbia, La Plana i La Corona).

Per tal d'aconseguir-ho, s'estudien els possibles traçats per a la conducció, així com les diferents alternatives quant a les bombes necessàries i el temps que han d'estar en funcionament al llarg del dia, tenint en compte les tarifes elèctriques de discriminació horària. També es dimensiona el dipòsit de capçalera, on s'emmagatzemarà l'aigua bombada a l'espera de ser subministrada a la població.

D'altra banda, s'avaluen els costos d'inversió dels elements que formen l'estació de bombament, així com de les obres a efectuar per a la col·locació de la canonada. Tenint en compte l'amortització d'aquesta inversió i els costos energètics derivats del funcionament de les bombes, es determina el diàmetre més econòmic per a la conducció.

A més, es realitza un anàlisi dels transitoris hidràulics per saber com afecten a la integritat de la instal·lació i en conseqüència es dissenyen els accessoris necessaris per protegir-la d'aquest fenomen.

Paraules clau: abastiment, bombament, bombeig, impulsió, aigua potable, dipòsit de regulació, conducció d'aigua, diàmetre econòmic, transitori hidràulic, colp d'ariet, calderín.

ABSTRACT

The purpose of this project is to design and size a water pump impelling between two water tanks located at Jávea (Alicante). The aim is to provide water to three residential areas in this town (Nova Xàbia, La Plana and La Corona).

In order to achieve this, several piping route alternatives must be considered, as well as different alternatives regarding pumps and the amount of working time they need throughout the day, taking electric rates into account. The head tank is also to be sized, and it is where pumped water is stored before it is supplied.

Moreover, the investment costs of pumping station elements as well as the costs of construction tasks related to the pipe placing must be assessed. Taking into consideration this investment's repayment and the energetic costs due to pump operating, the pipe's economic diameter is determined.

In addition, a hydraulic transient analysis is carried out in order to know how the facilities' integrity is affected and therefore required accessories are to be designed to protect them.

Keywords: water supply, water provision, pumping, drinkable water, water impelling, head water tank, piping, economic diameter, hydraulic transient, water hammer.

Diseño de una impulsión por bombeo para el suministro de agua a las urbanizaciones de Nova Xàbia, La Plana y La Corona, en Jávea (Alicante)

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

- Memoria
- Presupuesto
- Planos

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ALCANCE Y JUSTIFICACIÓN.....	1
1.2. OBJETIVO.....	1
1.2.1. Objetivos generales	1
1.2.2. Objetivos específicos	1
1.3. ANTECEDENTES	2
2. METODOLOGÍA DE TRABAJO	3
2.1. ANÁLISIS TOPOGRÁFICO DE LA ZONA.....	3
2.1.1. Obtención de la cartografía	3
2.1.2. Estudio topográfico de la zona	3
2.1.3. Elaboración de los trazados	4
2.2. FUNDAMENTO TEÓRICO DEL DISEÑO DE ADUCCIONES.....	4
2.2.1. Criterio clásico.....	4
2.2.2. Prediseño	8
2.2.3. Definición de costes	9
2.2.4. Selección del diámetro óptimo	10
2.2.5. Tarifas eléctricas	11
2.2.6. Obtención del volumen de regulación.....	12
2.2.7. Definición de zanja tipo	12
2.2.8. Transitorios hidráulicos.....	13

3. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES	16
3.1. ALTERNATIVAS DE TRAZADO	16
3.2 DISEÑO DE LA ADUCCIÓN	17
3.2.1. Caudal de diseño y diámetro teórico.....	17
3.2.2. Selección de la bomba	17
3.2.3. Cálculo del depósito de regulación.....	23
3.2.4. Costes de inversión	25
3.2.5. Costes energéticos.....	31
3.2.6. Determinación del diámetro óptimo	32
3.3. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	33
3.3.1. Selección del grupo de bombeo	33
3.3.2. Estudio energético final	34
3.3.3. Coste final de la conducción	34
3.3.4. Costes de obra civil	34
3.3.5. Depósito de regulación	35
3.3.6. Análisis del transitorio hidráulico	35
4. RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	39
5. CONCLUSIONES.....	40
6. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	42

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS	1
2. MEDICIONES Y PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....	6
3. PRESUPUESTO FINAL.....	7

ÍNDICE DE LOS PLANOS

1. EMPLAZAMIENTO
2. TRAZADOS EN PLANTA DE LAS ALTERNATIVAS ESTUDIADAS
3. PERFIL LONGITUDINAL DEL TRAZADO SELECCIONADO PARA LA CONDUCCIÓN
4. ESQUEMA HIDRÁULICO

MEMORIA

Diseño de una impulsión por bombeo para el suministro de agua a las urbanizaciones de Nova Xàbia, La Plana y La Corona, en Jávea (Alicante)

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ALCANCE Y JUSTIFICACIÓN

El alcance del presente proyecto comprende la realización de las obras e instalaciones necesarias para la puesta en marcha de una estación de bombeo para el abastecimiento de agua potable de tres urbanizaciones en la localidad de Jávea, provincia de Alicante.

Este proyecto se justifica en la intención de satisfacer la demanda de agua potable de las urbanizaciones de Nova Xàbia, La Plana y La Corona. La necesidad de este proyecto se hace patente atendiendo a la elevada cota a la que se encuentran estas urbanizaciones (por encima de los 100 msnm), que dificulta en gran medida la obtención de agua por otras vías. De esta manera, se hace un aprovechamiento de la existencia del depósito del Calvario, situado en el corazón urbano de Jávea, para conseguir realizar el suministro a una parte de su población.

1.2. OBJETIVO

1.2.1. Objetivos generales

Abastecer de agua potable a tres urbanizaciones de Jávea mediante la construcción de una estación de bombeo.

1.2.2. Objetivos específicos

Diseñar y construir una estación de bombeo de agua potable que conecte el depósito del Calvario, situado a 77 msnm, con un depósito de regulación o cabecera situado a 205 msnm para poder abastecer en cascada a las urbanizaciones de Nova Xàbia, La Plana y La Corona. Para ello es necesario:

- Seleccionar el trazado adecuado para la conducción, analizando varias alternativas.
- Seleccionar una o varias bombas encargadas de impulsar el agua desde el depósito del Calvario y dimensionar el depósito de regulación para así poder encontrar el diámetro económicamente óptimo de la conducción que ha de trasegar el agua.
- Analizar los transitorios hidráulicos y el efecto que tienen sobre la instalación, para poder elegir la valvulería y accesorios hidráulicos necesarios para asegurar el correcto funcionamiento de todo el sistema de bombeo.

1.3. ANTECEDENTES

El proyecto tiene lugar en el municipio de Jávea, al norte de la provincia de Alicante. Se trata de una población costera con 27.681 habitantes y una extensión de 68,59 km².

Es una ciudad con una importante actividad turística estival, por lo que sufre una gran variación en el número de habitantes entre los meses de invierno y verano. Esto es muy relevante ya que supone una alta fluctuación en el volumen de agua demandado por la población a lo largo del año. Para cuantificar estos cambios, se han obtenido los datos del volumen de agua facturado por bimestres en las tres urbanizaciones a abastecer.

El centro urbano de Jávea se encuentra en un valle que se extiende entre el Parque Natural del Montgó al norte, del que cabe destacar está formado por el macizo del Montgó (cuya altitud es de 753 msnm) y una altiplanicie conocida como Les Planes (cuya altitud oscila entre los 150 y los 220 msnm dependiendo de la zona), y las estribaciones del cabo de la Nao al sur (con una altitud que ronda los 120 msnm).

Las tres urbanizaciones en cuestión están situadas en la zona de Les Planes, y debido a la ubicación de cada una y a cómo está establecida la red hidráulica que las conecta entre ellas, se realizará un abastecimiento en cascada partiendo del depósito de cabecera. Una vez construido dicho depósito, en primer lugar se abastece la urbanización de Nova Xàbia, seguida por la de La Plana y en último lugar la de La Corona.

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

2.1. ANÁLISIS TOPOGRÁFICO DE LA ZONA

2.1.1. Obtención de la cartografía

Para la realización del análisis topográfico de la zona en la que se ejecuta el proyecto, se ha utilizado material cartográfico procedente del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Dicho material está formado por ficheros digitales de carácter geográfico generados por la Dirección General del © Instituto Geográfico Nacional (IGN) [1].

2.1.2. Estudio topográfico de la zona

La zona en que se realiza el proyecto está situada en el municipio de Jávea (Alicante). Más concretamente, el estudio se centra en la parte norte de Jávea, pues el trazado de la conducción se ha de extender entre el depósito del Calvario (situado al norte del centro urbano) y el depósito de cabecera a diseñar (situado en la zona de Las Planas, en el Parque Natural del Montgó). El trazado se adentra en éste por la falda meridional de dicho parque natural.

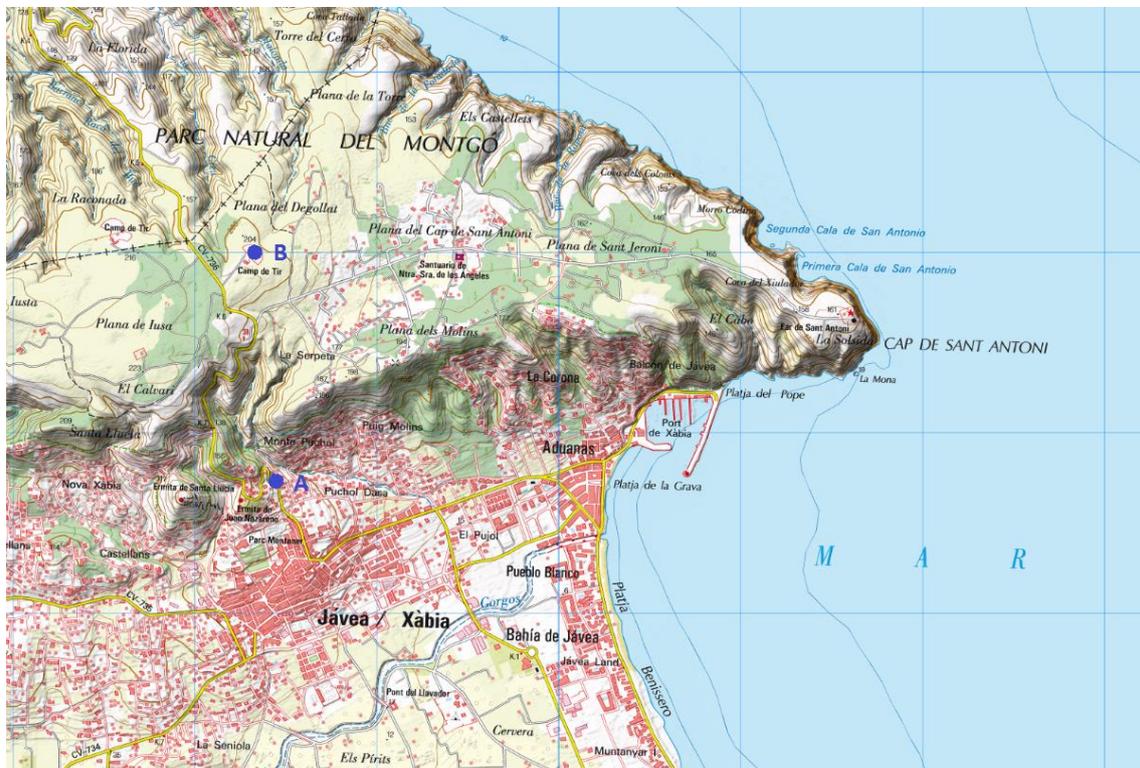


Figura 2.1 Plano de situación de los puntos inicial y final del trazado en el municipio de Jávea. El depósito del Calvario está situado en el punto A, mientras que el depósito de regulación se construirá en el punto B (obtenido del CNIG)

Como el depósito de cabecera y parte del trazado se han de emplazar en un espacio considerado como Parque Natural, se ha consultado la normativa vigente para comprobar si está permitida la ejecución del proyecto [2] y [3]. En el Parque Natural se distinguen tres zonas: de uso moderado, uso especial y uso restringido. La ubicación donde se pretende llevar a cabo el proyecto está en una zona de uso moderado, por lo que como la instalación en cuestión desempeña una actividad de abastecimiento de agua no existen impedimentos legales a su construcción.

A pesar de ser Jávea una población costera, lo que normalmente se traduce en una muy baja altitud, su colindancia con un accidente geográfico como el macizo del Montgó hace que la orografía del terreno sea más compleja. Debido a esto, el tramo que une nuestros dos puntos de interés tiene una fuerte pendiente: el depósito de aspiración desde el que se realizará el bombeo está situado a 77 msnm, mientras que el punto donde se construirá el depósito de regulación se encuentra a 205 msnm. Así pues, si se tomase un trazado en línea recta, su longitud sería de 1266,3 m, por lo que la pendiente sería del 10,11%.

2.1.3. Elaboración de los trazados

Para elaborar las distintas alternativas de trazado se seguirán diferentes criterios de diseño:

- **Longitud del trazado.** Reduciéndola se consigue reducir el coste de la obra, ya que se necesitan menos metros de tubería y de zanja. Además, cuanto menor es la longitud de la tubería, menores son las pérdidas de carga que debe vencer el grupo de bombeo, por lo que se pueden utilizar bombas de menor potencia y, por tanto, de menor coste.
- **Existencia de presiones negativas.** En caso de haber tramos del trazado que por su pendiente generen presiones negativas, éstas pueden dar lugar a problemas de cavitación.
- **Facilidad de acceso para mantenimiento.** Una vez toda la instalación esté en funcionamiento, si surge la necesidad de hacer reparaciones en el trazado, será de gran importancia que se posibilite la realización de estas labores con el menor número de obstáculos y en el menor tiempo posible.

2.2. FUNDAMENTO TEÓRICO DEL DISEÑO DE ADUCCIONES

2.2.1. Criterio clásico

La tarea de proyectar y dimensionar los sistemas de aducción conlleva plantear distintas cuestiones a resolver, que en general no son independientes entre ellas y que por tanto hay que revisar continuamente a lo largo del proceso de diseño. Éstas son las siguientes [4]:

- Elección del trazado de la conducción, que es lo primero que se llevará a cabo.
- Determinación del caudal de diseño.
- Determinación del diámetro capaz de trasegar el caudal de diseño con un coste económico global mínimo.

Como los criterios de selección del trazado ya han sido explicados en el punto 2.1.3., se procede a explicar el desarrollo a seguir en los otros dos problemas del proceso de diseño.

En primer lugar se debe decidir qué sistema de impulsión se va a emplear en el proyecto. A continuación se exponen los tres tipos de diseño posibles que se han considerado:

- **Inyección directa.** En este sistema, se bombea agua directamente a la red de consumo que se desea abastecer (Figura 2.2). Por tanto, el caudal de bombeo será variable en el tiempo y se ajustará al caudal demandado por la red, como se muestra en la expresión (2.1):

$$Q_b(t) = Q_d(t) \quad (2.1)$$

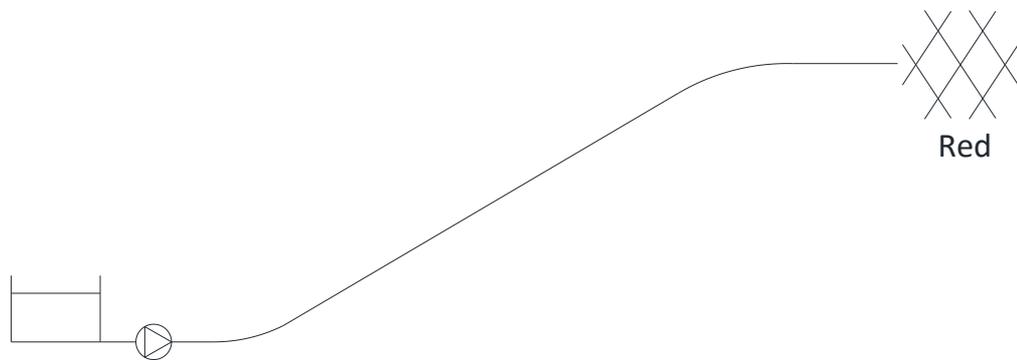


Figura 2.2 Esquema de trazado en inyección directa

Esta opción presenta una serie de problemas relacionados con la variabilidad del caudal de bombeo.

