



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño de la red de suministro de agua potable de
Villafranca de los Barros (Extremadura)

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Mancera Vizquete, Ana

Tutor/a: Bayón Barrachina, Arnau

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicar este trabajo a mis padres y hermana, porque siempre han confiado en mí más de lo que yo lo hago y porque sin su apoyo no estaría donde estoy. A mi familia y amigos, por haberme acompañado a lo largo del camino y por hacerme sentir tan afortunada de tenerlos.

A mis compañeros, por haberme enseñado a sacar la parte buena de las cosas y por haber hecho de esta etapa algo inolvidable. A todos los profesores que he tenido a lo largo de mi vida, porque todos me han enseñado algo y han puesto su grano de arena en mi formación académica.

A Arnau, mi tutor, por haberse dispuesto a ayudarme con el proyecto, y haberme guiado y enseñado tanto en este tiempo. Por su atención y sus consejos, que han hecho posible el desarrollo del presente trabajo.

Por último, quiero agradecer a la empresa Acciona, contratada por el Ayuntamiento de Villafranca de los Barros, y en concreto a Víctor Martínez, por haberme proporcionado información acerca del abastecimiento de agua del municipio, con lo que el diseño propuesto en el trabajo se ajusta lo máximo posible a la realidad.

RESUMEN

El objetivo del trabajo reside en satisfacer la demanda de agua potable del municipio de Villafranca de los Barros, una localidad extremeña que ronda los 12500 habitantes.

El proyecto consiste en diseñar una nueva instalación de distribución de agua potable, tarea que conlleva seleccionar el recorrido que describirán las conducciones y dimensionar los equipos de bombeo necesarios para suministrar el caudal a los depósitos elevados, que serán los que abastezcan los sectores en los que se dividirá el territorio. Los datos censales y la demanda hídrica serán extraídos del propio ayuntamiento del municipio.

En la elaboración del proyecto, se hará uso del programa EPANET para el cálculo hidráulico de la instalación. Por otro lado, la información cartográfica será extraída de los modelos de elevación digital del Instituto Geográfico Nacional, que serán tratados mediante el software de sistema de información geográfica Q-GIS.

Palabras clave: Hidráulica; abastecimiento; agua; EPANET

RESUM

L'objectiu del treball resideix a satisfer la demanda d'aigua potable del municipi de Villafranca de los Barros, una localitat extremeña que ronda els 12500 habitants. El projecte consisteix a dissenyar una nova instal·lació de distribució d'aigua potable, tasca que comporta seleccionar el recorregut que descriuran les conduccions i dimensionar els equips de bombeig necessaris per a subministrar el cabal als depòsits elevats, que serán els que abastisquen els sectors en els quals es dividirà el territori. Les dades censals i la demanda hídrica seran extrets del propi ajuntament del municipi.

En l'elaboració del projecte, es farà ús del programa EPANET per al càlcul hidràulic de la instal·lació. D'altra banda, la informació cartogràfica serà extreta dels models d'elevació digital de l'Institut Geogràfic Nacional, que seran tractats mitjançant el software de sistema d'informació geogràfica Q-GIS.

Paraules clau: Hidràulica; abastiment; aigua; EPANET

ABSTRACT

The objective of this work is to satisfy the demand of drinking water in the municipality of Villafranca de los Barros, a town in Extremadura with around 12,500 inhabitants.

The project consists of designing a new drinking water distribution, a task that involves selecting the route that the pipes will describe and sizing the pumping equipment necessary to supply the flow to the elevated tanks, those that will supply the territory, divided into sectors. The census data and the water demand will be extracted from the municipality's own council.

In the elaboration of the project, EPANET program will be used for the hydraulic calculation of the installation. On the other hand, the cartographic information will be extracted from the models of digital elevation of the National Geographic Institute, which will be processed through the software of geographic information system Q-GIS.

Keywords: Hydraulics; catering; water; EPANET

Índice general

DOCUMENTO 1: MEMORIA

DOCUMENTO 2: ANEXOS DE LA MEMORIA

DOCUMENTO 3: PRESUPUESTO

DOCUMENTO 4: PLANOS



DOCUMENTO 1: MEMORIA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. ANTECEDENTES.....	1
1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	1
1.2. EVOLUCIÓN DEMOGRÁFICA	2
1.3. FUENTES DE SUMINISTRO	3
2. OBJETIVO.....	4
3. NORMATIVA	5
4. ANÁLISIS TEÓRICO.....	6
4.1. ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN	6
4.1.1. TUBERÍAS.....	6
4.1.2. SISTEMA DE BOMBEO.....	7
4.1.3. VÁLVULAS.....	7
4.1.4. DEPÓSITO DE COMPENSACIÓN	8
4.1.5. EMBALSE	9
4.1.6. ZANJA.....	9
4.2. ECUACIONES FUNDAMENTALES.....	10
4.2.1. ECUACIÓN DE BERNOULLI	10
4.2.2. ECUACIÓN DE PÉRDIDAS.....	11
5. INSTALACIÓN ACTUAL	16
5.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS PUNTOS DE CONSUMO.....	16
5.2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA	17
5.2.1. CÁLCULO DE LA DEMANDA BASE.....	18
5.2.2. PATRÓN DE DEMANDA	18
5.3. TRAZADO DE LA RED	19
5.4. TOPOGRAFÍA.....	20
5.5. ESQUEMA HIDRÁULICO.....	21
5.5.1. CÁLCULO DE LAS CONDUCCIONES	22
5.5.2. SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO	23
5.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	28
5.6.1. PRESIONES EN LOS NUDOS	28
5.6.2. VELOCIDADES EN LAS CONDUCCIONES	29
6. INSTALACIÓN A DISEÑAR	30
6.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS PUNTOS DE CONSUMO.....	30

6.2. NÚMERO DE ABONADOS.....	32
6.3. ANÁLISIS DE LA DEMANDA	33
6.3.1. CÁLCULO DE LA DEMANDA BASE	33
6.3.2. PATRÓN DE DEMANDA	34
6.4. TRAZADO DE LA RED	34
6.5. ESQUEMA HIDRÁULICO	36
6.5.1. CÁLCULO DE LAS CONDUCCIONES	36
6.5.2. DISEÑO DE LOS DEPÓSITOS.....	38
6.6. TRATAMIENTO DE LA RED	40
6.6.1. LEYES DE CONTROL.....	40
6.6.2. REGULACIÓN DE LAS PRESIONES	41
6.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	42
6.7.1. SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO	42
6.7.2. DIMENSIONES DE LAS CONDUCCIONES.....	43
6.7.3. DIMENSIONES DE LOS DEPÓSITOS	44
6.7.4. LLENADO Y VACIADO DE LOS DEPÓSITOS.....	44
6.7.5. PRESIONES EN LOS NUDOS	45
6.7.6. VELOCIDADES EN LAS CONDUCCIONES	46
6.8. EXCAVACIÓN DE LAS ZANJAS	47
6.8.1. VOLUMEN DE EXCAVACIÓN	47
6.8.2. RELLENO DE LA ZANJA	48
7. CONCLUSIÓN	50
8. BIBLIOGRAFÍA	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ubicación de la provincia de Badajoz en España	1
Ilustración 2: Ubicación de Villafranca en España	1
Ilustración 3: Ubicación de Villafranca en la provincia de Badajoz	1
Ilustración 4: Evolución demográfica de Villafranca en el último siglo.....	2
Ilustración 5: Situación del municipio y su fuente de suministro.....	3
Ilustración 6: Tubería de polietileno	6
Ilustración 7: Esquema de un equipo de bombeo en paralelo	7
Ilustración 8: Válvula reductora	8
Ilustración 9: Ejemplo de depósito de cabecera	8
Ilustración 10: Embalse Los Molinos.....	9
Ilustración 11: Ejemplo de zanja en el terreno	9
Ilustración 12: Flujo laminar y turbulento	13
Ilustración 13: Diagrama de Moody.....	13
Ilustración 14: Ubicación de los puntos característicos de la red actual	17
Ilustración 15: Curva de modulación de la demanda del municipio.....	17
Ilustración 16: Patrón de demanda del municipio	18
Ilustración 17: Aproximación inicial del trazado de la red actual.....	19
Ilustración 18: Trazado final de la red actual.....	20
Ilustración 19: Perfil topográfico del tramo de la red actual.....	20
Ilustración 20: Esquema hidráulico de la red actual.....	21
Ilustración 21: Primer análisis de la red para obtener la altura que han de aportar las bombas	25
Ilustración 22: Obtención de la presión de servicio mínima requerida	26
Ilustración 23: Curva motriz del modelo UPAS 200-52	27
Ilustración 24: Curva de eficiencia del modelo UPAS 200-52	27
Ilustración 25: Resultados en red actual	28
Ilustración 26: Evolución de la presión en los nudos de la red actual	28
Ilustración 27: Evolución de la velocidad en la conducción de la red actual.....	29
Ilustración 28: Ubicación geográfica de los puntos de consumo de la red a diseñar.....	31
Ilustración 29: Ubicación de los puntos característicos de la red a diseñar	32
Ilustración 30: Patrón de demanda de los 16 sectores	34
Ilustración 31: Trazado de la red a diseñar.....	35
Ilustración 32: Detalle del trazado de la red a diseñar.....	35
Ilustración 33: Esquema hidráulico inicial de la red a diseñar	36
Ilustración 34: Red ramificada.....	38
Ilustración 35: Red mallada.....	38
Ilustración 36: Esquema hidráulico definitivo de la red a diseñar	41
Ilustración 37: Curva motriz del modelo UPA 200B-80.....	42
Ilustración 38: Curva de eficiencia del modelo UPA 200B-80.....	42
Ilustración 39: Evolución del nivel de los depósitos a lo largo del día	44
Ilustración 40: Llenado y vaciado de los depósitos durante varios días de simulación	45
Ilustración 41: Evolución de la presión en los nudos de consumo de la red a diseñar.....	45
Ilustración 42: Evolución de la velocidad en las conducciones de la red a diseñar.....	46
Ilustración 43: Esquema del relleno de la zanja	48
Ilustración 44: Evolución de la tarifa eléctrica a lo largo del día	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Evolución demográfica en los últimos años	2
Tabla 2: Ubicación geográfica de la ETAP y del Embalse los Molinos.....	3
Tabla 3: Dimensiones nominales de las tuberías de PE	6
Tabla 4: Expresiones factor de fricción	14
Tabla 5: Algunos coeficientes de pérdidas en accesorios	15
Tabla 6: Ubicación geográfica de los puntos de consumo de la red actual.....	16
Tabla 7: Factores del patrón de demanda del municipio.....	19
Tabla 8: Longitudes de las conducciones de la red actual.....	22
Tabla 9: Diámetros de las conducciones de la red actual.....	22
Tabla 10: Ubicación geográfica de los puntos de consumo de la red a diseñar	30
Tabla 11: Ubicación geográfica de los depósitos de la red a diseñar	31
Tabla 12: Estimación del número de abonados en cada sector.....	32
Tabla 13: Demanda base de los puntos de consumo de la red a diseñar	34
Tabla 14: Longitud de las conducciones de la red a diseñar.....	37
Tabla 15: Volumen de los depósitos	39
Tabla 16: Diámetro y altura de los depósitos	39
Tabla 17: Diámetro de las conducciones de la red a diseñar.....	43
Tabla 18: Dimensiones definitivas de los depósitos de la red a diseñar.....	44
Tabla 19: Ancho mínimo de zanja en función del diámetro nominal de tubería	47
Tabla 20: Relación entre el ancho mínimo de la zanja y la profundidad de la misma.....	47
Tabla 21: Volumen de excavación necesario	48
Tabla 22: Volumen de relleno cama de apoyo (capa 5).....	49
Tabla 23: Volumen de relleno asiento (capa 4).....	49
Tabla 24: Volumen de relleno lateral (capa 3)	49
Tabla 25: Volumen de relleno inicial (capa 2).....	49
Tabla 26: Volumen de relleno principal (capa 1).....	50
Tabla 27: Volúmenes de relleno definitivos	50
Tabla 28: Factores del patrón de precios	51
Tabla 29: Informe energético red actual	51
Tabla 30: Informe energético red a diseñar.....	52