Por un lado, el hecho de que el caudal de bombeo dependa directamente de la demanda, al sufrir ésta una gran variación a lo largo del año se tienen grandes cambios en el caudal a impulsar. Esto conlleva tener una bomba sobredimensionada para la mayor parte del año o varias bombas de las cuales algunas no se utilizarían más que unos pocos meses al año.

Por otra parte, que el funcionamiento del grupo de bombeo se ajuste a la demanda de manera instantánea implica que tenga que funcionar a cualquier hora del día. Esto supone un incremento en los costes energéticos por estar consumiendo energía eléctrica en todas las franjas de discriminación horaria (horas valle, horas llano y horas punta, siendo éstas las que más penalizan el consumo por ser las más caras).

Además, una vez seleccionado el grupo de bombeo que utilizará la instalación, como el rendimiento de cada bomba depende del punto de funcionamiento de ésta y, por tanto, del caudal que esté impulsando, si el caudal de bombeo varía a lo largo del día también lo hará el rendimiento del grupo de bombeo (Figura 2.3). Así, la potencia consumida será mayor y esto encarecerá los costes energéticos.

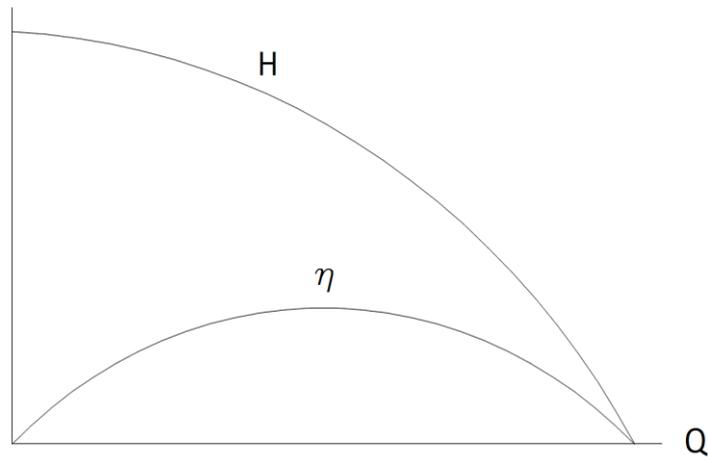


Figura 2.3 Curvas de rendimiento y altura en función del caudal de la bomba

- **Impulsión contra depósito.** En este sistema, se bombea agua a un depósito de regulación o cabecera. Una vez en el depósito, el agua se distribuye a la red desde éste (Figura 2.4).

A pesar de que en este caso sigue existiendo una dependencia entre la demanda de la red y el caudal que debe aportar el grupo de bombeo, la existencia del depósito permite mantener un caudal de bombeo constante a lo largo del día (y del año) independientemente de cuál sea el caudal demandado por la red en cada instante (2.2).

$$Q_b(t) = cte \quad (2.2)$$

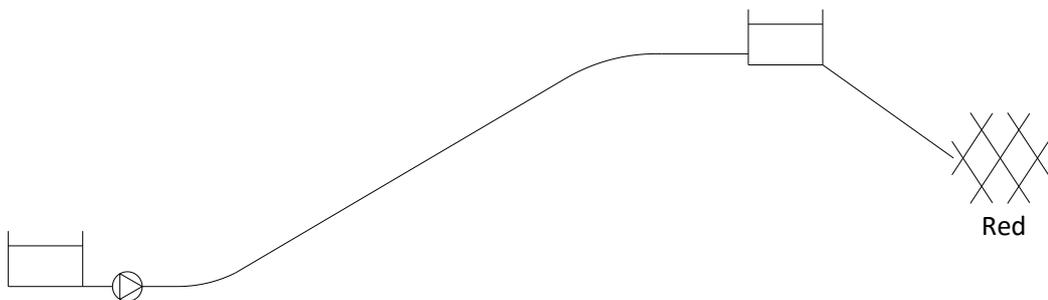


Figura 2.4 Esquema de trazado en impulsión contra depósito

El uso de este sistema presenta la ventaja de poder hacer uso de la discriminación horaria de la tarifa eléctrica. Al tener que establecer un caudal de bombeo constante, se puede establecer un determinado número de horas al día durante las cuales se bombee agua. Por tanto, si se elige cuidadosamente en qué franjas horarias tiene lugar el funcionamiento del grupo de bombeo (considerando las horas valle, horas llano y horas punta), se puede conseguir un ahorro en la factura eléctrica.

Además, el hecho de mantener un caudal de bombeo constante en el tiempo permite mantener un rendimiento elevado si se elige una bomba cuyo punto de funcionamiento se aproxime al nominal, en el que el rendimiento de la bomba es máximo. Esto redonda en una menor potencia consumida y un menor coste energético.

Como inconveniente, se necesita disponer de un volumen de regulación, por lo que se debe estudiar cuál es el volumen que requiere el depósito de cabecera para poder abastecer a la red en cualquier día de cualquier época del año. Esto implica además el coste añadido de dicho depósito.

- **Impulsión contra depósito con bomba de velocidad variable.** En esta opción el funcionamiento es muy similar al del caso anterior. La ventaja respecto al caso de usar una bomba de velocidad fija estriba en que cambiar la velocidad de giro del motor acoplado a la bomba permite mantener el máximo rendimiento de ésta aunque cambie su punto de funcionamiento. De esa manera, si el punto de funcionamiento deseado para la bomba se aleja del nominal, se puede lograr igualmente su máximo rendimiento haciendo que funcione en un punto homólogo al nominal (Figura 2.5).

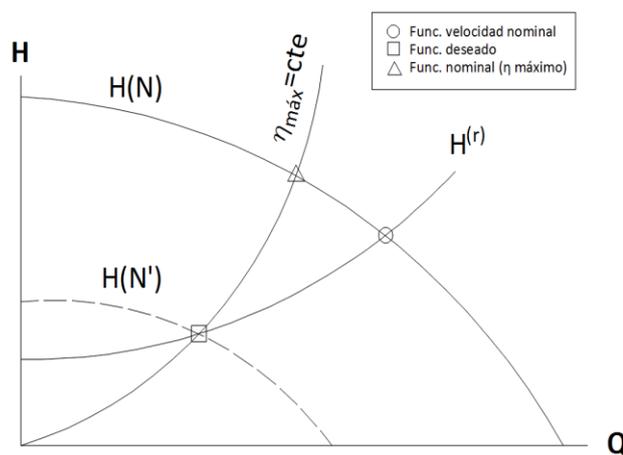


Figura 2.5 Curva de homología (isorendimiento) y altura en función del caudal. Aunque cambie la curva de funcionamiento de la bomba, si el punto de trabajo es homólogo al nominal se tiene el máximo rendimiento.

Por tanto, si se consigue mantener un rendimiento máximo el consumo de potencia es el mínimo posible, lo que se traduce en unos costes energéticos de impulsión menores.

El inconveniente de este sistema es el elevado coste adicional que supone el variador de frecuencia.

En el presente trabajo se ha optado por el sistema de impulsión contra depósito. En adelante, siempre que se haga referencia al sistema o método de impulsión en este documento, se entiende que se habla de esta opción.

2.2.2. Prediseño

Una vez establecido el método de diseño, dadas las características de éste se hace necesario conocer la demanda media de agua de la población a abastecer. Para ello, se han consultado los datos del volumen de agua facturado bimestralmente a lo largo del año 2015.

Otro elemento que se ha de conocer es el patrón de demanda. Este nos da una información muy útil en cuanto a los hábitos de consumo de agua de la población, ya que nos permite saber cómo se produce la variación del consumo a lo largo del día.

Una vez llegado este punto, se puede comenzar con el cálculo del **caudal de diseño**. Para ello hay que tener en cuenta dos consideraciones:

- La variación estacional de la demanda. Como en verano se produce un gran aumento en la demanda de agua, este cálculo se realiza con el valor del volumen más desfavorable. Éste es el del bimestre número 5, que corresponde a los meses de julio y agosto, pero su numeración se debe a que se factura en el bimestre septiembre-octubre.
- La hipótesis del número de horas de bombeo. La elección de una u otra hipótesis establecerá la cantidad de horas diarias de funcionamiento de la bomba. La cantidad de horas de cada opción y su reparto a lo largo del día vendrán condicionados por las franjas de discriminación horaria de la tarifa eléctrica. Hay que contemplar las tres en los cálculos, para poder comparar y determinar cuál resulta en un coste del proyecto más económico. A priori parece que bombear agua únicamente durante las horas en que la electricidad es más barata puede ser más ventajoso y suponer un mayor ahorro. El número de horas puede ser:
 - 8: sólo en horas valle
 - 20: evitando horas punta
 - 24: todo el día

Así pues, la expresión a utilizar para el cálculo del caudal de diseño es la que sigue:

$$Q_b \geq \frac{V_{bim-5}}{nh} \quad (2.3)$$

Siendo V_{bim-5} el volumen de agua demandada en el bimestre 5 y nh el número de horas de bombeo.

Para la hipótesis de 24 horas de funcionamiento, se multiplicará la expresión 2.3 por un factor de 1,05 como medida de seguridad para evitar que pudiera obtenerse un número de horas de bombeo diarias mayor a 24 en cálculos posteriores.

Obtenido este valor para cada hipótesis, se procede al cálculo del **diámetro teórico** de la tubería de impulsión. Para ello se ha empleado un diseño funcional, asumiendo una velocidad constante del agua dentro de la conducción de 1 m/s. Tras tomar este valor de partida, no es necesario repetir el cálculo corrigiendo el valor de la velocidad pues en la realidad es muy próximo a 1 m/s, por lo que no supone una variación importante del resultado obtenido.

Expresando el caudal de diseño como el producto de la sección de la tubería por la velocidad del agua:

$$Q_b = \frac{\pi D_t^2}{4} v \quad (2.4)$$

A partir de la expresión anterior (2.4), podemos obtener el diámetro teórico de la tubería:

$$D_t = \sqrt{\frac{4Q_b}{\pi v}} \quad (2.5)$$

Partiendo de un caudal de diseño para cada hipótesis, se obtienen tres diámetros teóricos. Para cada uno de los valores resultantes de D_t , se procede a tomar dos diámetros nominales superiores y dos diámetros nominales inferiores a éste.

La obtención de los valores del **diámetro nominal** se ha realizado a partir de la normativa correspondiente [5]. Dado que en cuanto al material en este proyecto se opta por utilizar tuberías de fundición de hierro, los valores nominales se eligen de la serie correspondiente a diámetros interiores (DN/ID).

De este modo, se tienen cuatro alternativas de diseño para cada hipótesis horaria de trabajo. A continuación, se procede a calcular la **altura de bombeo** necesaria para cada una de las alternativas. En este caso, se hace mediante la expresión de la curva de la altura resistente de la instalación, que no es otra que la altura que debe vencerse:

$$H_b \equiv H^{(r)} = H_g + \frac{8fL}{\pi^2 g D^5} Q_b^2 \quad (2.6)$$

Donde el primer sumando representa el desnivel geométrico entre el depósito de aspiración y el de cabecera, y el segundo representa las pérdidas de carga de la tubería a vencer por el grupo de bombeo. Dentro del segundo sumando, f representa el factor de fricción de la tubería, L la longitud de la tubería, D el diámetro (nominal) de la misma y g la aceleración de la gravedad.

A partir de este momento, se tienen todos los datos necesarios para iniciar el proceso de selección de bomba para cada alternativa y poder comparar los costes de éstas. Dicho proceso se explica detalladamente en el apartado 3.2.2 de esta memoria.

2.2.3. Definición de costes

En general, los costes de un sistema de elevación se pueden dividir en costes de inversión y costes de explotación y mantenimiento.

Los costes de inversión comprenden principalmente los costes de: tuberías, movimientos de tierra, reposición de pavimentos, estación de bombeo, accesorios hidráulicos y depósito de regulación.

Los costes de explotación se refieren al coste de la energía eléctrica consumida por el grupo de bombeo, de la potencia contratada y de las inversiones en mantenimiento y conservación.

Los costes de inversión se producen en el momento se acomete la construcción de la instalación, mientras que los costes de explotación y mantenimiento se distribuyen a lo largo

del tiempo. Por ello, para poder compararlos aunque estén desfasados en el tiempo, se ha decidido seguir el criterio de actualizar todos los costes con referencia a un año 0 [4].

Para ello, en el proceso de selección de la mejor alternativa para el proyecto se aplica un factor de amortización a sobre los costes de inversión:

$$a = \frac{t(1+t)^n}{(1+t)^n - 1} \quad (2.7)$$

Siendo t la tasa de interés anual y n el período de amortización.

Para la tasa de interés anual se ha tomado un valor del 3%, considerando así la inflación de los precios a lo largo de los años. El período de amortización se ha escogido basándose en el período de vida útil desde el punto de vista fiscal que se contempla legalmente. Así, se han tomado los valores recogidos en la tabla 2.1:

Tabla 2.1 Períodos de amortización empleados

Partida	Período de amortización (años)
Zanja	30
Depósito	30
Bomba(s)	18

2.2.4. Selección del diámetro óptimo

Una vez seleccionada la o las bombas para las doce alternativas, se puede realizar el análisis energético de cada alternativa. Así, se obtienen los costes energéticos anuales como la suma del coste debido a la potencia contratada y el coste debido al consumo eléctrico.

En el capítulo 3 de esta memoria (Análisis de las soluciones) se muestra que realmente sólo se profundiza en cuatro alternativas. En él se dan razones específicas para esto.

Por otra parte, cuando además se conozca el depósito necesario para cada alternativa, se pueden obtener los costes anuales de amortización como la suma de los respectivos costes de la zanja, el grupo de bombeo y el depósito de regulación.

Es en este punto cuando se puede determinar el diámetro óptimo de la conducción, que será aquel cuya alternativa tenga el menor coste global. Es importante recordar que el diámetro óptimo implicará una hipótesis de horas de bombeo concreta.

El proceso de selección del diámetro óptimo es por tanto función del coste global, como queda ilustrado en el diagrama de la figura 2.6.

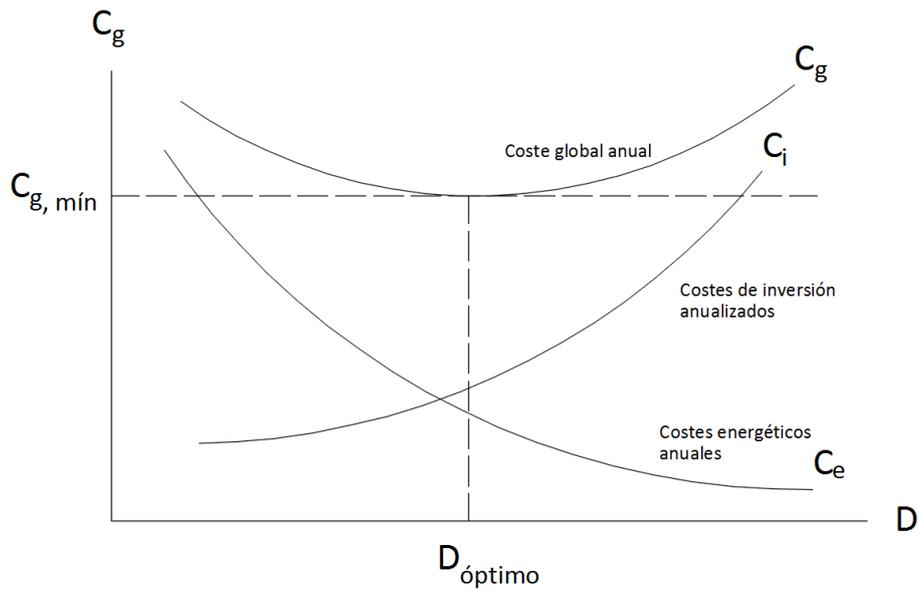


Figura 2.6 Diagrama del dimensionado óptimo

Se trabajará con tuberías de fundición PN-16, cuya presión nominal es de 16 atmósferas o 160 m. Se ha elegido este material por su buena resistencia. Por otra parte, la elección de esta presión nominal se debe a la facilidad que otorga para encontrar accesorios hidráulicos compatibles, ya que su uso está muy extendido.