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Trinomio de Bernoulli	10
Ecuación 2: Primera aproximación a la ecuación de Bernoulli	11
Ecuación 3: Ecuación de Darcy-Weisbach	12
Ecuación 4: Expresión del número de Reynolds.....	12
Ecuación 5: Ecuación de pérdidas locales.....	14
Ecuación 6: Ecuación de Bernoulli	15
Ecuación 7: Obtención de los factores del patrón de demanda	18
Ecuación 8: Expresión del caudal en función del volumen y el área	22
Ecuación 9: Relación altura-caudal de una bomba.....	23
Ecuación 10: Altura y caudal totales en un acoplamiento de bombas en serie.....	23
Ecuación 11: Relación altura-caudal de un acoplamiento de bombas en serie.....	24
Ecuación 12: Altura y caudal totales en un acoplamiento de bombas en paralelo.....	24
Ecuación 13: Relación altura-caudal de un acoplamiento de bombas en paralelo.....	24
Ecuación 14: Cálculo del volumen de los depósitos	38
Ecuación 15: Volumen de un cilindro.....	39
Ecuación 16: Cálculo del volumen de excavación	47
Ecuación 17: Cálculo de la profundidad del asiento	48
Ecuación 18: Cálculo de la profundidad del relleno lateral	49

1. ANTECEDENTES

1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El presente trabajo se desarrolla en la provincia de Badajoz, situada al suroeste de la península, en la frontera con Portugal. Esta cuenta con una extensión de 21 766 km², lo que la convierte en la provincia más extensa de España [1].



Ilustración 1: Ubicación de la provincia de Badajoz en España

De entre los 207 municipios pertenecientes a Badajoz, el objeto de estudio del trabajo se centra en Villafranca de los Barros, una localidad que se encuentra a una altitud media de 410 msnm (metros sobre el nivel del mar) y que cuenta con una extensión de 104,4 km². Con las siguientes imágenes se puede tomar una mejor visión de dónde se encuadra el proyecto [2].



Ilustración 2: Ubicación de Villafranca en España



Ilustración 3: Ubicación de Villafranca en la provincia de Badajoz

1.2. EVOLUCIÓN DEMOGRÁFICA

Según los datos registrados por el INE (Instituto Nacional de Estadística), podemos obtener la siguiente gráfica en la que se observa la evolución demográfica de Villafranca de los Barros [3]:

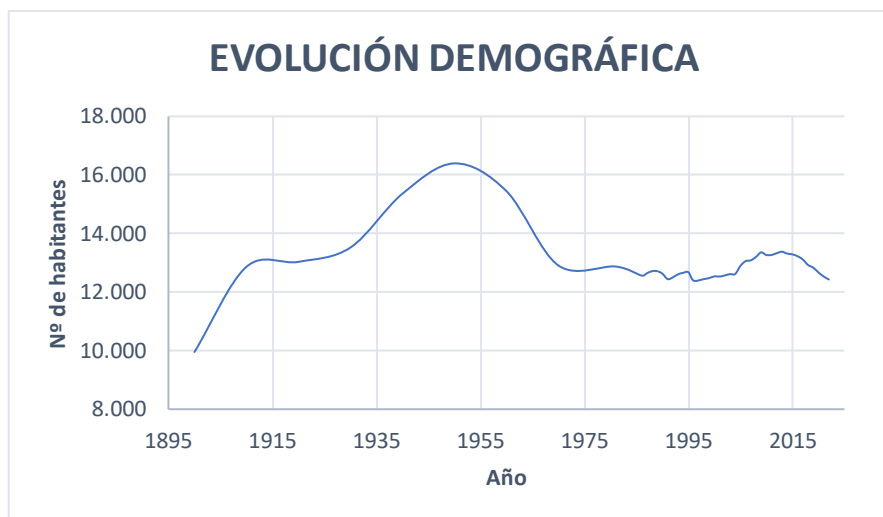


Ilustración 4: Evolución demográfica de Villafranca en el último siglo

Es destacable comentar que la población censada sufrió un fuerte descenso entre los años 1950 y 1970, debido al éxodo rural. Este fenómeno se caracterizó por la migración de las familias rurales hacia el medio urbano. Así, provincias como Badajoz, perdieron parte de su población, que emigró a focos industriales como Madrid, Barcelona o País Vasco en busca de oportunidades laborales.

Si nos centramos en los últimos años para tener una referencia actual de habitantes, lo cual nos será de utilidad para la posterior asignación de demanda hídrica del municipio, obtenemos los siguientes datos, recogidos en una tabla:

Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Nº habitantes	13.289	13.224	13.114	12.926	12.835	12.673	12.534	12.429

Tabla 1: Evolución demográfica en los últimos años

Se puede comprobar que desde 2015, la población se ha ido manteniendo, aunque con una ligera tendencia descendente, por lo que se puede decir que Villafranca de los Barros sigue sufriendo a día de hoy las consecuencias de la despoblación rural.

En definitiva, para el diseño de la red, puesto que en el municipio no existe una fuerte variación estacional, se tomará como número de abonados el registro más actual, que es de unos 12500 habitantes, tomado el año pasado.

1.3. FUENTES DE SUMINISTRO

Villafranca de los Barros, junto con otras ocho localidades (Puebla de la Reina, Palomas, Hinojosa del Valle, Hornachos, Ribera del Fresno, Puebla del Prior, Los Santos de Maimona y Fuente del Maestre), pertenece a la conocida como Mancomunidad Los Molinos.

Actualmente, el suministro de agua de este grupo de municipios procede del embalse Los Molinos, que cuenta con una capacidad de 34 hm³. Este se asienta sobre el cauce del río Matachel, situado en Hornachos, uno de los pueblos pacenses que se mencionaban anteriormente [4].

Concretamente, en el municipio objeto de estudio de este proyecto, tomando la información cedida por la empresa suministradora de agua, se sabe que la demanda de la población se abastece desde la ETAP (Estación de Tratamiento de Agua Potable) de la mancomunidad. La potabilizadora toma el agua del Embalse Los Molinos y la distribuye por el municipio de manera directa gracias a un equipo de bombeo.

En la siguiente tabla, se puede conocer la ubicación exacta del embalse y la ETAP, así como su altitud:

Elemento	Altitud (msnm)	(Latitud, Longitud)
Embalse Los Molinos	348	(38.5314, -6.1272)
ETAP	330	(38.5354, -6.1203)

Tabla 2: Ubicación geográfica de la ETAP y del Embalse los Molinos

Para adquirir una mejor percepción del escenario en el que se sitúa el proyecto, se presenta a continuación un recorte de mapa topográfico, en el que se puede distinguir la situación geográfica del municipio y del embalse.



Ilustración 5: Situación del municipio y su fuente de suministro

2. OBJETIVO

Actualmente, el suministro de agua potable en Villafranca de los Barros se realiza por inyección directa desde la ETAP. Es decir, a lo largo del recorrido, tan solo interviene un equipo de bombeo, encargado de hacer llegar al municipio todo el caudal demandado. El hecho de no disponer de ningún depósito regulador presenta varios inconvenientes.