2.2.5. Tarifas eléctricas

Para el desarrollo del cálculo de los costes de explotación, se han utilizado como datos los precios regulados de la electricidad para el año 2015, consultados a Iberdrola.

Se ha trabajado con la tarifa 3.0A, que es para alta tensión con potencias eléctricas contratadas superiores a 15 kW. Además, es una tarifa con triple discriminación horaria, en la que el reparto de horas diarias es: 4 horas punta, 12 horas llano y 4 horas valle. Estas cifras se corresponden con las hipótesis de trabajo planteadas en el apartado 2.2.2 de esta memoria.

Los precios del término de potencia (T_p , función de la potencia eléctrica contratada) y del término de energía (T_e , función de la electricidad consumida) para cada franja horaria que se han utilizado se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 2.2 Precio de los términos de potencia y de energía

Franja horaria	T_p (€/kW año)	T_e (€/kWh)
Horas punta	40,728885	0,018762
Horas llano	24,437330	0,012575
Horas valle	16,291555	0,004670

Los valores de las tarifas eléctricas se han extraído del BOE [6].

2.2.6. Obtención del volumen de regulación

Para calcular el volumen de regulación necesario, se ha utilizado la herramienta informática EPANET, un programa que realiza simulaciones dinámicas en período extendido del comportamiento hidráulico en redes de tuberías a presión.

En primer lugar se introducen los elementos de que está compuesta la instalación en la interfaz gráfica del programa, así como sus detalles técnicos. Por ejemplo, se deben especificar la longitud de la tubería y las cotas de ambos depósitos.

Una vez se tienen las bombas seleccionadas para cada alternativa, se introducen también los datos de la curva de funcionamiento de cada bomba. Es importante introducir la curva de modulación de la demanda (o patrón de demanda) para que la simulación sea fiel a la realidad.

Cabe resaltar que, aunque el objetivo de la simulación sea obtener el volumen que debe tener el depósito de cabecera, antes de comenzar con la simulación se deben especificar unas dimensiones para el mismo.

Con el volumen arbitrario que se le asigna, tras realizar la simulación se puede observar cuál es la variación del nivel de agua en el depósito a lo largo del día. La diferencia entre los niveles máximo y mínimo alcanzados junto al diámetro asignado permite obtener el volumen de regulación necesario:

$$V_r = \frac{\pi D_d^2}{4} (z_{m\acute{a}x} - z_{m\acute{i}n}) \quad (2.8)$$

Donde D_d es el diámetro del depósito y $z_{m\acute{a}x}$, $z_{m\acute{i}n}$ los niveles de agua máximo y mínimo del depósito a lo largo del día, ya que se diseña un depósito cilíndrico.

Para dar un margen de seguridad y poder soportar aumentos futuros en la demanda, el depósito de cabecera se diseña con un 20% más de capacidad que la obtenida en los cálculos.

El coste del depósito se ha calculado a partir de una función que relaciona el volumen de un depósito con su coste. Esta función está extraída de un Proyecto Fin de Carrera [7] en el que se analiza precisamente la evolución del coste de los depósitos por metro cúbico en relación con su volumen.

La función obtenida mediante regresión potencial de los datos consultados para depósitos con cubierta en [7] y que describe el coste del depósito es la siguiente:

$$C_{d,u} = 599,487 V_r^{-0,263} \quad (2.9)$$

Siendo $C_{d,u}$ el coste del depósito por unidad de volumen en €/m³ y V_r el volumen del depósito en m³. Por tanto, para calcular el coste total del depósito se utiliza la siguiente expresión:

$$C_d = 599,487 V_r^{0,737} \quad (2.10)$$

2.2.7. Definición de zanja tipo

La zanja destinada a alojar la conducción de la instalación, tiene sus dimensiones condicionadas al diámetro que se seleccione para la tubería. La zanja debe componerse de

distintos materiales de relleno, cada uno en una capa diferente: el lecho de material granular sobre el que descansa la tubería, el relleno de material seleccionado y el relleno de material indiferenciado (tierras propias de la excavación).

Además, en los tramos del trazado en que éste pase por vía urbana se debe finalizar la zanja realizando una reposición del firme. En los tramos en que pase por vía rústica, no es necesaria la reposición del firme.

Los costes de la zanja están compuestos por los costes de reposición de los materiales mencionados, así como los de excavación y transporte a vertedero.

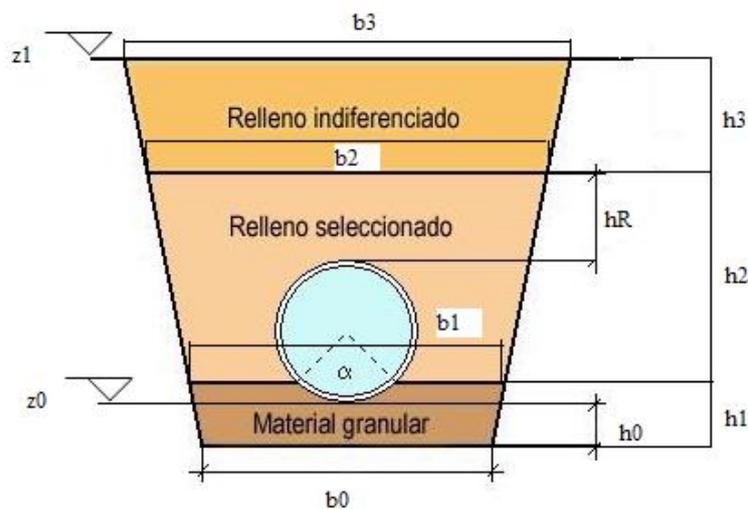


Figura 2.7 Detalle de sección de la zanja tipo utilizada

2.2.8. Transitorios hidráulicos

En los sistemas de bombeo de agua a presión, pueden presentarse graves problemas en la instalación debidos a cambios bruscos en el movimiento del agua. Sucesos como el cierre rápido o instantáneo de una válvula, el arranque o parada de una bomba o el reventón de una tubería generan lo que se conoce como transitorios hidráulicos.

Estudiar estos fenómenos tiene un gran interés, ya que es en estas circunstancias cuando el sistema (especialmente las tuberías) suele soportar las mayores tensiones. El principal objetivo de analizar los transitorios hidráulicos es cuantificar estas tensiones y comprobar que el sistema las pueda absorber sin poner en riesgo la instalación.

Para estudiar los cambios de régimen más bruscos del agua, se utilizan las ecuaciones del modelo dinámico elástico o golpe de ariete. En este trabajo, se ha recurrido al uso del programa de cálculo ALLIEVI para realizar este análisis.

En los transitorios hidráulicos se producen sobrepresiones y depresiones que hay que cuantificar. A tal efecto, es importante determinar cuál es la velocidad a la que se desplazan estas perturbaciones o cambios de presión que se generan. Para ello se debe calcular el parámetro de la celeridad de la onda:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{KD}{Ee}}} \quad (2.11)$$

Donde K es el módulo elástico del agua, ρ la densidad del agua, E el módulo de Young del material de la tubería (en este caso, de la fundición de hierro), D y e el diámetro y espesor de la tubería. Para tuberías metálicas, el valor de la celeridad de la onda ronda los 1000 m/s [8].

Con el estudio de los transitorios hidráulicos, se pretende conocer el alcance de sus efectos para poder diseñar los elementos de protección adecuados para evitar daños a la instalación. Por ello, se realizan dos simulaciones en ALLIEVI: una sin elementos de protección y otra con elementos de protección, pudiéndose así comparar el funcionamiento del sistema ante estos fenómenos hidráulicos en ambos casos.

Para realizar las simulaciones, se deben introducir los datos de la estación de bombeo en el programa (características de las bombas, del trazado y de los depósitos). Además de los parámetros ya conocidos tras la selección de las bombas y del diámetro de la tubería, es necesario hallar dos más: la celeridad de la onda de presión a través de la conducción y el momento de inercia de las bombas, que tienen una gran influencia en el efecto de los transitorios hidráulicos.

Para el cálculo de la celeridad de la onda de presión se emplea la expresión 2.11. El momento de inercia de la bomba es un dato necesario, pues influye en la intensidad del transitorio, y ha de aportarlo el fabricante. Obtenidos estos parámetros e introducidos en el modelo de cálculo de ALLIEVI, se puede proceder con las simulaciones.

Cuando se analicen sus resultados, se debe comprobar que las presiones en la tubería no superen el valor máximo que ésta es capaz de soportar (en este caso se trabaja con tuberías PN-16, cuya presión nominal es de 16 atmósferas o 160 m), y que tampoco sean inferiores a la línea de alturas piezométricas. De superarse estos límites superior e inferior, en el primer caso se producirían reventones en la tubería, mientras que en el segundo podrían aparecer problemas de cavitación o incluso colapsos en la misma.

Para controlar estos dos límites que hay que evitar sobrepasar, se añade a la instalación un calderín vertical a la salida del grupo de bombeo. El calderín es un acumulador hidroneumático cuya función es mantener la presión en abastecimientos de agua, protegiendo así a la instalación del golpe de ariete.

Para la selección del calderín a utilizar y la determinación de su coste, se ha consultado la tarifa de 2016 de Industrias Ibaiondo SA [9]. Se ha escogido entre acumuladores hidroneumáticos de membrana de gran capacidad.

Para el volumen dado de un calderín, el proceso de diseño consiste en realizar sucesivas simulaciones en ALLIEVI variando la proporción aire-agua. Esto se consigue modificando el volumen de aire dentro del calderín, lo que se traduce en un cambio en la presión de hinchado inicial del calderín, que es el parámetro a introducir (junto con las dimensiones del calderín) en el programa de cálculo.

Para el cálculo de la presión de hinchado se ha utilizado la siguiente expresión:

$$p^*_{hinchado} = \frac{V_{calderín}}{V_{aire}} p^*_{atmosférica} \quad (2.12)$$

Donde se emplean valores de presión absoluta.

Una mayor proporción de aire en el calderín mejora la respuesta ante los transitorios hidráulicos, pero se ha seguido el criterio de mantener siempre como mínimo un volumen de agua del 20% del total como margen de seguridad. Se pretende así evitar que pudiera vaciarse de agua el calderín en caso de ser muy reducido su volumen, lo que causaría la entrada de aire en la tubería.

Por último, cabe recordar que la elección del trazado influye en el transitorio hidráulico. Si, en el caso que ocupa este proyecto, el perfil de la conducción tuviera un cambio de pendiente geométrica en los tramos finales del trazado, la línea de alturas piezométricas podría sobrepasar la de alturas geométricas. Esto causaría un colapso en la tubería debido a la depresión originada.

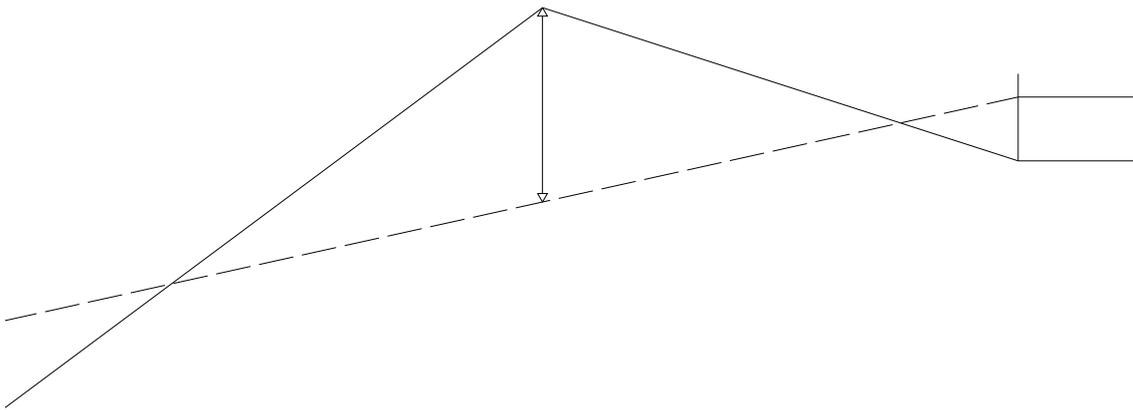


Figura 2.8 Detalle de trazado inadecuado

3. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES

3.1. ALTERNATIVAS DE TRAZADO

Se han considerado tres alternativas diferentes en cuanto al trazado de la conducción, cuyo detalle se puede consultar en el plano 2.

En ninguna de las tres opciones pasa el trazado por propiedad privada alguna, por lo que no son necesarios gastos de servidumbre de paso ni de obras de derribo.

La alternativa verde es la de menor longitud (1453,3 m), por lo que en un principio puede ser atractiva ya que supone un menor coste en la tubería y las obras. Sin embargo, en el último tramo del trazado se produce un cambio en la pendiente, de manera que el agua pasa de ascender a descender (se pasa de 215 a 205 msnm de cota). Como se ha explicado en el apartado 2.2.8, esto puede ocasionar colapsos en la tubería debidos a las depresiones, razón por la cual se descarta esta alternativa.

La alternativa azul tiene una longitud algo mayor (1520,1 m), pero a pesar de ello sigue siendo un argumento a favor por sus menores costes de obra y de tubería respecto a la alternativa magenta. Además, no tiene el problema del trazado verde con las depresiones. Esto a priori lo convierte en una buena alternativa.

La alternativa magenta es la que propone un trazado más largo (2309,2 m). Esto supone mayores costes en las obras y en la tubería. Por otra parte, tampoco presenta problemas con las depresiones en ningún tramo. Sin embargo, este trazado ofrece una ventaja que ninguna de las otras opciones contempla, y es que ofrece un buen acceso a las reparaciones a lo largo de todo su recorrido.

Esto se debe a que discurre en su práctica totalidad por vía urbana, en su mayoría por la CV-736 (carretera de Denia a Jávea) y también por la CV-7362. Sólo en el último tramo discurre por vía rústica, ya en el Parque Natural del Montgó.

En los otros dos trazados, que discurren casi exclusivamente por vía rústica, realizar una reparación implicaría atravesar el monte para llegar al sitio de interés. Además, la pendiente es mucho más brusca en muchos tramos de estos trazados. Esto dificultaría seriamente el acceso de los vehículos que transporten el material y personal adecuados para la tarea.

Por tanto, considerando éste último como un requisito de gran importancia, se escoge la alternativa magenta como la mejor solución de trazado para el proyecto.

3.2 DISEÑO DE LA ADUCCIÓN

3.2.1. Caudal de diseño y diámetro teórico

Como se ha explicado en el capítulo 2 de esta memoria, para el cálculo del caudal de diseño es necesario conocer la demanda media de agua de la población. El volumen de agua facturado en cada bimestre en las tres urbanizaciones objeto de estudio a lo largo de 2015 se ha recogido en la siguiente tabla:

Tabla 3.1 Volumen de agua facturado por bimestre en 2015 en las urbanizaciones de Nova Xàbia, La Plana y La Corona

Bimestre	Volumen facturado (m ³)
1 (noviembre-diciembre)	28742
2 (enero-febrero)	15841
3 (marzo-abril)	44989
4 (mayo-junio)	46276
5 (julio-agosto)	93268
6 (septiembre-octubre)	37485

Así, realizando los cálculos con el volumen del bimestre con más demanda (y expresando éste en forma de volumen medio diario (3.1)) y para cada hipótesis de trabajo, recurriendo a las expresiones (2.3) y (2.5) se tienen los resultados de la tabla 3.2:

$$V_{bim-5} = \frac{93268 \text{ m}^3/\text{bimestre}}{62 \text{ días/bimestre}} = 1504,32 \text{ m}^3/\text{día} \quad (3.1)$$

Tabla 3.2 Valores del caudal de diseño para cada hipótesis de trabajo

Hipótesis de trabajo (h)	Caudal de diseño Q _b (m ³ /h)	Diámetro teórico D _t (mm)
8	188,04	0,258
20	75,22	0,163
24	65,81	0,153

3.2.2. Selección de la bomba

Para cada valor del diámetro teórico se toman dos valores superiores y dos inferiores de la serie de diámetros nominales interiores. Mediante el uso de los valores del caudal de diseño recogidos en la tabla 3.2, se obtienen las alturas de bombeo y las pérdidas de carga para cada caso (expresión 2.6):

Tabla 3.3 Características a cumplir por la bomba en las diferentes alternativas de diámetros nominales

Hipótesis de trabajo (h)	Diámetro nominal (mm)	Caudal de diseño (m ³ /h)	Altura de bombeo (m)	Pérdidas de carga (m)
8	350	188,04	129,98	1,98
8	300	188,04	132,29	4,29
8	250	188,04	138,66	10,66
8	200	188,04	160,55	32,55
20	250	75,22	129,71	1,71
20	200	75,22	133,21	5,21
20	150	75,22	149,94	21,94
20	125	75,22	182,60	54,60
24	250	65,81	129,31	1,31
24	200	65,81	131,99	3,99
24	150	65,81	144,80	16,80
24	125	65,81	169,81	41,81

De las doce alternativas de diseño, se descarta la cuarta de cada hipótesis de trabajo ya que las alturas de bombeo que presentan son superiores a 160 m, que es la máxima presión que soporta la tubería.