Por un lado, se manifiesta la escasa resiliencia de la instalación en caso de avería. Si se diera algún tipo de fallo de funcionamiento en el grupo de bombeo, el municipio se quedaría sin suministro. Esto supondría un problema, teniendo en cuenta que la demanda de agua por parte de la población no es destinada únicamente al uso doméstico. También se han de valorar otros posibles consumos, como el de la industria o el del riego de campos.

Por otro lado, se ha de considerar la poca eficiencia energética que presenta la instalación. El equipo de bombeo funciona cuando se le requiere y ha de hacer frente a las posibles fluctuaciones de demanda hídrica a lo largo del día, por lo que es posible que no se tenga en cuenta la discriminación horaria, lo que podría estar ocasionando grandes gastos económicos para el municipio en términos de energía eléctrica consumida.

Todo ello hace que la infraestructura hidráulica esté quedando obsoleta y se tenga la necesidad de diseñar una nueva red, en la que se propongan medidas para intentar subsanar los problemas mencionados.

En la nueva propuesta de diseño, se sectorizará el municipio en diferentes núcleos urbanos. Todos ellos tomarán el agua de la planta potabilizadora, pero se hará uso de depósitos de cabecera. Con ello, se pretende que el grupo de bombeo esté en funcionamiento durante las franjas horarias más baratas, en cuanto a tarifa eléctrica se refiere, e impulse caudal para llenar los depósitos. Así, estos podrán suministrar agua a la población durante el resto de las horas del día, en las que la energía tiene un mayor coste, pero las bombas no estarán arrancadas. Con esta propuesta también se evitan posibles cortes de suministro en caso de averías o necesidad de mantenimiento del equipo eléctrico.

3. NORMATIVA

El presente trabajo se apoya en una serie de normativas, que regulan los proyectos de instalaciones de suministro hidráulico:

Norma UNE-EN 805:2000. [5] Abastecimiento de agua. Especificaciones para redes exteriores a los edificios y sus componentes

Esta norma establece especificaciones generales para las redes de abastecimiento de agua exteriores a los edificios, incluyendo conducciones principales, secundarias y acometidas de agua potable, los depósitos de red, otras instalaciones y conducciones de agua bruta y especificaciones generales para los componentes. Las especificaciones de esta norma se aplican al diseño y construcción de nuevas redes de abastecimiento de agua y a la modificación y/o rehabilitación importante de redes de abastecimiento de agua existentes.

Norma tecnológica NTE-IFA/1975. [6] Instalaciones de fontanería: Abastecimiento.

Las Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE) regulan cada una de las actuaciones que intervienen en el proceso edificatorio: diseño, cálculo, construcción, control, valoración y mantenimiento. No son de obligado cumplimiento, sino recomendaciones (salvo especificación en proyecto arquitectónico).

Real Decreto 314/2006. [7]

Da validez al Código Técnico de la Edificación (CTE), es el conjunto principal de normativas que regulan la construcción de edificios en España desde 2006. En él se establecen los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad de las construcciones, y sus exigencias intervienen en las fases de proyecto, construcción, mantenimiento y conservación.

4. ANÁLISIS TEÓRICO

4.1. ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

4.1.1. TUBERÍAS

Son uno de los elementos más importantes en una red de distribución, dado que son los conductos de sección circular por los que transcurre el agua, y que hacen que esta llegue a su destino.

Las tuberías empleadas en el transporte y distribución de agua potable pueden estar fabricadas de diversos materiales. Entre ellos destacan el PVC, el polietileno y la fundición dúctil, y se selecciona el más adecuado en función de las necesidades de la red y otras consideraciones técnicas.

Para el trazado de la red de Villafranca, se emplearán conducciones de polietileno, más conocido como PE. Suele ser escogido en este tipo de aplicaciones por su flexibilidad y resistencia a la corrosión. Su bajo peso hace sencillo el transporte y manipulación de las tuberías, además de conllevar un bajo coste de instalación. Otro punto que hace interesante la elección del PE es su larga vida útil y, tras esta, la posibilidad que presenta de ser reciclado para poder transformarlo en una nueva materia prima y darle un segundo uso en la fabricación de otros productos. [8]



Ilustración 6: Tubería de polietileno

En la siguiente tabla, se recogen los diámetros interiores normalizados de las tuberías de PE comerciales: [9]

DN (mm)	10	12	16	20	25	32	40	50	63	75
DN (mm)	90	110	125	140	160	180	200	225	250	280
DN (mm)	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900

Tabla 3: Dimensiones nominales de las tuberías de PE

4.1.2. SISTEMA DE BOMBEO

El equipo de bombeo es el responsable de acelerar el flujo de agua, generando energía, que es empleada en impulsar el fluido hasta las cotas deseadas. En la instalación de Villafranca, se dispondrá de un grupo de tres bombas rotodinámicas en paralelo, dispuestas tal y como se observa en la siguiente ilustración:

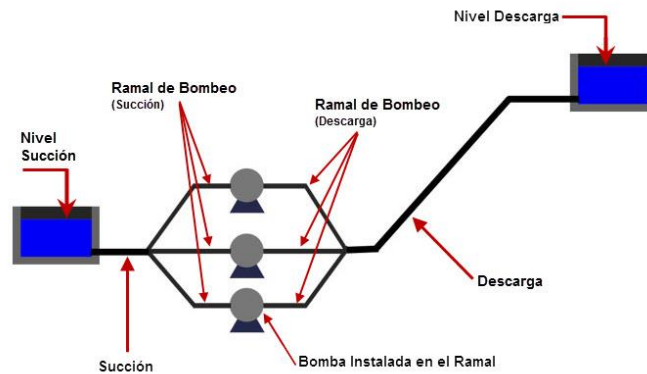


Ilustración 7: Esquema de un equipo de bombeo en paralelo

En el caso que nos ocupa, la instalación es semejante a la del esquema. El punto de succión es el embalse y el de descarga se corresponde con el municipio.

Como se aprecia, las bombas tendrán aspiración común desde una única conducción. Se seleccionará el modelo de bomba que, teniendo en cuenta las presiones mínimas y máximas exigidas en el punto de consumo, sea capaz de vencer las pérdidas producidas a lo largo de la conducción y abastecer la demanda de la población.

4.1.3. VÁLVULAS

Las válvulas son dispositivos mecánicos que se instalan como accesorios en las conducciones de una instalación hidráulica. Mediante una pieza móvil, permiten iniciar, detener o regular el flujo de agua a su paso.

En función del objetivo deseado, se pueden emplear diferentes tipos de válvulas:

- Válvulas de interrupción o de corte: permiten abrir y cerrar el paso de fluido en una conducción
- Válvulas de retención o antirretorno: permiten el paso del fluido en un único sentido
- Válvulas de regulación: como su nombre indica, regulan el caudal de fluido trasegado

Las últimas también reciben el nombre de válvulas reductoras, y su empleo resulta interesante si se desea reducir presiones elevadas. Ejercen una función de control, ya que permiten obtener un valor limitado de presión constante aguas abajo de la válvula.



Ilustración 8: Válvula reductora

4.1.4. DEPÓSITO DE COMPENSACIÓN

Como se comentaba anteriormente, en la actual red hidráulica instalada en Villafranca de los Barros no se hace uso de depósitos de cabecera. No obstante, en la propuesta de diseño del presente trabajo, se contempla la inclusión de dichos depósitos, dado que permiten hacer frente a las fluctuaciones de la demanda hidráulica y asegurar un suministro estable.

Los depósitos de compensación son sistemas de acumulación de fluido que se emplearán para almacenar agua, tras su extracción del embalse y su posterior potabilización en la ETAP. De esta manera, los distintos núcleos urbanos del municipio podrán disponer de agua potable a cualquier hora del día sin necesidad de poner en funcionamiento el equipo de bombeo.

Para el diseño de la nueva red, se contará con dos depósitos en altura, similares al de la imagen inferior, que irán conectados al entramado de los distintos sectores del municipio.



Ilustración 9: Ejemplo de depósito de cabecera

4.1.5. EMBALSE

Un embalse es una estructura formada, natural o artificialmente, con el fin de almacenar aguas de ríos y arroyos. Suele situarse en el lecho del río, cerrando su cauce.

La red de este proyecto, como ya se ha comentado, parte del embalse Los Molinos, del que puede apreciarse una imagen a continuación:



Ilustración 10: Embalse Los Molinos

Como se observa, dispone de una presa, lo que permite afirmar que el embalse ha sido construido de forma artificial. La presa es de mucha utilidad para aumentar la diferencia de altura y permitir el salto del agua. Esta liberación hace que la energía potencial del agua se transforme en cinética, que posteriormente podrá aprovecharse de manera indirecta, haciendo nuevas conversiones de energía, o directa.

4.1.6. ZANJA

Las zanjas son canales realizados con forma trapezoidal, donde se alojan las conducciones. Estas excavaciones han de hacerse a lo largo del trazado de la red, y sus dimensiones dependerán del tamaño de las tuberías y otros elementos instalados.



Ilustración 11: Ejemplo de zanja en el terreno

4.2. ECUACIONES FUNDAMENTALES

Para el diseño y dimensionamiento de la red, se hará uso del programa informático de dominio público Epanet 2.0, desarrollado por la División de Recursos Hídricos y Suministros de Agua de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de EEUU (USEPA).

Este software permite diseñar una red de suministro a partir de diferentes elementos, como tuberías, bombas, válvulas, depósitos y embalses, todos ellos definidos anteriormente. Además, da la posibilidad de crear nudos, que constituyen la unión entre tuberías y simulan los puntos de consumo, por lo que se les puede asignar una demanda [10].

Epanet realiza simulaciones para estudiar el comportamiento y evolución de la red durante un intervalo de tiempo dado. Así, es capaz de efectuar un seguimiento de datos de interés, como los caudales en las tuberías o las presiones en los nudos, y de proporcionar los resultados en diferentes formatos de visualización.

Para el análisis hidráulico, Epanet trabaja basándose en el principio de Bernoulli, que describe en una ecuación el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente.

4.2.1. ECUACIÓN DE BERNOULLI

El principio de Bernoulli, expuesto por Daniel Bernoulli en 1738, afirma que “la suma de todas las formas de energía contenidas en un fluido permanece constante a lo largo de una línea de corriente”. Es decir, expresa que la energía que posee un fluido se mantiene constante a lo largo del recorrido por el que circula.

Las diferentes formas de energía a las que se hace referencia son la energía cinética, la potencial y la interna. Que la suma de todas ellas permanezca constante, supone que, si una de ellas se ve disminuida, otra ha de aumentar, y viceversa.

Este concepto se expresó con una ecuación, conocida como el trinomio de Bernoulli, haciendo alusión al trío de formas de energía ya mencionado. La expresión es la siguiente:

$$\frac{P}{\gamma} + z + \frac{v^2}{2g} = cte$$

Ecuación 1: Trinomio de Bernoulli

Donde:

z: cota geométrica (en m)

v: velocidad del fluido (en m/s)

g: aceleración gravitatoria (en m/s²)

P: presión a la que se encuentra sometido el fluido a lo largo de la línea de corriente (en Pa)

γ : peso específico del fluido (en N/m³), que se obtiene como $\gamma = \rho \cdot g$, siendo ρ la densidad del fluido y g la aceleración de la gravedad.

Como se observa, la ecuación está constituida por tres componentes. El primero, que hace referencia a la presión, representa la energía interna que posee el fluido debido a la presión que soporta; el segundo, que incluye la altura, simboliza la energía potencial debida a la altitud geométrica del fluido en un punto dado de su recorrido; el tercero y último, que cuenta con la velocidad, representa la energía cinética que posee el fluido debido a dicha velocidad. Cabe destacar que cada uno de los componentes está expresado en unidades de longitud (generalmente, se emplean metros de columna de fluido).

A partir de este trinomio, se puede llegar a una expresión más general de la Ecuación de Bernoulli, en la que se compara la energía total que posee un mismo fluido en dos puntos diferentes de su recorrido por una línea de corriente:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Ecuación 2: Primera aproximación a la ecuación de Bernoulli

Se ha de matizar que las ecuaciones expuestas hasta el momento tan sólo son válidas en un marco teórico ideal, dado que no contemplan las posibles pérdidas que se producen a lo largo del recorrido del fluido real.

4.2.2. ECUACIÓN DE PÉRDIDAS

El trasiego de fluido por una conducción lleva consigo unas pérdidas, que generalmente pueden ser de dos tipos: pérdidas por fricción o pérdidas locales. Ambas han de poder ser cuantificadas para modificar la ecuación de Bernoulli y hacer que esta pueda ajustarse más a la realidad.

Por un lado, las pérdidas por fricción, más comúnmente conocidas como pérdidas lineales o continuas, son las generadas por el rozamiento entre las partículas del fluido y las paredes del conducto por el que este circula. La consecuencia directa es una pérdida de presión en el fluido, que será mayor o menor en función de distintos parámetros. En concreto, se dará una mayor pérdida de carga:

- A mayor longitud de tubería.
- A mayor caudal trasegado.
- A mayor rugosidad de la tubería, lo que depende del material empleado.
- Según el tipo de fluido, influyen factores como su densidad y viscosidad.

Todo esto puede verse reflejado en la ecuación de Darcy-Weisbach:

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

Ecuación 3: Ecuación de Darcy-Weisbach

Donde:

h_f : pérdida de carga debida a la fricción (en m)

f : factor de fricción de Darcy (adimensional)

L: longitud de la tubería o conducción (en m)

Q: caudal trasegado (en m³/s)

g: aceleración gravitatoria (en m/s²)

D: diámetro interno de la tubería (en m)

El factor de fricción f varía de acuerdo al tipo de flujo, que puede ser laminar o turbulento. Para determinarlo, se ha de conocer primero el número de Reynolds (Re). Este número adimensional, muy utilizado en mecánica de fluidos, indica la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas de un fluido [11].

Las fuerzas de inercia son debidas a que el propio fluido sufre aceleraciones y deceleraciones en su movimiento, y están estrechamente relacionadas con la velocidad (v) y la densidad (ρ) de dicho fluido. Las fuerzas viscosas, por su parte, son aquellas que se oponen al movimiento de las partículas, por lo que se vinculan con la viscosidad dinámica (μ) del fluido.

El número de Reynolds es el cociente entre ambas fuerzas, y su expresión es la siguiente:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot L}{\mu}$$

Ecuación 4: Expresión del número de Reynolds

Como se comentaba con anterioridad, este número permite identificar si un flujo es laminar o turbulento. En concreto, se han definido algunos intervalos a nivel numérico:

- $Re < 2300$: régimen laminar
- $2300 < Re < 4000$: régimen de flujo transicional
- $Re > 4000$: régimen turbulento

El flujo laminar se da cuando, en todos los puntos de su trayectoria, el fluido mantiene la misma velocidad. Las partículas avanzan en líneas de corriente paralelas, sin encontrar obstáculos que hagan cambiar su trayectoria. Hablando en términos hidráulicos, la viscosidad del fluido provoca que el movimiento sea ordenado, y esto implica que las fuerzas viscosas predominen sobre las de inercia, lo que lleva a un valor de Re pequeño.

En el lado opuesto, se encuentra el flujo turbulento, en el que las partículas describen una trayectoria poco definida y a alta velocidad. En este caso, el fluido sigue un movimiento aleatorio debido a que las partículas colisionan entre ellas y dan lugar a remolinos. La explicación que da la mecánica de fluidos a este fenómeno es que la velocidad del flujo es tan grande que logra eclipsar el efecto de la viscosidad. Es decir, las fuerzas de inercia son mayores que las viscosas, lo que lleva a un valor de Re grande [12].

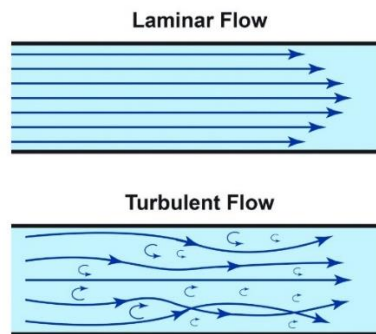


Ilustración 12: Flujo laminar y turbulento

Una vez conocido el régimen de flujo, se puede determinar el valor del factor de fricción mediante dos métodos:

- Empleando el diagrama de Moody, que permite obtener f a partir del número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería por la que circula el fluido.

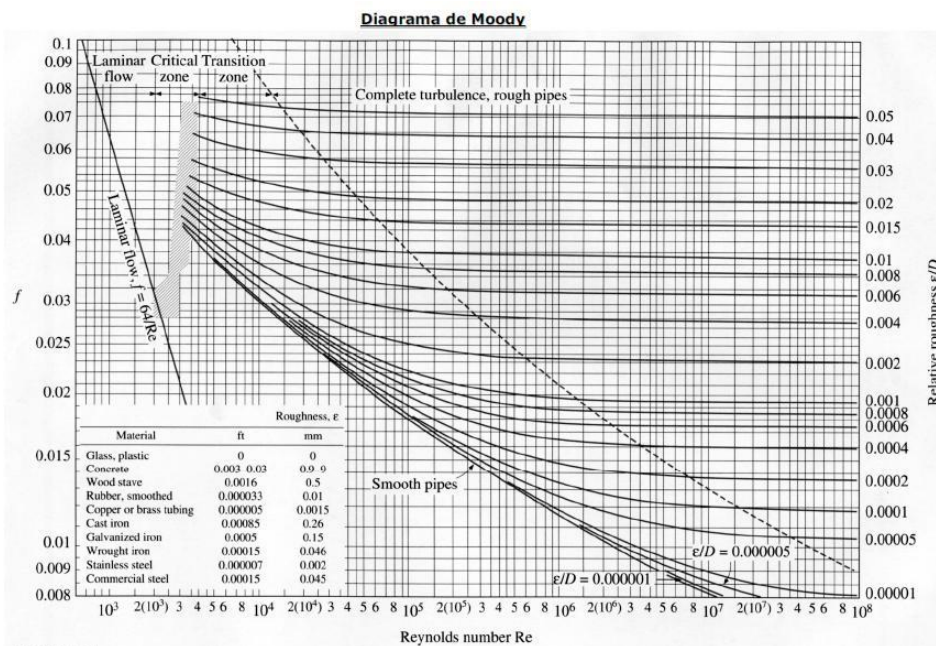


Ilustración 13: Diagrama de Moody

- Acudiendo a expresiones individualizadas para cada tipo de régimen, que se recogen en la tabla inferior.

Rango de Re	Tipo de régimen	Coefficiente de fricción
$Re < 2300$	Laminar	$f = \frac{64}{Re}$
$Re > 4000$	Turbulento	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$

Tabla 4: Expresiones factor de fricción

Por otro lado, existen las pérdidas locales, que son las causadas por el cambio de movimiento o dirección que experimenta el fluido en un punto localizado de su recorrido. Dicho punto puede darse en diversos elementos de la conducción, como válvulas, codos o derivaciones, por lo que este tipo de pérdidas también recibe el nombre de pérdidas en accesorios [13].