Para las otras nueve restantes, se procede a seleccionar la bomba adecuada a cada caso. Para la búsqueda de bombas se ha recurrido al catálogo del fabricante Grundfos, y para conocer los precios de las mismas se ha recurrido a la tarifa de precios 2016 de Bombas Grundfos España SA [10].

Para ello, se necesita aportar en cada caso el caudal de diseño y la altura de bombeo. Una vez comprobados los datos de cada opción, en la hipótesis de 8 horas la bomba sugerida es la misma para las tres alternativas, y lo mismo ocurre en la hipótesis de 24 horas. Para la hipótesis de 20 horas, las bombas apropiadas son dos modelos distintos. En todos los casos, se sugiere la utilización de tres bombas iguales en paralelo.

Por lo expuesto en el párrafo anterior, se decide trabajar con el menor diámetro de cada hipótesis de trabajo, ya que el ahorro en costes energéticos que se pueda producir por la elección de un diámetro mayor es pequeño comparado con el incremento en los costes de obra que esto supondría.

Así pues, para las cuatro alternativas restantes (una para cada hipótesis y en la de 20 horas dos para la misma alternativa pero con distintas bombas) se averiguan los parámetros hidráulicos del punto de trabajo nominal, en que el rendimiento del grupo motor-bomba es máximo:

Tabla 3.4 Parámetros de las bombas en su punto de trabajo nominal

Hipótesis de trabajo (h)	Modelo y nº de bombas	Diámetro nominal (mm)	Caudal nominal (m ³ /h)	Altura nominal (m)	Rendimiento máximo (%)
8	3xCR 64-7	250	64,4	167,5	76,7
20	3xCR 20-17	150	21	203,4	68,4
20	3xCR 32-10-2	150	30,1	146,9	67,7
24	3xCR 20-14	150	21,1	167,7	68

Las curvas del catálogo empleadas en la selección de las bombas son las siguientes:

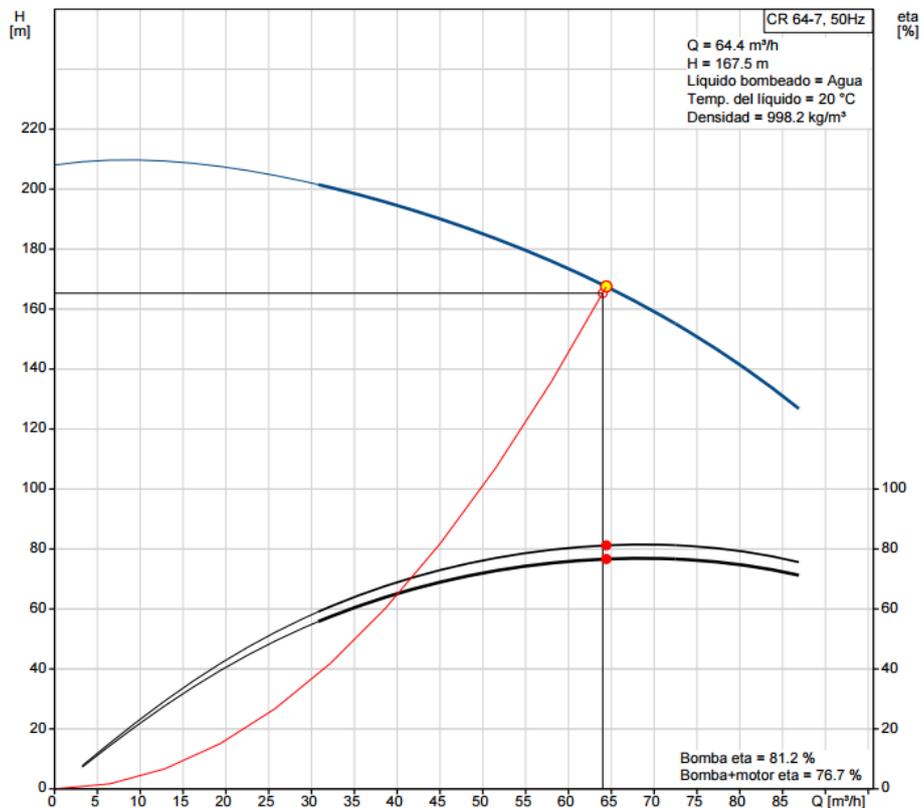


Figura 3.1 Curvas característica y de rendimiento de la bomba para la hipótesis de funcionamiento de 8 horas (bomba CR 64-7; extraído del catálogo WebCAPS de Grundfos)

Diseño de una impulsión por bombeo para el suministro de agua a las urbanizaciones de Nova Xàbia, La Plana y La Corona, en Jávea (Alicante)

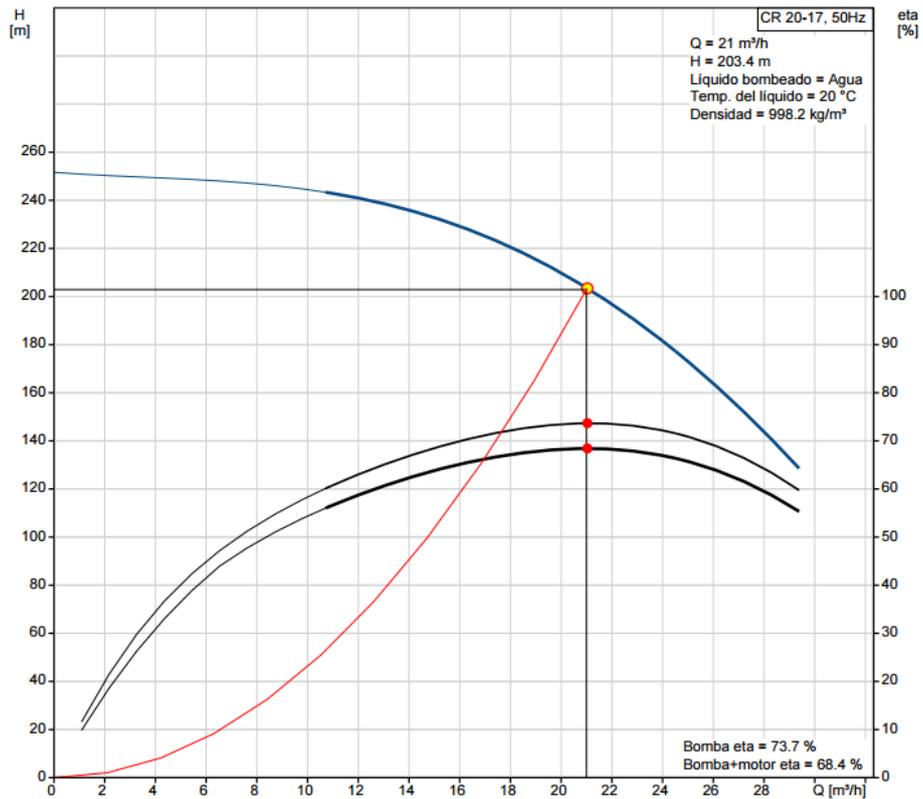


Figura 3.2 Curvas característica y de rendimiento de la bomba para la hipótesis de funcionamiento de 20 horas (bomba CR 20-17; extraído del catálogo WebCAPS de Grundfos)

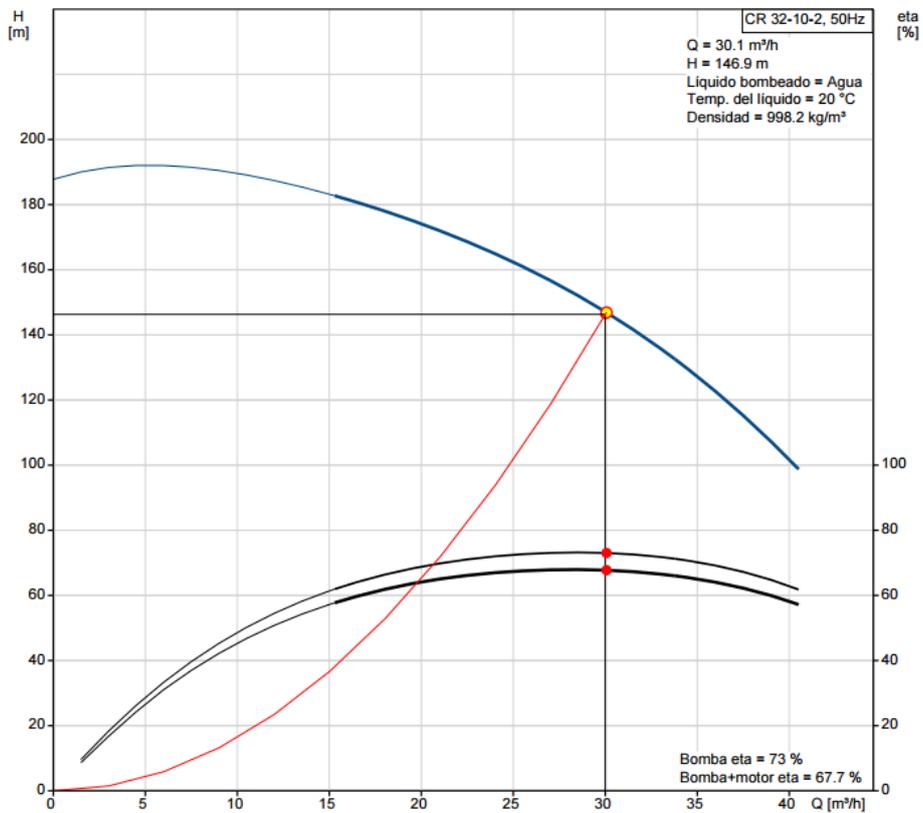


Figura 3.3 Curvas característica y de rendimiento de la bomba para la hipótesis de funcionamiento de 20 horas (bomba CR 32-10-2; extraído del catálogo WebCAPS de Grundfos)

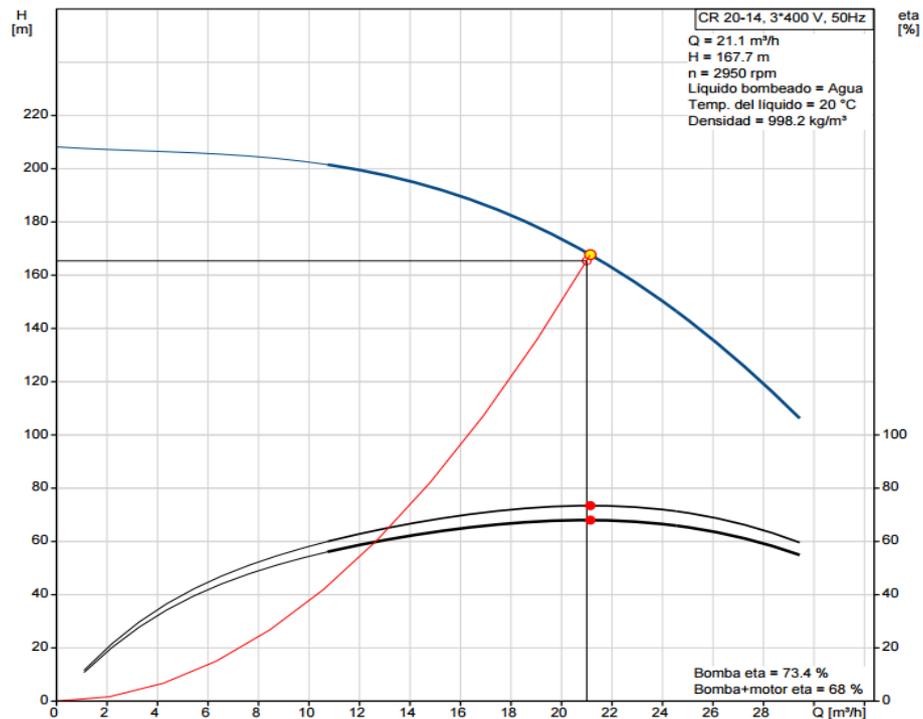


Figura 3.4 Curvas característica y de rendimiento de la bomba para la hipótesis de funcionamiento de 24 horas (CR 20-14; extraído del catálogo WebCAPS de Grundfos)

Tras obtener las características de las bombas en cada alternativa, se procede a hallar los parámetros de funcionamiento de las mismas para la instalación en que van a trabajar. Para ello se deben calcular los coeficientes de la curva característica de cada bomba, cuya expresión es la que sigue:

$$H^{(m)} = A - BQ^2 \quad (3.2)$$

$$A = \frac{4}{3}H_n \quad (3.3)$$

$$B = \frac{A}{(2nQ_n)^2} \quad (3.4)$$

Donde dichos coeficientes A y B se calculan a partir de la altura y caudal del punto nominal de funcionamiento, y siendo n el número de bombas, en este caso 3.

Mediante la igualdad de (3.2) con la expresión de la curva resistente de la instalación (3.5), se puede obtener el valor del caudal de funcionamiento del grupo de bombeo (3.6):

$$H^{(r)} = H_g + RQ^2 \quad (3.5)$$

$$Q_{func} = \sqrt{\frac{A - H_g}{B + R}} \quad (3.6)$$

Donde H_g es el desnivel geométrico entre el depósito de aspiración y el de cabecera (128 m) y R es el coeficiente de resistencia hidráulica global de la línea de conducción de la instalación, cuya expresión de cálculo es la siguiente:

$$R = \frac{8fL}{\pi^2 g D^5} \quad (3.7)$$

Donde f representa el factor de fricción de la tubería (cuyo valor se ha estimado en 0,02), L la longitud de la tubería (2309,2 m), D el diámetro (nominal) de la misma y g la aceleración de la gravedad (9,807 m/s²).

Aplicando los valores de cada alternativa a estas expresiones, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 3.5 Parámetros de las bombas en su punto de funcionamiento (I)

Hipótesis de trabajo (h)	Modelo y nº de bombas	Diámetro nominal (mm)	A (m)	B (m/(m ³ /s) ²)	R (m/(m ³ /s) ²)
8	3xCR 64-7	250	223,33	19385,83	3908,96
20	3xCR 20-17	150	271,20	221387,76	50269,53
20	3xCR 32-10-2	150	195,87	77826,96	50269,53
24	3xCR 20-14	150	223,60	180804,56	50269,53

Tabla 3.6 Parámetros de las bombas en su punto de funcionamiento (II)

Hipótesis de trabajo (h)	Modelo y nº de bombas	Diámetro nominal (mm)	Caudal de funcionamiento (m ³ /h)	Altura de bombeo (m)	Potencia consumida (kW)
8	3xCR 64-7	250	230,30	144	119,12
20	3xCR 20-17	150	82,65	154,50	56,55
20	3xCR 32-10-2	150	82,86	154,63	51,54
24	3xCR 20-14	150	73,22	148,80	44,75

Siendo estos valores los alcanzados por el conjunto de las tres bombas en cada caso. Para el cálculo de la altura de bombeo en el punto de funcionamiento se ha empleado la expresión (3.2), y para el cálculo de la potencia eléctrica consumida se ha utilizado la expresión siguiente:

$$P = \frac{\rho g Q_{func} H_{func}}{\eta_{func}} \quad (3.8)$$

Donde ρ es la densidad del agua a 20°C (998,2 kg/m³) y η_{func} es el rendimiento del grupo de bombeo en las condiciones de funcionamiento, cuyos valores se exponen junto a los del rendimiento máximo en la tabla siguiente:

Tabla 3.7 Valores del rendimiento de funcionamiento en comparación con los del rendimiento máximo del conjunto motor-bomba

Hipótesis de trabajo (h)	Modelo y nº de bombas	Diámetro nominal (mm)	Rendimiento de funcionamiento (%)	Rendimiento máximo (%)
8	3xCR 64-7	250	75,7	76,7
20	3xCR 20-17	150	61,4	68,4
20	3xCR 32-10-2	150	67,6	67,7
24	3xCR 20-14	150	66,2	68

Tras obtener estos resultados, se decide descartar la primera de las dos alternativas para la hipótesis de 20 horas de funcionamiento (las bombas CR 20-17). La razón para tal decisión reside en que su punto de funcionamiento se encuentra muy alejado del punto nominal.