La expresión que se emplea en este caso es la siguiente:

$$h_l = k \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 5: Ecuación de pérdidas locales

Donde:

h_l : pérdida de carga localizada (en m)

k : coeficiente que varía en función del tipo de accesorio (adimensional)

v : velocidad media del fluido (en m/s)

g : aceleración gravitatoria (en m/s²)

El coeficiente k es adimensional y depende de muchos factores, entre los cuales se encuentran el tipo de accesorio, la rugosidad relativa y algunas relaciones geométricas de la tubería. Existen tablas que recogen valores del coeficiente en función del tipo de accesorio, pero se ha de tener en cuenta que se pueden encontrar muchas diferencias en un mismo elemento distribuido por fabricantes distintos, por lo que los valores pueden variar entre uno y otro.

A continuación, se muestran algunos de los coeficientes definidos por el manual de Epanet:

Accesorio	Coficiente <i>k</i>
Válvula de globo	10
Válvula de retención	2,5
Codo de radio pequeño	0,9
Codo de radio mediano	0,8
Codo de radio grande	0,6
Entrada brusca	0,5
Salida brusca	1

Tabla 5: Algunos coeficientes de pérdidas en accesorios

Una vez conocidos los tipos de pérdidas de carga que se pueden dar en el fluido y sus causas, se procede a modificar la ecuación ideal de Bernoulli. Se ha de recordar que la expresión pretende reflejar la conservación de energía entre dos puntos de una línea de corriente.

En este punto, se ha de añadir un término de pérdidas ($\Delta h_{1 \rightarrow 2}$), que incluya la suma de las pérdidas de carga que sufre el fluido a lo largo del recorrido entre el punto 1 y el 2. Además, si la instalación que se estudia cuenta con elementos como bombas o turbinas, se ha de incorporar a la expresión la energía que aportan (H_B , en el caso de la bomba) o sustraen (H_T , en el caso de la turbina) dichos elementos.

Con todo ello, la ecuación resultaría de la siguiente manera:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + H_B - H_T = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta h_{1 \rightarrow 2}$$

Ecuación 6: Ecuación de Bernoulli

5. INSTALACIÓN ACTUAL

En el escenario actual, Villafranca de los Barros no cuenta con depósitos de compensación, por lo que el abastecimiento se realiza por inyección directa desde el equipo de bombeo. La empresa suministradora de agua dispone de planos del municipio dividido en sectores, los cuales se emplean para, teniendo un registro del caudal que circula por las conducciones de cada calle, obtener un orden de magnitud del consumo que absorbe cada núcleo poblacional. Así, esta sectorización tan sólo se utiliza de manera orientativa y no es determinante en la disposición de las conducciones a lo largo de la red.

Por ello, para esquematizar la instalación actual, se tomará el municipio como un único punto de consumo, situado en el centro de la localidad. La red partirá desde el embalse hasta dicho punto, sin incluir el trazado de tuberías en el interior de este. Al no disponer de depósitos de cabecera, el esquema será sencillo.

5.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS PUNTOS DE CONSUMO

A continuación, se detalla la ubicación y altitud exactas del punto de consumo, que, como se ha dicho, representa el conjunto de todos los sectores, que son alimentados de manera directa. Los datos han sido extraídos del sistema de información geográfica de software libre del Instituto Geográfico Nacional (IGN):

Punto de consumo	Altitud (msnm)	(Latitud, Longitud)
Villafranca de los Barros	424	(38.5608, -6.3435)

Tabla 6: Ubicación geográfica de los puntos de consumo de la red actual

En la siguiente ilustración, se puede observar un mapa con los puntos característicos de la red georreferenciados, siguiendo las coordenadas expuestas hasta el momento. El punto negro que se distingue en la parte izquierda de la imagen indica la situación geográfica del municipio de Villafranca de los Barros, y el de la derecha muestra la posición del Embalse Los Molinos.



Ilustración 14: Ubicación de los puntos característicos de la red actual

5.2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA

Tomando la información cedida por la empresa suministradora de agua en Villafranca de los Barros, se dispone de registros de consumos reales de algunos núcleos de población. Basta con extrapolar dicha información a la totalidad de habitantes de la localidad para obtener una estimación de demandas aplicable al único punto de consumo de la red.

Para el dimensionamiento de la instalación, se considerarán datos del mes de agosto del año pasado, por ser la situación más desfavorable en términos de demandas. A continuación, se presenta un gráfico con los registros de consumo de agua potable durante un intervalo de un día de verano en el municipio:

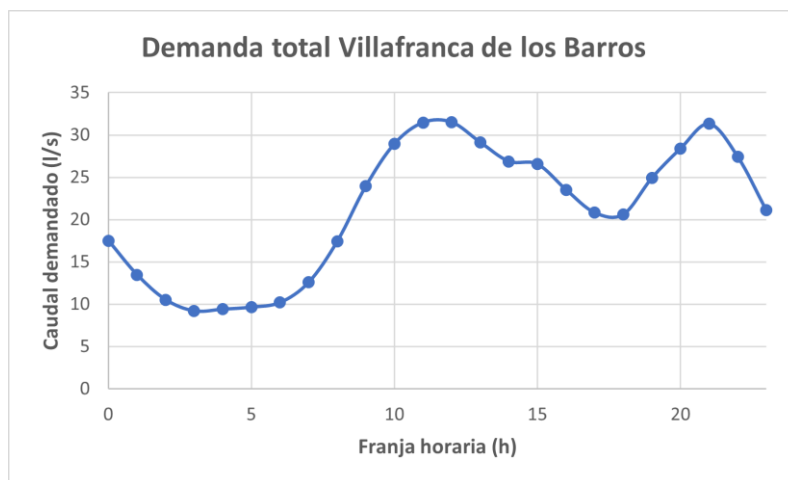


Ilustración 15: Curva de modulación de la demanda del municipio

Se puede observar que se da una gran fluctuación en el consumo a lo largo de las diferentes horas del día. Para poder ensayar estos datos en Epanet, es necesario transformarlos mediante una estimación. El programa trabaja con patrones de demanda, que son curvas que caracterizan la variación de la demanda en el tiempo para un nudo de consumo. El patrón funciona con multiplicadores, que se aplican a una demanda base para estimar la demanda real en cada momento del día.

5.2.1. CÁLCULO DE LA DEMANDA BASE

Se ha de confeccionar, a partir de los datos de registro de consumos, una curva de modulación que pueda ser leída e interpretada por Epanet. Para ello, se tomará como demanda base la demanda máxima, de manera que los factores de multiplicación del patrón serán iguales o inferiores a uno. La regla utilizada será la siguiente:

$$Factor(t) = \frac{Q(t)}{Q_{base}}$$

Ecuación 7: Obtención de los factores del patrón de demanda

En concreto, el caudal máximo demandado en el municipio para el día estival escogido es de 31,49 l/s. Este registro, que se tomó a las 12h como puede distinguirse en la curva de modulación, será tomado como demanda base.

5.2.2. PATRÓN DE DEMANDA

Aplicando la regla anterior, por la cual se dividen los caudales de cada franja horaria entre la demanda base, el patrón de demanda quedaría de la siguiente manera:

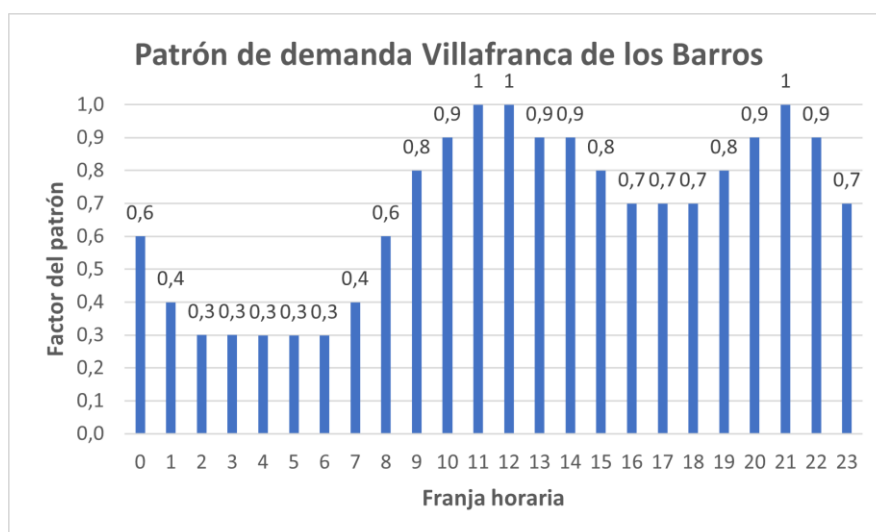


Ilustración 16: Patrón de demanda del municipio

Así, los coeficientes multiplicadores que se deben incluir en el patrón son:

Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Coef	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9	1
Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Coef	1	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	1	0,9	0,7

Tabla 7: Factores del patrón de demanda del municipio

La red cuenta con un único punto de consumo, por lo que este será quien absorba todo el caudal demandado y al que se asociará el patrón de demanda expuesto. Dado que dicho punto representa a la totalidad de la población, se establece que el número de abonados se corresponde con el registro de habitantes, que es de 12 500 personas.

5.3. TRAZADO DE LA RED

En la siguiente imagen, se detalla una primera aproximación de lo que resultará el trazado de la instalación. Como se puede observar, esta consta de una única conducción, que parte del embalse y llega al punto de consumo.

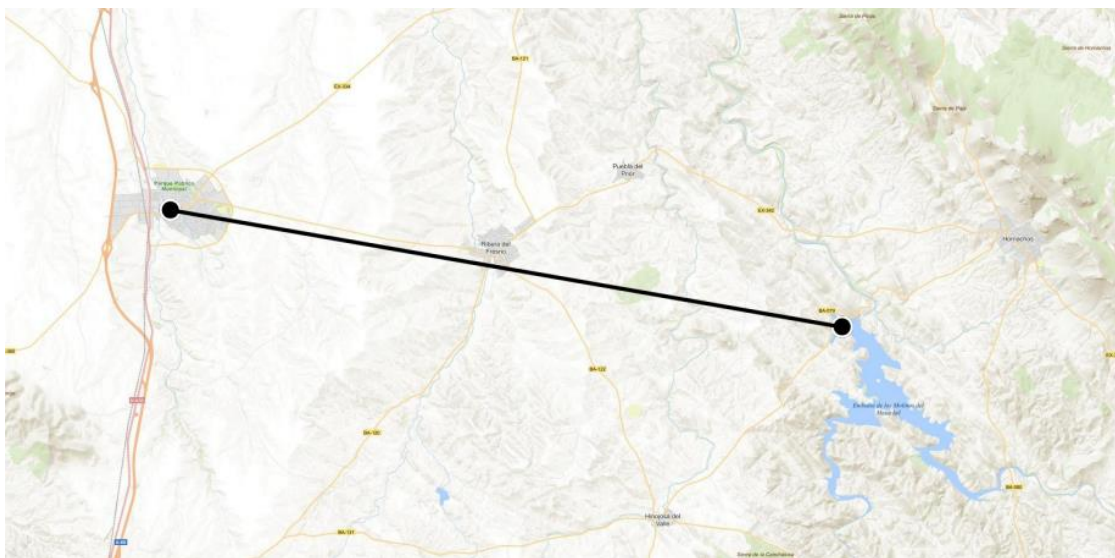


Ilustración 17: Aproximación inicial del trazado de la red actual

Para trazar el recorrido definitivo, hay que tener en cuenta varias indicaciones. En primer lugar, se ha de intentar que las conducciones discurran por lugares cercanos a carreteras u otro tipo de vías. De esta manera, se facilita el acceso tanto en el momento de la instalación como tras su puesta en marcha, en caso de mantenimiento o avería. Además, se ha de evitar pasar por desniveles en el terreno, pero

sin dar más longitud de la necesaria a la red, lo cual podría generar un aumento de pérdidas en la instalación.

Siguiendo los criterios anteriores, el diseño del trazado, ajustado a vías y carreteras ya existentes, resulta de la siguiente manera:



Ilustración 18: Trazado final de la red actual

5.4. TOPOGRAFÍA

En la siguiente imagen, se puede apreciar el perfil topográfico del único tramo por el que discurre la red. La imagen ha sido extraída del sistema de información geográfica del IGN [14].

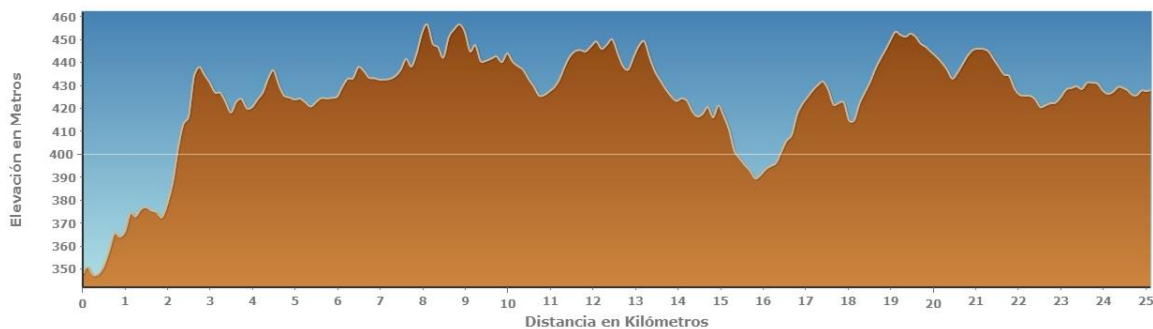


Ilustración 19: Perfil topográfico del tramo de la red actual

La conducción parte del embalse Los Molinos, a una altitud de 348 msnm, tal y como se indicaba en uno de los primeros apartados del presente proyecto. Tiene su fin en un punto situado en el centro de Villafranca de los Barros, como se puede distinguir en las imágenes de mapas presentadas, a una altitud de 424 msnm.

Además de la cota del punto de consumo, el perfil muestra datos que serán de mucha utilidad para que el programa Epanet lleve a cabo el análisis hidráulico de la instalación. Como se puede observar en el eje de abscisas del gráfico, la conducción tendrá una longitud de 25,12 km.

5.5. ESQUEMA HIDRÁULICO

Llegados a este punto, en el que se conocen las demandas y cotas de los puntos característicos de la red, se procede a plantear el esquema hidráulico que se introducirá en Epanet. Este nuevo paso consiste en modelar el trazado de red ya definido, de manera que el software sea capaz de interpretarlo para obtener los resultados deseados.

A continuación, se muestra el esquema base de la red actual:

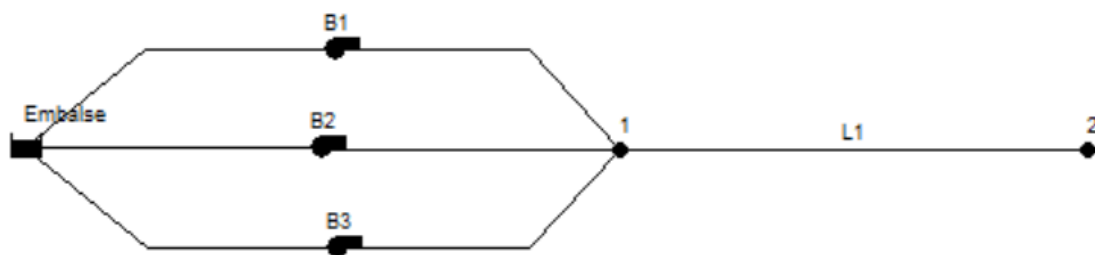


Ilustración 20: Esquema hidráulico de la red actual

Cabe recordar que la posición de los puntos en el plano no indica más que la relación de conectividad entre ellos. Así, el trazado que se le da a la tubería no refleja la verdadera posición de la conducción en la realidad, tan solo muestra la conexión entre nudos.

En el prototipo diseñado, el nudo con el rótulo “2” representa el nudo del consumo que constituye el municipio. El otro nudo, bajo el nombre “1”, tan sólo sirve como conexión para las bombas, y representa el punto de impulsión de estas. Aunque no tenga una demanda asociada, será de utilidad para conocer la presión y otros parámetros interesantes en el equipo de bombeo.

Una vez modelado el esquema, Epanet requiere que se introduzcan una serie de datos necesarios para realizar el análisis hidráulico. En primer lugar, se debe determinar las unidades en las que se expresarán los términos de caudales, que, para el caso de estudio, serán l/s. Esto conlleva que las longitudes se expresen en metros, los diámetros en milímetros y las presiones en mca. Además, dado que el programa utiliza como base teórica la ecuación de Bernoulli, se ha de concretar que se utilizará la fórmula de Darcy-Weisbach para el cálculo de las pérdidas de carga.

5.5.1. CÁLCULO DE LAS CONDUCCIONES

También se han de definir ciertos parámetros de las conducciones, como la rugosidad, la longitud y el diámetro. En cuanto a la rugosidad, dado que se ha escogido el PE como material para las tuberías, será de 0,0015mm.

Por otro lado, analizando el perfil topográfico obtenido con anterioridad, se conoce que el recorrido total del trazado entre embalse y municipio es de 25,12 km. En una primera aproximación, se decide dar a la conducción L1 esta longitud.

Tubería	Inicio	Fin	Longitud (m)
L1	1	2	25120

Tabla 8: Longitudes de las conducciones de la red actual

Para escoger el diámetro de la conducción, se seguirá un proceso iterativo, buscando que el agua trasegada lleve una velocidad cercana a 1 m/s. Para ello, conociendo el caudal que se ha de suministrar al nudo de consumo, basta con acudir a la siguiente ecuación:

$$Q = A \cdot v$$

Ecuación 8: Expresión del caudal en función del volumen y el área

Donde:

Q: caudal trasegado, en m³/s.

A: área de la sección de la tubería, en m².

v: velocidad del fluido, en m/s.

Como las tuberías son de sección circular, el área vendrá dada por la siguiente expresión:

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2, \text{ siendo } d \text{ el diámetro teórico de dicha tubería, que es lo que se busca.}$$

Al tratarse de una red sencilla, con un único nudo de consumo, se sabe que la conducción ha de poder trasegar el caudal máximo demandado por este, que es de 31,49 l/s. En la siguiente tabla, se detalla el cálculo realizado, operando con las dos ecuaciones mostradas anteriormente, para la obtención del diámetro de la tubería:

Tubería	Máximo caudal trasegado (m ³ /s)	Superficie de la sección para 1m/s	Diámetro teórico (mm)	Diámetro comercial (mm)
L1	0,03149	0,03149	200,2356	225

Tabla 9: Diámetros de las conducciones de la red actual

La red de distribución debe cumplir unos requisitos de caudal y presión en el punto a abastecer. Es decir, además de cumplir con la demanda, variable para cada franja horaria del día, ha de garantizar una presión mínima, que fijaremos en 50 mca.