Esto se puede observar en la tabla 3.7, donde a consecuencia de ello el rendimiento del grupo de bombeo es muy inferior al rendimiento máximo que puede ofrecer. Esto redundaría en una mayor potencia consumida (que como se ve en la tabla 3.6 es superior a la consumida por la segunda opción de bombeo durante 20 horas), lo que conlleva un mayor coste energético.

3.2.3. Cálculo del depósito de regulación

Se han introducido los datos de la instalación de bombeo en EPANET, creando tres escenarios distintos a simular, uno para cada una de las alternativas restantes. En ellos se incluye el depósito de cabecera a diseñar, cuyas dimensiones provisionales de cara a las simulaciones se establecen en 30 m de diámetro y 1, 1,5 y 4,5 m de niveles mínimo, inicial y máximo de agua respectivamente.

También es necesario introducir como parámetro de la instalación el patrón de consumos que caracteriza la demanda de la población a abastecer. Dicho patrón se representa en la siguiente figura:

Diseño de una impulsión por bombeo para el suministro de agua a las urbanizaciones de Nova Xàbia, La Plana y La Corona, en Jávea (Alicante)

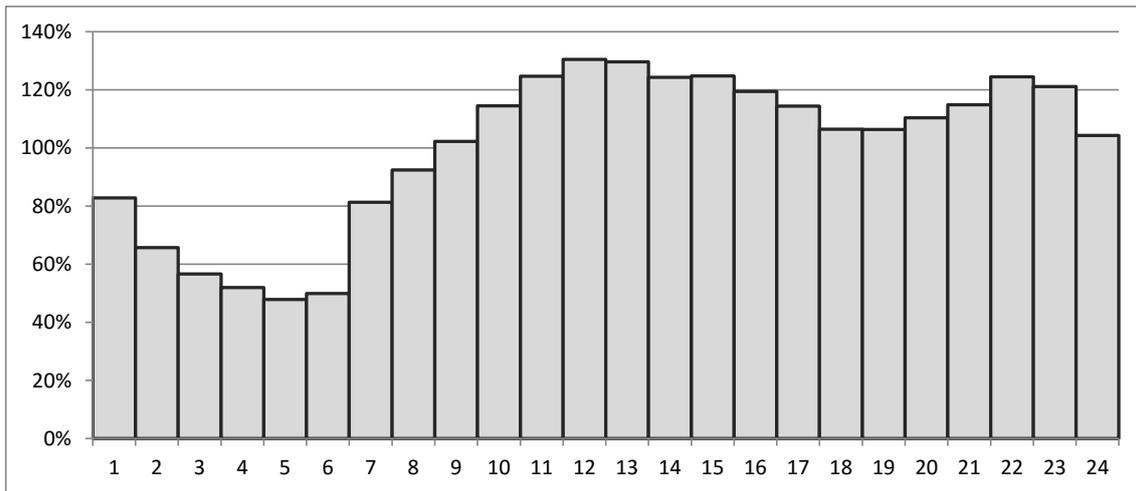


Figura 3.5 Patrón de consumos que representa la demanda de agua potable a lo largo del día respecto a la demanda media diaria

Además, como el caudal de funcionamiento de cada alternativa es diferente al caudal de diseño que se estableció para cada hipótesis, el número de horas de bombeo de cada alternativa será inferior al previsto.

Para conocer el número de horas exactas de bombeo diarias durante el bimestre con más demanda, en primer lugar se realiza una simulación de prueba para conocer el valor exacto de caudal que circulará por la conducción. Una vez obtenido este, se puede obtener el número de horas de bombeo necesarias:

Tabla 3.8 Tiempo de funcionamiento diario exacto del grupo de bombeo en el bimestre julio-agosto para cada alternativa

Hipótesis de trabajo (h)	Caudal teórico Q_b (l/s)	Caudal de funcionamiento Q_{func} (l/s)	Q_b/Q_{func}	Tiempo de funcionamiento
8	52,23	64,11	0,81	6h 32min
20	20,89	22,83	0,92	18h 20min
24	17,99	20,18	0,89	21h 24min

Donde los valores de la quinta columna se obtienen por el producto de la cuarta por la primera.

Una vez conocido el tiempo de funcionamiento, se realiza la simulación final para cada alternativa, introduciendo los parámetros de control de apertura y cierre de las válvulas de retención de las bombas. Así, por ejemplo, para la tercera alternativa se requieren 21 h 24 min de funcionamiento, o lo que es lo mismo, 2 h 36 min de parada. Para evitar la franja de horas punta todo lo posible, a las 10:00 se pararían las bombas y a las 12:36 volverían a ponerse en funcionamiento.

Tras realizar la simulación, se observa el cambio en el nivel del depósito de cabecera, lo que proporciona la información necesaria para conocer el volumen de regulación apropiado.

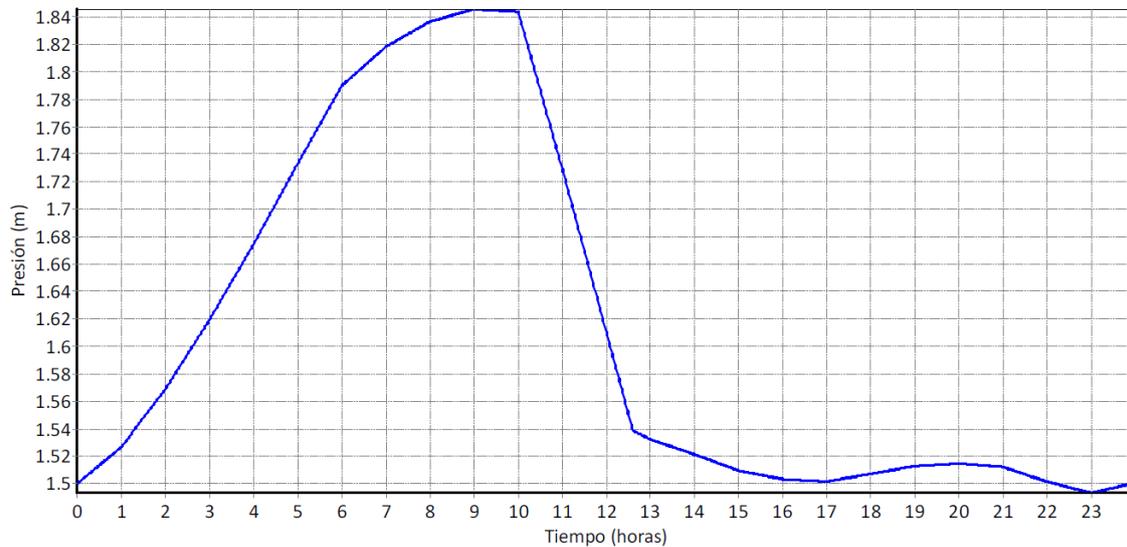


Figura 3.6 Evolución del nivel de agua en el depósito de cabecera a lo largo del día, para una dimensión provisional del alzado del depósito (extraído de EPANET)

Anotando el valor de los niveles máximo y mínimo y aplicando la expresión 2.8 se obtiene el volumen del depósito de regulación, mostrado en la tabla 3.9. Es importante destacar que en la tabla aparece el volumen mayorado en un 20% respecto al que se obtendría de la aplicación directa de (2.8), considerando así el margen de seguridad previsto.

Tabla 3.9 Volumen del depósito de regulación en función de la dimensión (provisional) de la base del mismo y del cambio en su nivel de agua

Hipótesis de trabajo (h)	Diámetro (m)	Nivel máximo (m)	Nivel mínimo (m)	Volumen (m ³)
8	30	3,31	1,49	1535,30
20	30	1,98	1,32	559,83
24	30	1,85	1,49	305,36

3.2.4. Costes de inversión

En primer lugar se calculan los costes de la zanja, diferenciando entre zanja con y sin reposición de firme. Se exponen a continuación los costes por unidad de volumen de la zanja, que han sido obtenidos de la base de datos del IVE 2015:

Tabla 3.10 Costes por unidad de volumen de las distintas operaciones y los materiales asociados para la construcción de la zanja

Material / Operación	Coste (€/m ³)
Excavación (C_{exc})	14,62
Material granular (C_{gra})	13,92
Relleno indiferenciado (C_{ind})	5,84
Relleno seleccionado (C_{sel})	6,57
Reposición de firme (C_{fir})	22,65
Transporte a vertedero (C_{ver})	6,43

Dado que dos de las alternativas (hipótesis de 20 y 24 horas) utilizan el mismo diámetro de la conducción, se contemplan en las consecutivas tablas únicamente cálculos y valores para dos diámetros. Ahora se muestran los parámetros dimensionales de la sección de la zanja:

Tabla 3.11 Parámetros dimensionales de la zanja. Las variables empleadas hacen referencia a la nomenclatura dada en el plano de detalle de la sección tipo de la zanja. Unidades en m y m³, según corresponda

Diámetro nominal (D_n)	DN250	DN150
Profundidad conducción	2	2
Talud (m/m)	0,200	0,200
$b_{0,mín}$	0,500	0,500
α (°)	90	90
h_0	0,150	0,150
h_r	0,300	0,300
Auxilio tubería (h_1-h_0)	0,037	0,022
Altura de la cama (h_1)	0,187	0,172
Altura de relleno seleccionado (h_2)	0,513	0,428
Altura de relleno indiferenciado (h_3)	1,450	1,550
Profundidad de la zanja ($h_1+h_2+h_3$)	2,150	2,150
Anchura solera (b_0)	0,750	0,650
b_1	0,825	0,719
b_2	1,030	0,890
Anchura superficie (b_3)	1,610	1,510
Volumen de excavación (V_0 , m ³ /m)	2,537	2,322
Volumen de material granular (V_1 , m ³ /m)	0,139	0,115
Volumen de relleno seleccionado (V_2 , m ³ /m)	0,435	0,329
Volumen de relleno indiferenciado (V_3 , m ³ /m)	1,914	1,860
Volumen tubería (V_{tub} , m ³ /m)	0,049	0,018
Volumen tubería zona 1 (V_{z1})	0,008	0,003
Volumen tubería zona 2 (V_{z2})	0,041	0,015

Seguidamente se muestran los costes por unidad de longitud de las operaciones y materiales que forman la zanja:

Tabla 3.12 Costes por unidad de longitud de las distintas operaciones y los materiales asociados para la construcción de la zanja

Material / Operación	Costes DN250 (€/m)	Costes DN150 (€/m)
Tubería (C_{tub})	72,83	44,59
Excavación (C'_{exc})	37,09	33,95
Material granular (C'_{gra})	1,94	1,60
Relleno indiferenciado (C'_{ind})	11,18	10,86
Relleno seleccionado (C'_{sel})	2,86	2,16
Reposición de firme (C'_{fir})	36,47	34,20
Transporte a vertedero (C'_{ver})	4,01	2,97
Coste unitario total	166,36	130,34
Coste unitario total sin reposición de firme	129,89	96,14

Para obtener estos valores se han empleado las siguientes expresiones (el coste de la tubería está extraído de la base de datos del IVE 2015 [11]):

$$h_1 - h_0 = \frac{D_n}{2} \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right) \quad (3.9)$$

$$h_1 = (h_1 - h_0) + h_0 \quad (3.10)$$

$$h_2 = h_r + D_n - (h_1 - h_0) \quad (3.11)$$

$$(h_1 + h_2 + h_3) = D_n + h_0 \quad (3.12)$$

$$h_3 = (h_1 + h_2 + h_3) - h_1 - h_2 \quad (3.13)$$

$$b_0 = b_{0,min} + D_n \quad (3.14)$$

$$b_1 = b_0 + 2h_1 Talud \quad (3.15)$$

$$b_2 = b_1 + 2h_2 Talud \quad (3.16)$$

$$b_3 = b_2 + 2h_3 Talud \quad (3.17)$$

$$V_0 = 0,5(b_0 + b_3)(h_1 + h_2 + h_3) \quad (3.18)$$

$$V_1 = 0,5(b_0 + b_1)h_1 - V_{z1} \quad (3.19)$$

$$V_2 = 0,5(b_1 + b_2)h_2 - V_{z2} \quad (3.20)$$

$$V_3 = 0,5(b_2 + b_3)h_3 \quad (3.21)$$

$$V_{tub} = \frac{\pi D_n^2}{4} \quad (3.22)$$

$$V_{z1} = V_{tub} - V_{z2} \quad (3.23)$$

$$V_{z2} = \frac{D_n^2 \left(\pi - \sin\left(\pi - \frac{\alpha}{2}\right) \cos\left(\pi - \frac{\alpha}{2}\right) \right)}{4} \quad (3.24)$$

Siendo las anteriores expresiones para calcular parámetros de índole geométrica, mientras que las siguientes permiten obtener los costes por metro lineal de cada operación:

$$C'_{exc} = V_0 C_{exc} \quad (3.25)$$

$$C'_{gra} = V_1 C_{exc} \quad (3.26)$$

$$C'_{ind} = V_3 C_{ind} \quad (3.27)$$

$$C'_{sel} = V_2 C_{sel} \quad (3.28)$$

$$C'_{fir} = b_3 C_{fir} \quad (3.29)$$

$$C'_{ver} = (V_0 - V_3) C_{ver} \quad (3.30)$$

Por tanto, el coste total de la zanja para cada alternativa será:

Tabla 3.13 Coste total de la zanja con reposición de firme en función del diámetro de la conducción

Diámetro nominal (mm)	250	150
Longitud (m)	1973,3	1973,3
Coste unitario total (€/m)	166,36	130,34
Coste total (€)	328.278,19	257.199,92

Tabla 3.14 Coste total de la zanja sin reposición de firme en función del diámetro de la conducción

Diámetro nominal (mm)	250	150
Longitud (m)	335,9	335,9
Coste unitario total (€/m)	129,89	96,14
Coste total (€)	43.630,05	32.293,43

En segundo lugar, se calculan los costes de los grupos de bombeo, recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 3.15 Coste total de los grupos de bombeo

Hipótesis de trabajo (h)	Modelo y nº de bombas	Coste unitario (€)	Coste total (€)
8	3xCR 64-7	23.321,00	69.963,00
20	3xCR 32-10-2	12.426,00	37.278,00
24	3xCR 20-14	8.776,00	26.328,00

En tercer lugar, se calcula el precio del depósito de regulación, empleando para ello la expresión 2.10:

Tabla 3.16 Coste total del depósito de regulación

Hipótesis de trabajo (h)	Volumen (m ³)	Coste total (€)
8	1535,30	133.661,28
20	559,83	63.547,78
24	305,36	40.652,89

Por último, realizamos el cálculo del factor de amortización para cada partida mediante la expresión 2.7 utilizando una tasa de interés del 3% y el periodo de años de amortización recogido en la tabla 2.1 lo aplicamos a cada partida, obteniendo los costes de inversión anuales:

Tabla 3.17 Factor de amortización en función de la partida

Partida	Factor de amortización (%)
Zanja	5,10
Depósito	5,10
Bombas	7,27

Tabla 3.18 Costes de inversión anuales tras aplicar el factor de amortización a cada partida

Hipótesis de trabajo (h)	Coste zanja con rep. (€)	Coste zanja sin rep. (€)	Coste depósito (€)	Coste grupo bombeo (€)	Costes de inversión (€)
8	16.748,51	2.225,97	6.819,30	5.086,92	30.880,70
20	13.122,15	1.647,59	3.242,16	2.710,43	20.722,33
24	13.122,15	1.647,59	2.074,08	1.914,27	18.758,09

3.2.5. Costes energéticos

Para el cálculo de los costes energéticos se necesitan los volúmenes recogidos en la tabla 3.1 así como los precios de los términos de energía y de potencia recogidos en la tabla 2.2. Esto nos permite calcular las horas de funcionamiento del grupo de bombeo para cada bimestre y así obtener el coste de los términos de energía. Además, es necesario usar los valores de potencia consumida obtenidos para cada alternativa en la tabla 3.6.