5.5.2. SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO

El último paso que se debe realizar antes de poder iniciar el análisis de la instalación es seleccionar el equipo de bombeo que se va a emplear. Los parámetros que determinan esta decisión son la altura y el caudal que debe proporcionar la máquina, y una vez conocidos, permitirán asignar una curva motriz a las bombas que haga funcionar la instalación.

Se sabe que la ecuación de dicha curva, que caracteriza la relación entre la altura que aporta una bomba con el caudal que trasiega la misma, tiene la siguiente forma:

$$H = A - B \cdot Q^2$$

$$Q = \sqrt{\frac{A - H}{B}}$$

Ecuación 9: Relación altura-caudal de una bomba

Donde:

H: altura aportada por la bomba

Q: caudal aportado por la bomba

A y B: Constantes de la relación

Como se observa en la imagen del esquema hidráulico, se tienen tres bombas en paralelo, por lo que se ha de entender el funcionamiento de este tipo de disposición antes de continuar.

Dos o más bombas se encuentran acopladas en serie cuando la impulsión de una bomba es la aspiración de la siguiente, por lo que todas trasiegan el mismo caudal. Al ir conectadas una tras otra en la misma línea, el efecto que se consigue es que, a medida que el flujo va pasando por cada bomba, las alturas aportadas por cada máquina se van agregando. Es por ello que este tipo de disposición permite obtener alturas de bombeo mayores a las que lograría cada bomba individualmente.

Las ecuaciones que caracterizan el comportamiento de este acoplamiento de bombas son:

$$H = \sum_{i=1}^n H_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$Q = Q_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Ecuación 10: Altura y caudal totales en un acoplamiento de bombas en serie

Donde:

H y Q: altura que aporta el acoplamiento de bombas en serie

H_i y Q_i : altura y caudal que aporta una bomba del acoplamiento

n: número de bombas acopladas en serie

Así, la curva de relación entre caudal y altura expuesta al principio de este apartado quedaría transformada en:

$$H = \sum_{i=1}^n H_i = \left(\sum_{i=1}^n A_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n B_i \right) \cdot Q^2 \quad \text{con } Q = Q_i$$

Ecuación 11: Relación altura-caudal de un acoplamiento de bombas en serie

Por otro lado, las bombas acopladas en paralelo bombean el fluido a una tubería de impulsión común a todas ellas, por la que se trasegará un caudal igual a la suma de los caudales trasegados por todas las máquinas.

En este caso, las ecuaciones que caracterizan el comportamiento del acoplamiento de bombas son:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$
$$H = H_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Ecuación 12: Altura y caudal totales en un acoplamiento de bombas en paralelo

Donde:

H y Q: altura que aporta el acoplamiento de bombas en paralelo

H_i y Q_i : altura y caudal que aporta una bomba del acoplamiento

n: número de bombas acopladas en paralelo

Así, la curva de relación entre caudal y altura del grupo acoplado resultaría:

$$Q = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{A_i - H}{B_i}} \quad \text{con } H = H_i$$

Ecuación 13: Relación altura-caudal de un acoplamiento de bombas en paralelo

Para poder asignar una curva característica al equipo de bombeo en Epanet, se necesita, como mínimo, un punto de funcionamiento altura-caudal. Se conoce el caudal máximo que se ha de suministrar al punto de consumo, pero no la altura que se ha de aportar. Para obtenerla, se seguirá el siguiente mecanismo.

Se prescindirá del grupo de bombeo en el esquema hidráulico, sustituyéndolo por una conducción de gran diámetro, de manera que no genere grandes pérdidas. Realizado este cambio, es evidente que, si el programa realizara el análisis de la instalación, se obtendrían presiones negativas en el punto de consumo. Esto se debe a que Epanet obliga a que el caudal demandado se cumpla y, dado que el embalse se encuentra a cota inferior a la del municipio, dicha condición sólo puede cumplirse si se dan presiones absolutas negativas en el nudo de consumo.

En este punto, se procederá a sobredimensionar de manera artificial el embalse, elevando su cota, que no es más que la altura de su lámina libre. A base de prueba y error, este procedimiento terminará cuando se encuentre una cota lo suficientemente alta como para obtener la presión mínima deseada en el nudo de consumo. Aproximadamente, bastará con añadir tantos metros de cota al embalse como mca por debajo de cero tenga el nudo.

Se sabrá entonces que la altura extra que se le haya debido añadir al embalse de manera virtual, es la altura que han de aportar las bombas. Acto seguido, se devolverá el embalse a su cota original y se volverá al esquema hidráulico planteado al principio, eliminando la conducción que sustituía al equipo de bombeo.

Siguiendo el procedimiento expuesto, se observa que, a las 12h, que es la franja horaria más crítica en la que se da el mayor caudal demandado, la presión en el punto de consumo es la siguiente:

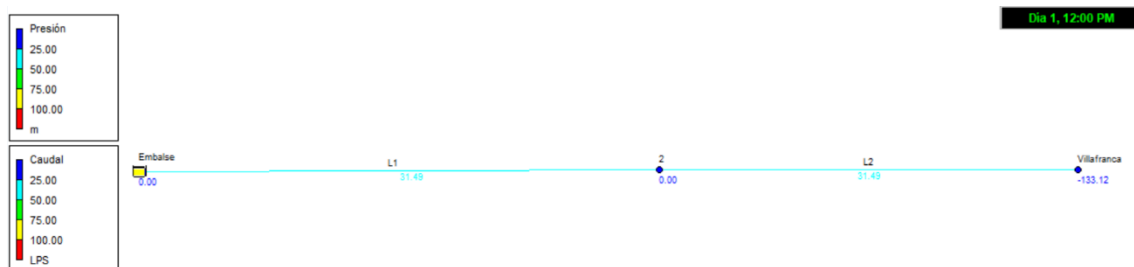


Ilustración 21: Primer análisis de la red para obtener la altura que han de aportar las bombas

Como se observa en la captura superior, el nudo de consumo tiene una presión absoluta negativa de 133,12 mca. Como se desea que la instalación garantice en todo momento una presión mínima de 50 mca en todos los puntos, se ha de dar al embalse una altura artificial extra de unos 184 mca para conseguirlo.

Cabe comentar que la conducción L1 que se aprecia en la imagen es la que sustituye de manera provisional al equipo de bombeo. A dicha conducción se le ha dado una longitud y diámetro de 1 metro, para evitar que genere pérdidas en el tramo.

Sumando 184 metros a la cota del embalse, esta se quedaría en 532 metros. Realizando este cambio, el resultado obtenido en la red es el siguiente:

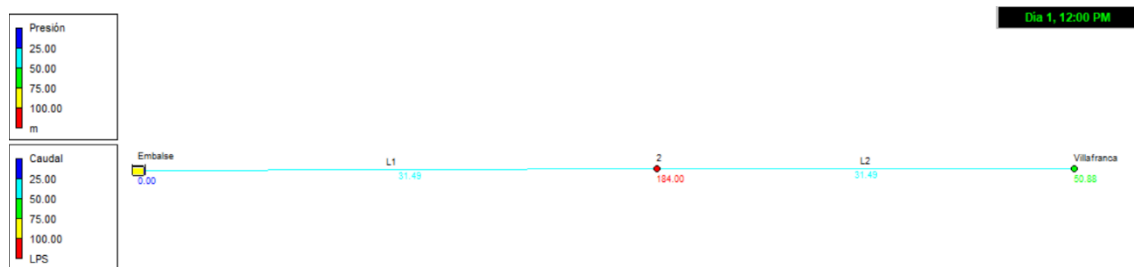


Ilustración 22: Obtención de la presión de servicio mínima requerida

Como se puede comprobar, se consigue la presión de servicio mínima deseada en el punto de consumo. Dado que las 12h es la franja más crítica, en el resto se dan presiones mayores, por lo que el requisito se cumple.

Con respecto al punto con rótulo “2”, cabe comentar que se tiene una presión desmesurada porque se le ha dejado la cota original del embalse, que es su cota real. Si se le incrementara como se ha hecho con el embalse, el resultado sería de 0 mca, al estar a la misma altura que este.

En este punto, se conoce que las bombas a implementar han de aportar un caudal de 31,49 l/s (113,364 m³/h) y una altura de 184m, que es exactamente la altura que se ha debido añadir de más a la lámina libre del embalse. Es importante ver que, al estar acopladas en paralelo, cada una ha de trasegar un tercio del caudal total.

Una vez conocida la curva característica de una bomba, se puede seleccionar un modelo industrial de máquina que cumpla con dicha curva, acudiendo a catálogos comerciales. En el presente proyecto, se va a hacer uso de bombas de la empresa KSB, dado que es un referente mundial en fabricación de máquinas hidráulicas.

Dicha empresa dispone de un configurador online, que permite introducir una serie de parámetros y propone posibles modelos de bombas a utilizar. Para el caso de estudio de la red actual, como ya se ha visto, se conocen el caudal y la altura que debe aportar la bomba. Para afinar más la búsqueda, se pueden introducir otros parámetros como la aplicación, la temperatura de trabajo o la altura de elevación [15].

Llegados a este punto, el configurador propone emplear un modelo de la familia UPA. Estas bombas son centrífugas, de una sola entrada y pueden ser mono o multietapa. Suelen ser empleadas en estaciones de abastecimiento de agua general o de riego, por lo que podrían implementarse en la instalación que se estudia en este proyecto.

Se decide seleccionar el modelo UPAS 200-52, dado que su curva motriz, que se presenta en la imagen inferior, se acopla al punto de funcionamiento que la red de estudio necesita.