Tabla 3.19 Coste del término de energía por bimestre para la hipótesis de trabajo de 8 horas

Bimestre	Tiempo de bombeo (h/bimestre)	Tiempo de bombeo (h/día)	Coste término de energía (€)
1	124,8	2,0	69,43
2	68,8	1,2	38,26
3	195,3	3,2	108,67
4	200,9	3,3	111,78
5	405,0	6,5	225,29
6	162,8	2,7	90,55

Tabla 3.20 Coste del término de energía por bimestre para la hipótesis de trabajo de 20 horas

Bimestre	Tiempo de bombeo (h/bimestre)	Tiempo de bombeo (h/día)	Coste término de energía (€)
1	346,9	5,7	83,49
2	191,2	3,2	46,01
3	542,9	8,9	153,06
4	558,5	9,2	163,13
5	1125,6	18,2	527,43
6	452,4	7,4	108,88

Tabla 3.21 Coste del término de energía por bimestre para la hipótesis de trabajo de 24 horas

Bimestre	Tiempo de bombeo (h/bimestre)	Tiempo de bombeo (h/día)	Coste término de energía (€)
1	392,5	6,4	82,04
2	216,3	3,7	45,21
3	614,4	10,1	173,13
4	632,0	10,4	183,02
5	1273,7	20,5	550,69
6	511,9	8,4	115,45

Tabla 3.22 Costes energéticos y sus dos componentes

Hipótesis de trabajo (h)	Coste término de energía (€)	Coste término de potencia (€)	Costes energéticos totales (€)
8	643,98	1.940,67	2.584,65
20	1.082,00	2.099,21	3.181,22
24	1.149,54	3.645,54	4.795,08

3.2.6. Determinación del diámetro óptimo

El diámetro óptimo será aquel cuya alternativa se corresponda con el menor coste global. Para calcular el coste global, hacemos uso de los costes de inversión y energéticos calculados en las tablas 3.18 y 3.22:

Tabla 3.23 Coste global de cara a la selección de la mejor alternativa para llevar a cabo el proyecto

Hipótesis de trabajo (h)	Costes de inversión (€)	Costes energéticos (€)	Coste total (€)
8	30.880,70	2.584,65	33.465,35
20	20.722,33	3.181,22	23.903,55
24	18.758,09	4.795,08	23.553,17

Por tanto, se elige la alternativa de la hipótesis de 24 horas de trabajo con tres bombas CR 20-14 como la mejor opción para realizar el proyecto.

3.3. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

3.3.1. Selección del grupo de bombeo

Para impulsar agua potable desde el depósito del calvario se ha elegido trabajar con tres bombas CR 20-14 de Grundfos en paralelo, aunque se presupuestarán cuatro para tener una de repuesto. Se trata de bombas centrífugas verticales multicelulares, cuyo cuerpo hidráulico está hecho de fundición de hierro EN-JL1030. Las principales características de interés desde el punto de vista hidráulico se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 3.24 Parámetros técnicos del grupo de bombeo compuesto por 3 bombas CR 20-14

Parámetro	Funcionamiento	Nominal
Caudal bombeado (m ³ /h)	72,65	21,10
Altura de bombeo (m)	148,8	167,7
Rendimiento motor-bomba (%)	66,3	68
Velocidad de rotación motor (rpm)	2947	2923

A continuación se muestra una imagen del modelo 3D de la bomba CR 20-14:



Figura 3.7 Modelo 3D de la bomba CR 20-14 (extraído del catálogo WebCAPS de Grundfos)

Se incluyen en esta partida del presupuesto tres válvulas de esfera: una para retención, y dos para aislamiento (una en la aspiración y otra en la impulsión).

3.3.2. Estudio energético final

El coste del término de energía se obtuvo mediante la suma de los costes de cada franja de discriminación horaria. Así, se utiliza la siguiente expresión para dicho cálculo:

$$\text{Coste TE} = n_V P T_{e,V} + n_{LL} P T_{e,LL} + n_P P T_{e,P} \quad (3.31)$$

Siendo n el número de horas, P la potencia consumida y T_e el precio del término de energía para los periodos valle, llano y punta.

El coste del término de potencia se obtuvo de la siguiente manera:

$$\text{Coste TP} = (T_{p,V} + T_{p,LL} + T_{p,P})P \quad (3.32)$$

Siendo T_p el precio del término de potencia para cada periodo horario.

Se muestra a continuación un resumen de los costes energéticos anuales que se tienen trabajando con tres bombas CR 20-14:

Tabla 3.25 Costes energéticos anuales para el grupo de bombeo 3xCR 20-14

Coste término de energía (€)	Coste término de potencia (€)	Costes energéticos totales (€)
1.149,54	3.645,54	4.795,08

3.3.3. Coste final de la conducción

La conducción se dispondrá utilizando tubería de fundición de hierro, capaz de soportar 16 atmósferas o 160 metros de presión, con un diámetro de 150 milímetros, a lo largo de los 2309,2 metros de trazado. Se ha consultado el catálogo de Rekalde Biltegia SL para conocer el valor del espesor de una tubería de estas características, y será un espesor de 6 milímetros [12]. Siendo el precio del metro lineal de tubería 44,59 €, el coste total de dicho material será de 102.967,23 €.

3.3.4. Costes de obra civil

Descontando el coste de la conducción, los costes de ejecución de la zanja serán los siguientes:

Tabla 3.26 Coste de la zanja descontando el coste de la conducción, con diámetro de 150 mm

Reposición de firme	Longitud (m)	Coste unitario (€/m)	Coste total (€)
Con reposición	1973,3	85,75	169.210,48
Sin reposición	335,9	51,55	17.315,65

3.3.5. Depósito de regulación

El volumen del depósito de regulación, trabajando con el grupo de bombeo de 3xCR 20-14 y teniendo en cuenta un margen de seguridad en cuanto a capacidad extra del 20% resulta de 305,36 m³. Será un depósito cilíndrico con cubierta, con unas dimensiones de 3 metros de altura y 11,38 metros de diámetro, y un coste de 40.652,89 €.

Se incluyen en esta partida del presupuesto tres válvulas de esfera: una para llenado, otra para vaciado y rebosadero y otra para conexión al alcantarillado.

3.3.6. Análisis del transitorio hidráulico

Una vez conocido cuál va a ser el grupo de bombeo de la instalación, se puede comenzar con el análisis del transitorio hidráulico. Antes de proceder con las simulaciones, se calculan los parámetros necesarios para que el modelo de cálculo quede bien definido.

A partir de la expresión 2.11, se toman para el módulo elástico del agua 2 GPa, para el módulo de Young de la fundición de hierro 100 GPa y para el espesor de la tubería 6 mm. Con esto, se obtiene una celeridad de onda de presión de 1154,70 m/s². El momento de inercia obtenido del fabricante y que se ha empleado en la simulación es de 1,636kg m².

A continuación comienza la simulación sin dispositivo de protección ante transitorios hidráulicos, en la que se observa cómo se alcanzan valores de presión en la conducción superiores al máximo de 160 m, llegando hasta los 206,5 m de presión máxima. Además, la envolvente de alturas mínimas entra en la zona de cavitación. En la siguiente figura se recogen estos resultados:

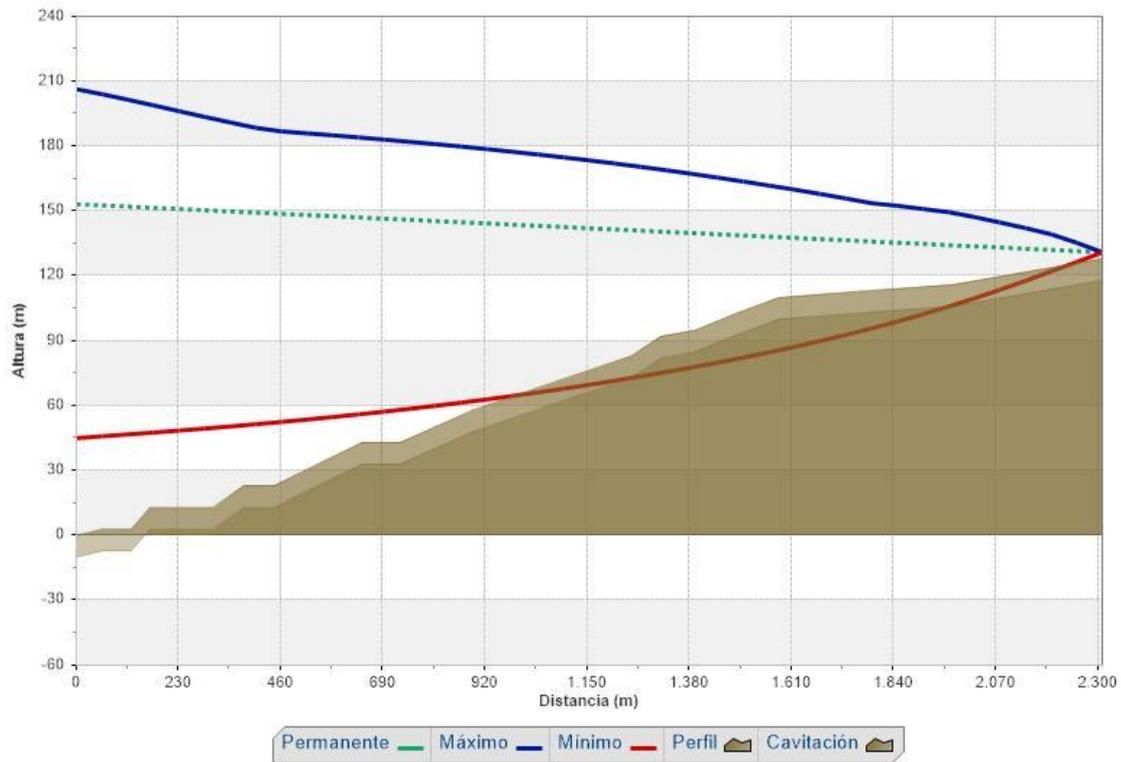


Figura 3.8 Línea de alturas piezométricas en régimen permanente y sus envolventes máxima y mínima durante el transitorio en la conducción (instalación sin calderín; extraído de ALLIEVI)

Por tanto, queda demostrada la necesidad de incorporar un dispositivo de protección frente a transitorios hidráulicos. Para introducir el calderín en el modelo de cálculo, se ha de hallar primero el valor de la presión de hinchado inicial del aire. Para ello es necesario comenzar a probar modelos de calderín, ajustando en cada iteración el volumen de aire para el volumen del calderín dado por el modelo en concreto. Una vez elegidos ambos valores para una iteración, se calcula la presión de hinchado inicial mediante la expresión 2.14, tomando para la presión atmosférica 10,33 m.

Tras simulaciones sucesivas, finalmente se consigue encontrar un calderín que cumple los requisitos necesarios: impedir que durante el transitorio la presión máxima supere los 160 m y que la mínima caiga por debajo de los 0 m.

En el calderín con la configuración comprobada, la presión máxima que se alcanza es de 155 m, y las presiones mínimas no son inferiores en ningún momento a la línea de alturas piezométricas. Por ello, está garantizada la seguridad de la instalación frente a transitorios. Esto se muestra en la siguiente figura:

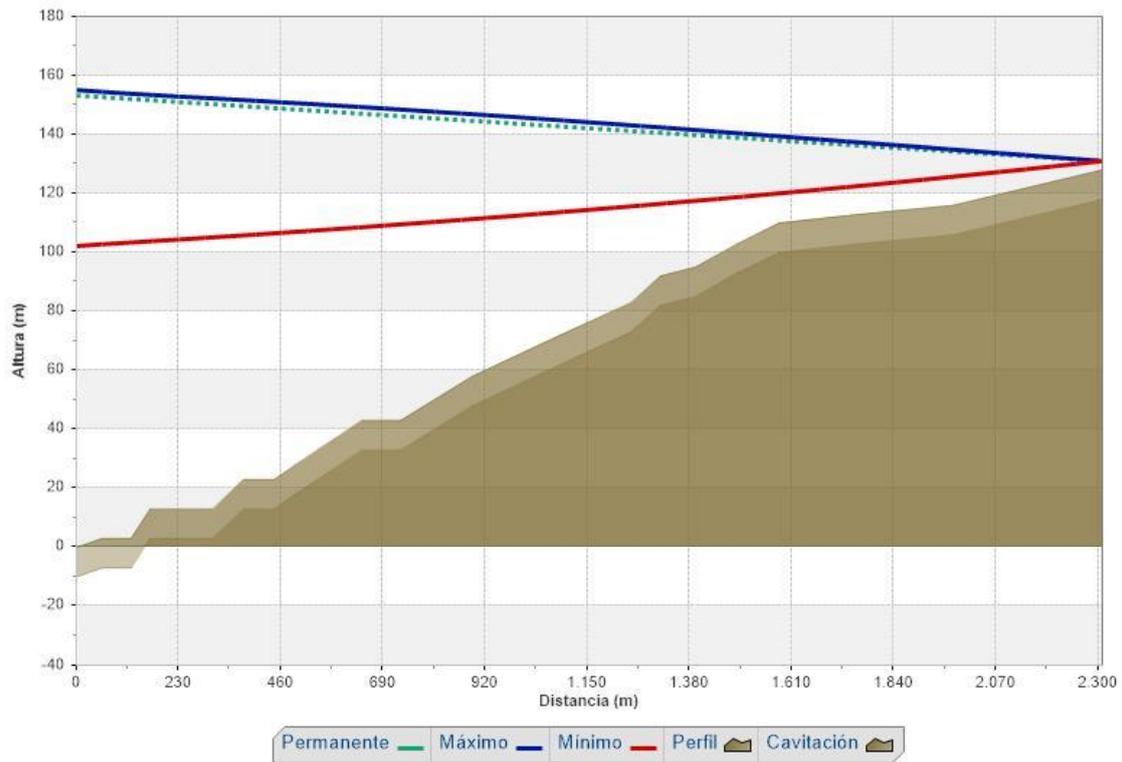


Figura 3.9 Línea de alturas piezométricas en régimen permanente y sus envolventes máxima y mínima durante el transitorio en la conducción (instalación con calderín; extraído de ALLIEVI)

Además, el nivel de agua del calderín seleccionado no llega a 0 m en ningún momento durante el transitorio, es decir, el calderín no se vacía de agua, por lo que cumple todas las condiciones necesarias para ser válido. En la siguiente figura se muestra la evolución del nivel de agua en el calderín:

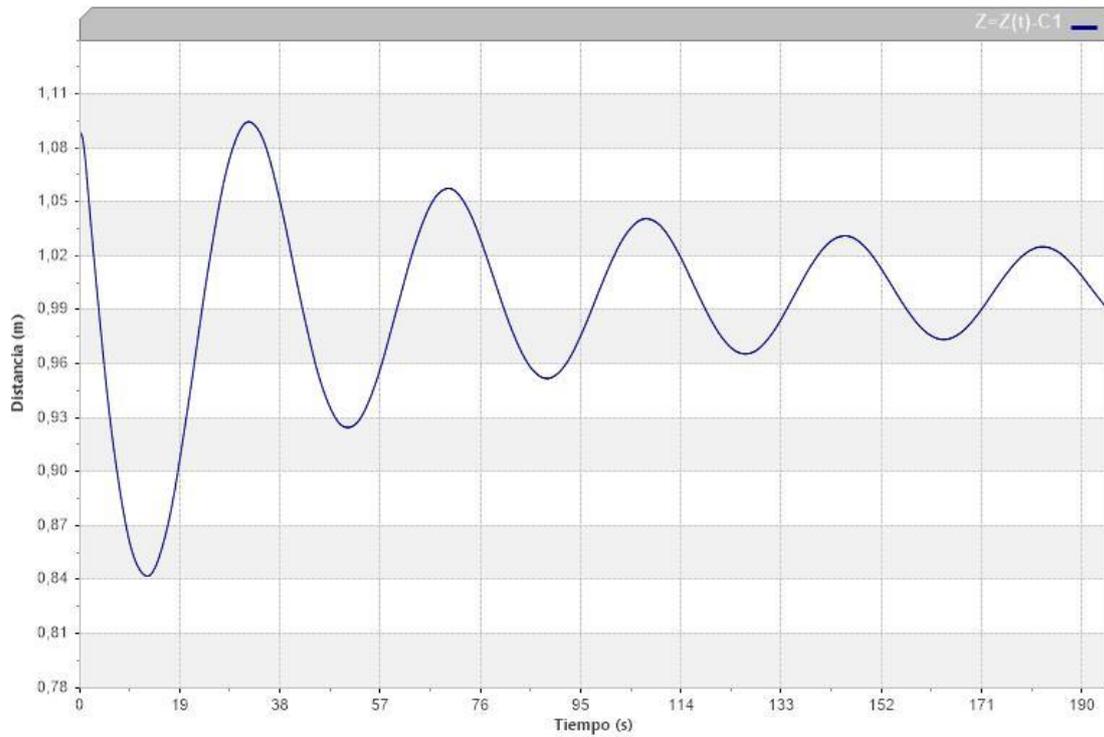


Figura 3.10 Nivel de agua en el calderín durante el transitorio (extraído de ALLIEVI)

Por tanto, el calderín que se selecciona para la instalación de este proyecto es el modelo 1000 AMR de Industrias Ibaiondo SA, que tiene 1000 litros de capacidad, un diámetro de 850 mm y una altura de 2225 mm, además de tener una presión nominal de 160 m, igual que la conducción. El coste del calderín seleccionado es de 4.704,55 €.

4. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Descripción	Importe (€)
Capítulo 1 Movimiento de tierras	190.567,11
Subcapítulo 1.1 Zanja con reposición de firme	172.716,10
Subcapítulo 1.2 Zanja sin reposición de firme	17.851,01
Capítulo 2 Elementos hidráulicos	145.659,27
Capítulo 3 Depósito de regulación	40.820,34
Presupuesto de Ejecución Material	377.046,72

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	377.046,72 €
13% GASTOS GENERALES	49.016,07 €
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	22.622,80 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	448.685,59 €
21% IVA	94.223,97 €
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	542.909,56 €

Asciende el presupuesto base de licitación a la expresada cantidad de:

QUINIENTOS CUARENTA Y DOS MIL NOVECIENTOS NUEVE EUROS CON CINCUENTA Y SEIS CÉNTIMOS

5. CONCLUSIONES

Tras haber analizado múltiples alternativas de diseño para el proyecto, la principal conclusión que se extrae de este trabajo es que el papel que juegan las tarifas de discriminación horaria no es tan decisivo como en un principio se esperaba.

Bombear agua durante las horas de más bajo coste eléctrico parecía conllevar un mayor ahorro, pero con las vigentes tarifas eléctricas resulta más económico mantener funcionando la estación de bombeo durante la mayor parte del día.

Por otra parte, cabe destacar la influencia del tipo de interés en la amortización de los costes de inversión. Así, para un interés del 3%, la opción más económica es la de la hipótesis de trabajo de 24 horas, por apenas 350 € de diferencia con la hipótesis de 20 horas. Cuanto mayor es el tipo de interés, mayor es la diferencia con dicha hipótesis.

Sin embargo, al disminuir el tipo de interés, por debajo del 1,3% la alternativa más económica pasa a ser la de la hipótesis de trabajo de 20 horas. Por tanto, es importante tener en cuenta este parámetro en proyectos de esta índole.

También es interesante resaltar el peso de cada partida presupuestaria en el coste global del proyecto. Resulta llamativo cómo a pesar de ser el componente menos importante y decisivo de la instalación desde el punto de vista hidráulico, la zanja supone más de la mitad del gasto total a desembolsar, lo que lo hace un factor muy decisivo desde el punto de vista económico. Así se puede observar en el siguiente gráfico:

Peso de cada partida en el presupuesto

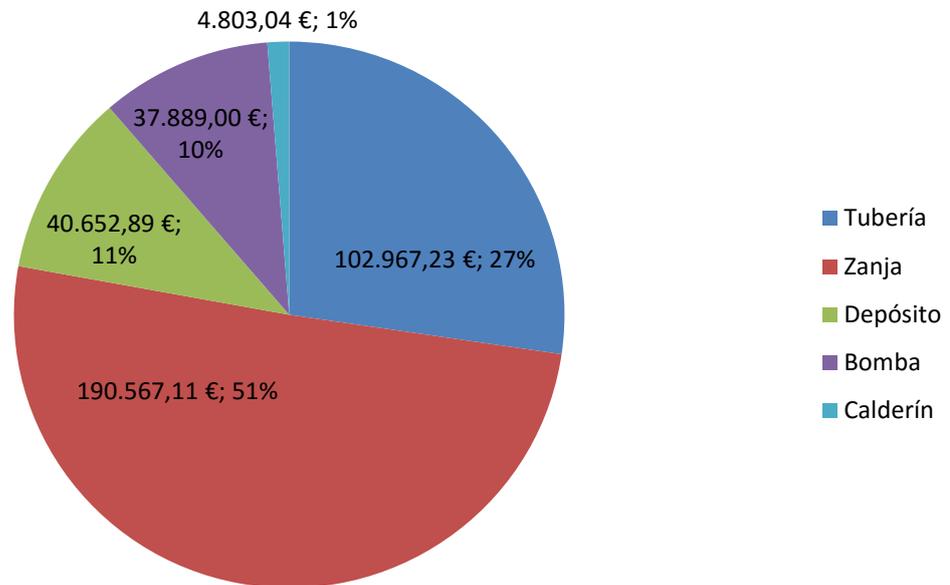


Figura 5.1 Porcentaje que representa el coste de cada partida sobre el presupuesto

Por último, es de especial importancia el favorable efecto que ejerce el calderín en el comportamiento de la instalación ante el fenómeno del transitorio hidráulico, de manera que queda protegida frente a las peligrosas consecuencias del golpe de ariete.

6. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] Instituto Geográfico Nacional. España.
<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/inicio.do>
- [2] Consell de la Generalitat Valenciana. 2007. *DECRETO 229/2007 por el que se aprueba el Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Natural del Montgó*. Comunidad Valenciana, España.
- [3] Conselleria de Medi Ambient. 2002. *DECRETO 180/2002 por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales del Montgó*. Valencia, España.
- [4] Iglesias Rey, P.L.; Aguirre Pascual, A.; Martínez Solano, F.J. 2003. *Ingeniería Hidráulica Aplicada a los Sistemas de Distribución de Agua*. Editorial Universitat Politècnica de València, Valencia, España.
- [5] UNE-EN 805-2000 Abastecimiento de agua. AENOR.
- [6] Real Decreto 216/2014, de 28-mar (BOE 29-mar), art. 16. Precios No-PVPC (TUR-Transitorio).
- [7] Riba Genescà, E. 2005. *Cálculo y elección óptima de un depósito de agua*. PFC presentado en la UPC.
- [8] Apuntes de Mecánica de Fluidos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Valencia. Valencia, España. Consultados curso 2013-14.
- [9] Tarifa 2016 de Industrias Ibaiondo SA.
- [10] Tarifa 2016 de Bombas Grundfos España SA.
- [11] Base de datos 2015 del Instituto Valenciano de la Edificación.
<http://www.five.es/basedatos/Visualizador/Base15/index.htm>
- [12] Catálogo 2016 de Rekalde Biltegia SL.
- [13] López Patiño, G; Fuertes Miquel, V.; Martínez Solano, F.J. 2005. *Ingeniería Hidráulica en los Abastecimientos de Agua*. Editorial Universitat Politècnica de València, Valencia, España.

PRESUPUESTO

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS	1
2. MEDICIONES Y PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....	6
3. PRESUPUESTO FINAL.....	7

1. CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS

Se ha realizado una tabla detallada de las distintas unidades de obra (UO), agrupadas en 3 capítulos. Cada unidad de obra se describe y se desglosa en sus descompuestos, que son los distintos medios que la caracterizan. Para cada uno de estos se especifican su rendimiento y su precio, con los que se obtiene su importe. De esta manera, se obtiene el importe de cada unidad de obra a través de la suma de los importes de sus descompuestos.

Para la elaboración del cuadro de precios descompuestos se han utilizado descripciones y cifras procedentes de la Base de Precios del IVE 2015.

CÓDIGO	U.M.	DESCRIPCIÓN	RDTO.	P. UNIT.	IMPORTE
CAPÍTULO 1 MOVIMIENTO DE TIERRAS					
SUBCAPÍTULO 1.1 ZANJA CON REPOSICIÓN DE FIRME					
UO 1.1	m3	EXCAVACIÓN DE ZANJA			14,62
		Excavación de zanja en roca realizada mediante martillo rompedor, incluida la carga de material y su acopio intermedio o su transporte a vertedero a una distancia menor de 10 km.			
MOOA.8a	h	Oficial 1ª construcción	0,010	15,77	0,16
MOOA12a	h	Peón ordinario construcción	0,020	13,11	0,26
MMME.2fd	h	Retro de orugas 150cv 1,4m3	0,130	87,00	11,31
MMME.8a	h	Suplemento por martillo picador	0,130	20,00	2,60
%		Costes Directos Complementarios	0,020	14,33	0,29
UO 1.2	m3	RELLENO MATERIAL GRANULAR			27,84
		Relleno de zanja con grava.			13,92
MOOA.8A	h	Oficial 1ª construcción	0,040	15,77	0,63
PBRG.1fb	t	Grava caliza 6/12 lvd 10km	1,900	6,50	12,35
MMMR.1de	h	Pala crgra de neum 179cv 3,2m3	0,012	55,76	0,67
%		Costes Directos Complementarios	0,020	13,65	0,27
UO 1.3	m3	RELLENO Y EXTENDIDO MATERIAL INDIFERENCIADO			5,84
		Relleno y extendido de tierras propias con medios mecánicos en capas de 25 cm de espesor máximo, incluido el riego y compactación con grado de 95% del Proctor			

Diseño de una impulsión por bombeo para el suministro de agua a las urbanizaciones de Nova Xàbia, La Plana y La Corona, en Jávea (Alicante)

		normal.			
MOOA12a	h	Peón ordinario construcción	0,040	13,11	0,52
PBAA.1a	m3	Agua	1,200	1,05	1,26
MMMT.5aaa	h	Cmn de transp 10T 8m3 2ejes	0,020	25,71	0,51
MMMC.6c	h	Motoniveladora 140 CV	0,020	63,49	1,27
MMMC.1b	h	Rodll autpro 10 T	0,020	49,41	0,99
MMMR.1de	h	Pala crgra de neum 179cv 3,2m3	0,020	55,76	1,12
%		Costes Directos Complementarios	0,030	5,67	0,17
UO 1.4	m3	RELLENO Y EXTENDIDO MATERIAL ADECUADO			6,57
		Suministro, extendido y compactado de suelo procedente de cantera clasificado como adecuado en zona de cimient, núcleo o espaldones para la formación de terraplén, extendido con un espesor no superior a 30cm, compactado hasta conseguir una densidad del 95% del Protor normal, incluso humectación y/o desecación.			
MOOA12a	h	Peón ordinario construcción	0,003	13,11	0,05
PGTT.9b	m3	Suelo adecuado aportación	1,050	4,67	4,90
MMMT10a	h	Cmn cisterna 8 m3	0,015	54,97	0,82
MMMC.6f	h	Motoniveladora 220 CV	0,005	88,00	0,44
MMMC.1d	h	Rodll autpro 17 T	0,004	61,18	0,27
%		Costes Directos Complementarios	0,020	6,44	0,13
UO 1.5	m2	REPOSICIÓN DE FIRME			22,77
		Formación de pavimento de árido basáltico blanco triturado de 10 cm de espesor acabado, comprendiendo el extendido y refino manual, compactado con bandeja vibratoria manual, incluido reforzado de bordes, humectación y limpieza, sin incluir la formación de la base. Formación de capa de rodadura de 4 cm de espesor final una vez apisonada ejecutada mediante el suministro, extendido y compactación de mezcla bituminosa en caliente, drenante tipo PA 11 B50/70 con árido calizo de tamaño máximo 11 mm.			
MOOA.8a	h	Oficial 1ª construcción	0,050	15,77	0,79
MOOA12a	h	Peón ordinario construcción	0,150	13,11	1,97
PBRG21b	m3	Árido triturado basáltico blanco	0,105	122,40	12,85
MMMR.1bb	h	Pala crgra de neum 102cv 1,7m3	0,010	44,61	0,45
MMMC.3bb	h	Band vibr 140kg 660x600 cm	0,200	3,41	0,68
	m2	Capa rodadura 4cm mezcla bitumin	0,092	60,62	5,58
%		Costes Directos Complementarios	0,020	22,32	0,45
UO 1.6	m3	CARGA Y TRANSPORTE DE TIERRAS			6,43

Diseño de una impulsión por bombeo para el suministro de agua a las urbanizaciones de Nova Xàbia, La Plana y La Corona, en Jávea (Alicante)

		Carga y transporte de tierras de excavación a vertedero o planta de tratamiento autorizado situado a más de 20km de distancia realizado por empresa autorizada, considerando tiempos de ida, carga, vuelta y descarga, todo ello según la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados y la Ley 10/2000 de Residuos de la Comunitat Valenciana.			
MOOA12a	h	Peón ordinario construcción	0,025	13,11	0,33
MMMR.1bb	h	Pala crgra de neum 102cv 1,7m3	0,015	44,61	0,67
MMMT.5aaa	h	Cmn de transp 10T 8m3 2ejes	0,015	25,71	0,39
MMMT.5cca	h	Cmn de transp 15T 12m3 2ejes	0,100	49,05	4,91
%		Costes Directos Complementarios	0,020	6,30	0,13
SUBCAPÍTULO 1.2		ZANJA SIN REPOSICIÓN DE FIRME			
UO 1.1	m3	EXCAVACIÓN DE ZANJA			14,62
		Excavación de zanja en roca realizada mediante martillo rompedor, incluida la carga de material y su acopio intermedio o su transporte a vertedero a una distancia menor de 10 km.			
MOOA.8a	h	Oficial 1ª construcción	0,010	15,77	0,16
MOOA12a	h	Peón ordinario construcción	0,020	13,11	0,26
MMME.2fd	h	Retro de orugas 150cv 1,4m3	0,130	87,00	11,31
MMME.8a	h	Suplemento por martillo picador	0,130	20,00	2,60
%		Costes Directos Complementarios	0,020	14,33	0,29
UO 1.2	m3	RELLENO MATERIAL GRANULAR			27,84
		Relleno de zanja con grava.			13,92
MOOA.8A	h	Oficial 1ª construcción	0,040	15,77	0,63
PBRG.1fb	t	Grava caliza 6/12 lvd 10km	1,900	6,50	12,35
MMMR.1de	h	Pala crgra de neum 179cv 3,2m3	0,012	55,76	0,67
%		Costes Directos Complementarios	0,020	13,65	0,27
UO 1.3	m3	RELLENO Y EXTENDIDO MATERIAL INDIFERENCIADO			5,84
		Relleno y extendido de tierras propias con medios mecánicos en capas de 25 cm de espesor máximo, incluido el riego y compactación con grado de 95% del Proctor normal.			
MOOA12a	h	Peón ordinario construcción	0,040	13,11	0,52
PBAA.1a	m3	Agua	1,200	1,05	1,26
MMMT.5aaa	h	Cmn de transp 10T 8m3 2ejes	0,020	25,71	0,51
MMMC.6c	h	Motoniveladora 140 CV	0,020	63,49	1,27
MMMC.1b	h	Rodll autpro 10 T	0,020	49,41	0,99

Diseño de una impulsión por bombeo para el suministro de agua a las urbanizaciones de Nova Xàbia, La Plana y La Corona, en Jávea (Alicante)

MMMR.1de	h	Pala crgra de neum 179cv 3,2m3	0,020	55,76	1,12
%		Costes Directos Complementarios	0,030	5,67	0,17
UO 1.4	m3	RELLENO Y EXTENDIDO MATERIAL ADECUADO			6,57
		Suministro, extendido y compactado de suelo procedente de cantera clasificado como adecuado en zona de cimient, núcleo o espaldones para la formación de terraplén, extendido con un espesor no superior a 30cm, compactado hasta conseguir una densidad del 95% del Protor normal, incluso humectación y/o desecación.			
MOOA12a	h	Peón ordinario construcción	0,003	13,11	0,05
PGTT.9b	m3	Suelo adecuado aportación	1,050	4,67	4,90
MMMT10a	h	Cmn cisterna 8 m3	0,015	54,97	0,82
MMMC.6f	h	Motoniveladora 220 CV	0,005	88,00	0,44
MMMC.1d	h	Rodll autpro 17 T	0,004	61,18	0,27
%		Costes Directos Complementarios	0,020	6,44	0,13
UO 1.6	m3	CARGA Y TRANSPORTE DE TIERRAS			6,43
		Carga y transporte de tierras de excavación a vertedero o planta de tratamiento autorizado situado a más de 20km de distancia realizado por empresa autorizada, considerando tiempos de ida, carga, vuelta y descarga, todo ello según la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados y la Ley 10/2000 de Residuos de la Comunitat Valenciana.			
MOOA12a	h	Peón ordinario construcción	0,025	13,11	0,33
MMMR.1bb	h	Pala crgra de neum 102cv 1,7m3	0,015	44,61	0,67
MMMT.5aaa	h	Cmn de transp 10T 8m3 2ejes	0,015	25,71	0,39
MMMT.5cca	h	Cmn de transp 15T 12m3 2ejes	0,100	49,05	4,91
%		Costes Directos Complementarios	0,020	6,30	0,13
CAPÍTULO 2	ELEMENTOS HIDRÁULICOS				
UO 2.1	m	TUBERÍA DE FUNDICIÓN			44,59
		Suministro e instalación en zanja de tubo de fundición dúctil para abastecimiento de agua potable clase 40 de 150mm de diámetro nominal, recubierto exteriormente de zinc y pintura bituminosa e interiormente de mortero de cemento centrifugado, con marcado AENOR y conforme a la UNE EN 545-2002, incluida la parte proporcional de las juntas estándar y sin incluir la excavación ni rellenos de la zanja.			
MOOF.8a	h	Oficial 1ª fontanería	0,100	16,58	1,66
MOOA.8a	h	Oficial 1ª construcción	0,180	15,77	2,84
MOOA12a	h	Peón ordinario construcción	0,180	13,11	2,36

Diseño de una impulsión por bombeo para el suministro de agua a las urbanizaciones de Nova Xàbia, La Plana y La Corona, en Jávea (Alicante)

MMMT.9a	h	Cmn grúa p/descarga tb H	0,020	56,02	1,12
PUAC.1ea	h	Tb fund Ø 150mm	1,050	34,04	35,74
%		Costes Directos Complementarios	0,020	43,72	0,87
UO 2.2	ud.	BOMBAS			9.472,25
	h	Oficial 1ª fontanería	0,120	16,58	1,99
	h	Oficial 1ª electricidad	0,140	16,58	2,32
	ud.	Bomba CR 20-14	1	8776,00	8.776,00
PIFG34f	ud.	Válvula de esfera fund Ø50mm (2")	3	167,45	502,35
%		Costes Directos Complementarios	0,020	9479,67	189,59
UO 2.3	ud.	CALDERÍN			4.803,04
	ud.	Calderín 1000 AMR	1	4.704,55	4.704,55
	h	Oficial 1ª fontanería	0,120	16,58	1,99
	h	Oficial 1ª electricidad	0,140	16,58	2,32
%		Costes Directos Complementarios	0,020	4708,86	94,18
CAPÍTULO 3 DEPÓSITO DE REGULACIÓN					
UO 3.1	ud.	DEPÓSITO DE REGULACIÓN			40.820,34
	ud.	Depósito	1	40.652,89	40.652,89
PIFG34f	ud.	Válvula de esfera fund Ø50mm (2")	3	167,45	502,35

2. MEDICIONES Y PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN

MATERIAL

Los valores aquí empleados provienen de los correspondientes cálculos realizados en la memoria.

Unidad de obra	Precio unitario	Anchura-Altura	Longitud	Importe (€)
Capítulo 1				190.567,11
Subcapítulo 1.1				172.716,10
UO 1.1	14,62	2,322	1973,3	66.988,88
UO 1.2	27,84	0,115	1973,3	6.317,72
UO 1.3	5,84	1,860	1973,3	21.434,77
UO 1.4	6,57	0,329	1973,3	4.265,35
UO 1.5	22,77	1,510	1973,3	67.847,38
UO 1.6	6,43	0,462	1973,3	5.862,00
Subcapítulo 1.2				17.851,01
UO 1.1	14,62	2,322	335,9	11.403,01
UO 1.2	27,84	0,115	335,9	1.075,42
UO 1.3	5,84	1,860	335,9	3.648,68
UO 1.4	6,57	0,329	335,9	726,06
UO 1.6	6,43	0,462	335,9	997,84
Capítulo 2				145.659,27
UO 2.1	44,59		2309,2	102967,23
UO 2.2	9.472,25		4	37.889,00
UO 2.3	4.803,04		1	4.803,04
Capítulo 3				40.820,34
UO 3.1	40.820,34		1	40.820,34
TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL				377.046,72

3. PRESUPUESTO FINAL

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	377.046,72 €
13% GASTOS GENERALES	49.016,07 €
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	22.622,80 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	448.685,59 €
21% IVA	94.223,97 €
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	542.909,56 €

Asciende el presupuesto base de licitación a la expresada cantidad de:

QUINIENTOS CUARENTA Y DOS MIL NOVECIENTOS NUEVE EUROS CON CINCUENTA Y SEIS CÉNTIMOS

PLANOS

Diseño de una impulsión por bombeo para el suministro de agua a las urbanizaciones de Nova Xàbia, La Plana y La Corona, en Jávea (Alicante)

ÍNDICE DE LOS PLANOS

1. EMPLAZAMIENTO
2. TRAZADOS EN PLANTA DE LAS ALTERNATIVAS ESTUDIADAS
3. PERFIL LONGITUDINAL DEL TRAZADO SELECCIONADO PARA LA CONDUCCIÓN
4. ESQUEMA HIDRÁULICO



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Proyecto:

DISEÑO DE UNA IMPULSIÓN POR BOMBEO
PARA EL SUMINISTRO DE AGUA A LAS
URBANIZACIONES DE NOVA XÀBIA, LA PLANA
Y LA CORONA, EN JÀVEA (ALICANTE)

Fecha:

Junio 2016

Escala:

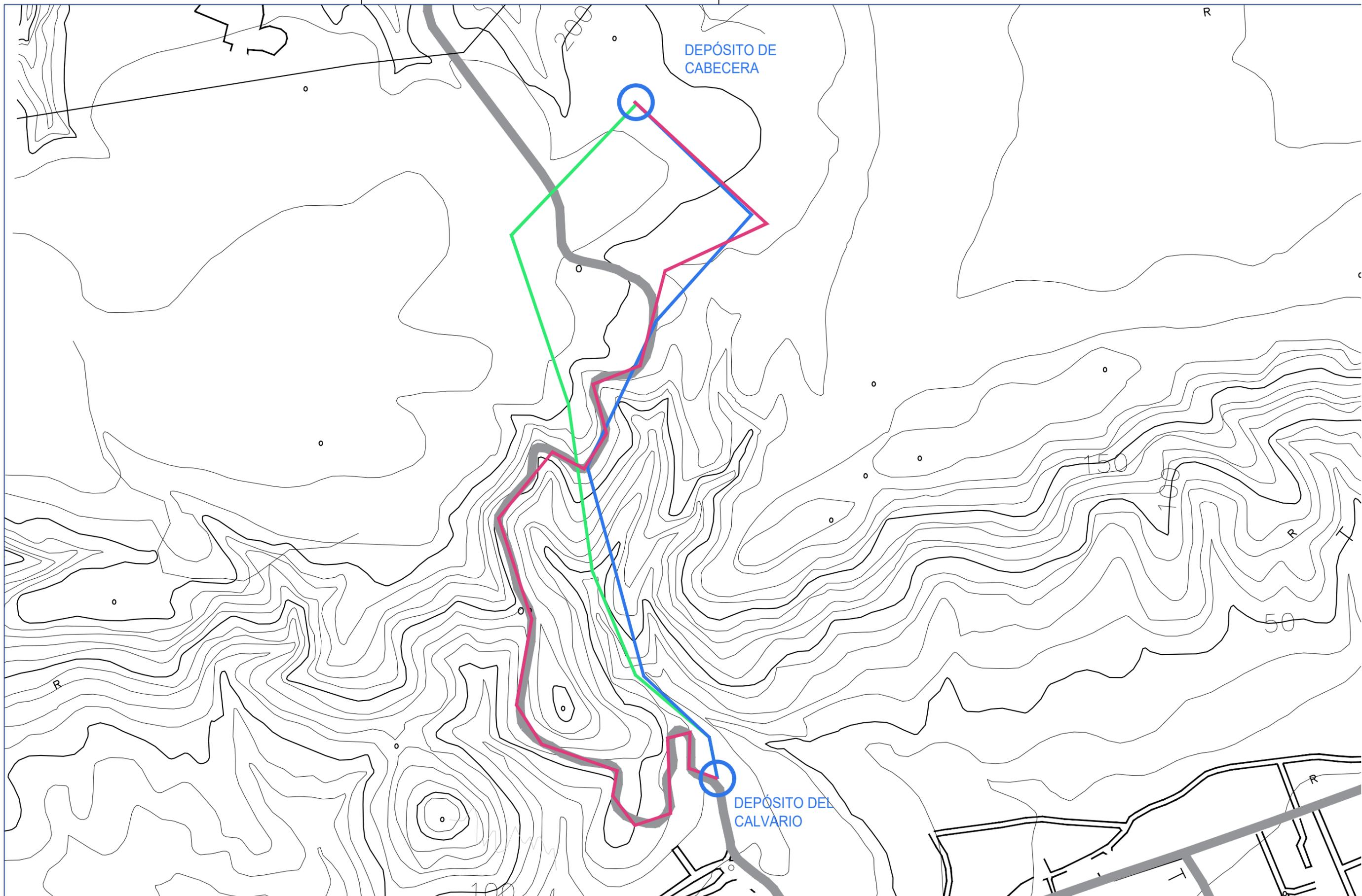
Plano:

Emplazamiento

Nº Plano:

Héctor Llorens Garduño
Autor proyecto

1



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



Proyecto: DISEÑO DE UNA IMPULSIÓN POR BOMBEO PARA EL SUMINISTRO DE AGUA A LAS URBANIZACIONES DE NOVA XÀBIA, LA PLANA Y LA CORONA, EN JÀVEA (ALICANTE)

Plano: Trazados en planta de las alternativas estudiadas
 Autor: Héctor Llorens Garduño

Fecha: Junio 2016
 Escala: 1:6500

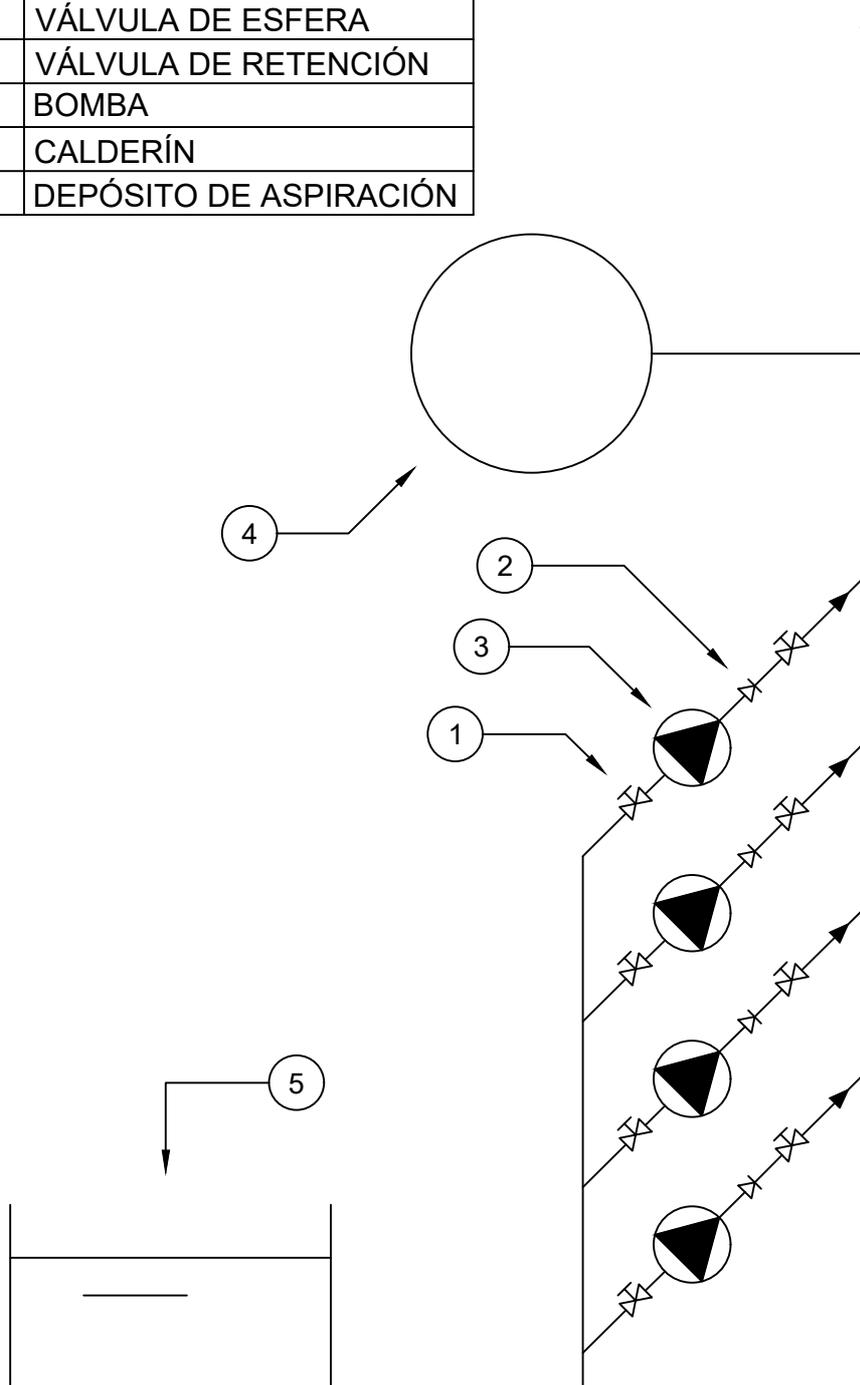
Nº Plano: 2



DIST. PARCIAL (m)	56,4	66,7	42,8	140,4	70,1	68,8	47,2	149,8	86,8	162	198,5	158,7	66,6	77,7	95,1	94,1	183,2	208,4	335,9
DIST. ACUMULADA (m)	56,4	123,1	165,9	306,3	376,4	445,2	492,4	642,2	729	891	1089,5	1248,2	1314,8	1392,5	1487,6	1581,7	1764,9	1973,3	2309,2
COTA (m)	77	80	90	90	100	100	105	120	120	135	149	160	169	172	180	187	190	193	205
DIÁMETRO (mm)	150																		
MATERIAL	FD / PN-16																		
TIPO DE TERRENO	URBANO																		
TIPO DE PAVIMENTO	CON PAVIMENTO																		

Nº	CTDAD	DESCRIPCIÓN
1	8	VÁLVULA DE ESFERA
2	4	VÁLVULA DE RETENCIÓN
3	4	BOMBA
4	1	CALDERÍN
5	1	DEPÓSITO DE ASPIRACIÓN

A DEPÓSITO DE REGULACIÓN



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Proyecto:

DISEÑO DE UNA IMPULSIÓN POR BOMBEO
PARA EL SUMINISTRO DE AGUA A LAS
URBANIZACIONES DE NOVA XÀBIA, LA PLANA
Y LA CORONA, EN JÁVEA (ALICANTE)

Fecha:

Junio 2016

Escala:

Plano:

Esquema hidráulico

Nº Plano:

Héctor Llorens Garduño
Autor proyecto

4