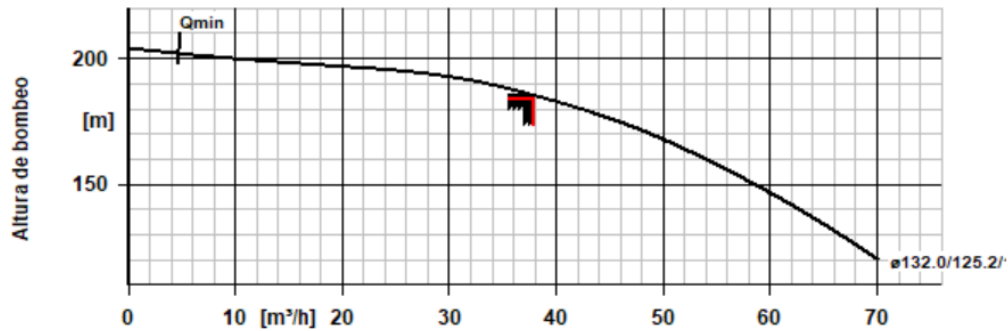


Ilustración 23: Curva motriz del modelo UPAS 200-52

Además, según los datos proporcionados por el configurador web de KSB, para el punto de funcionamiento deseado, la máquina presenta una eficiencia del 81,38%, lo cual puede comprobarse en la siguiente curva:

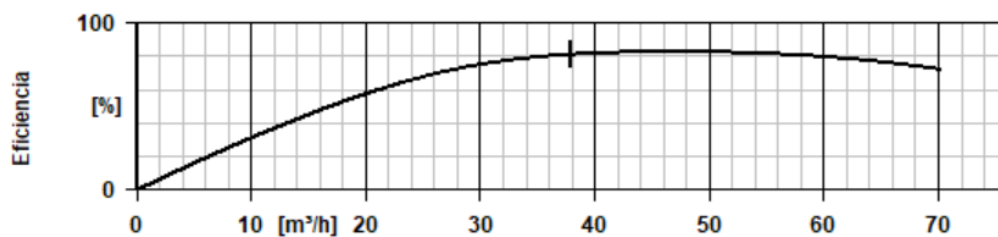


Ilustración 24: Curva de eficiencia del modelo UPAS 200-52

5.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se procede a sustituir de nuevo la conducción añadida de manera provisional por el grupo de bombeo, constituido por tres bombas acopladas en paralelo, a las que se le asignará la curva motriz y curva de rendimiento del modelo seleccionado.

En la siguiente imagen se muestra el resultado del análisis de la red en su situación más desfavorable, es decir, en la franja horaria en la que la curva de modulación de la demanda alcanza su máximo.

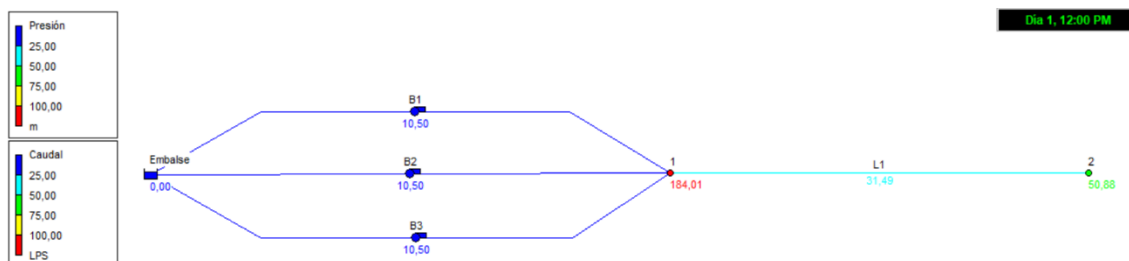


Ilustración 25: Resultados en red actual

Como se puede comprobar, se cumple el requisito de presión mínima en el punto de consumo. Para visualizar el resultado obtenido en la simulación para el resto de franjas horarias, incluyendo presiones en los nudos y caudales circulantes por las conducciones, se dispone de imágenes en el anexo.

5.6.1. PRESIONES EN LOS NUDOS

Se recogen a continuación los valores de presión en el nudo de consumo y en el nudo de impulsión de las bombas, que es uno de los más críticos de la instalación.

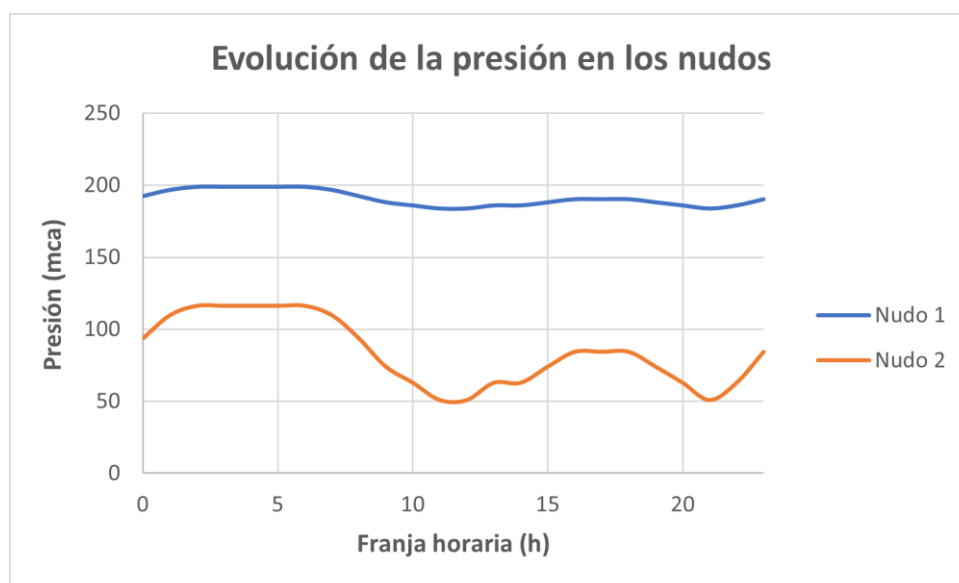


Ilustración 26: Evolución de la presión en los nudos de la red actual

El nudo de consumo, que representa el municipio, tiene en todo momento valores de presión comprendidos entre 50 y 115 mca. En el nudo 1, que no tiene demanda agregada, las presiones se disparan, dado que se encuentra a la misma cota que el embalse y sufre las consecuencias de que el grupo de bombeo aporte altura.

5.6.2. VELOCIDADES EN LAS CONDUCCIONES

En la siguiente imagen, se muestra la evolución de la velocidad del agua trasegada por la conducción L1. Aunque en una primera aproximación se le ha dado un diámetro que asegurara 1m/s, se puede observar que, en la simulación, los datos de velocidad distan de ese valor en todas las franjas horarias.

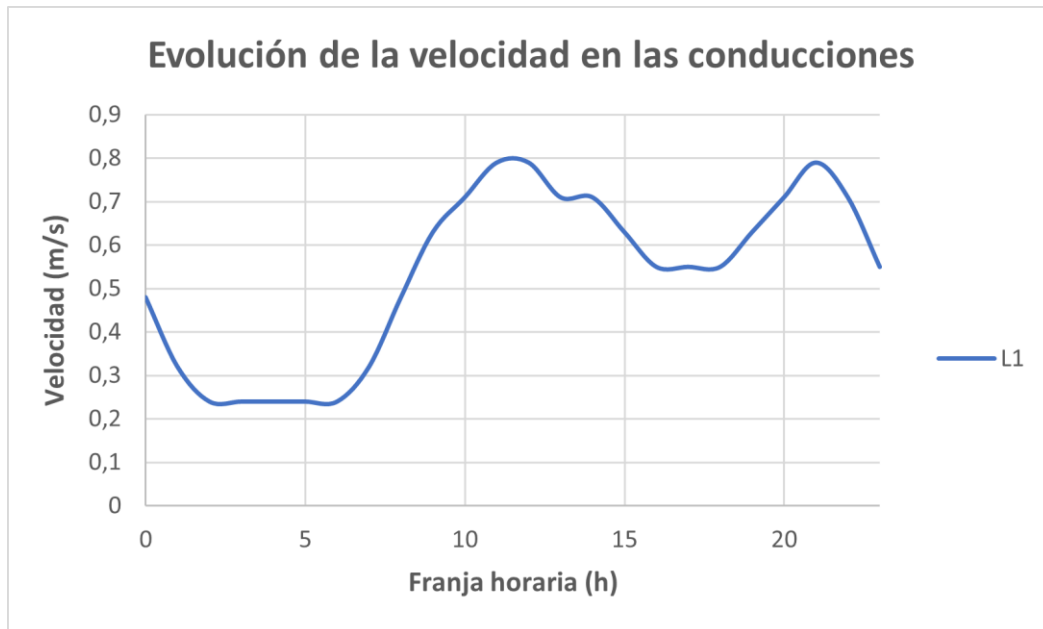


Ilustración 27: Evolución de la velocidad en la conducción de la red actual

Cabe recordar que las pérdidas locales son proporcionales al cuadrado de la velocidad. En cualquier caso, como se observa en la ilustración, no se dan valores altos de velocidad, por lo que las pérdidas no supondrían un problema.

6. INSTALACIÓN A DISEÑAR

6.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS PUNTOS DE CONSUMO

Para la propuesta de diseño de la nueva red, se ha decidido sectorizar el municipio en diferentes núcleos urbanos, en concreto 16, y cada uno de ellos representará un punto de consumo en el esquema hidráulico. En el plano 2 del documento de planos se encuentra un detalle de la sectorización del municipio.

Para cada una de las 16 divisiones, se ha escogido un punto céntrico que representara la altura media del sector. En la siguiente tabla se recogen las ubicaciones y altitudes de cada punto:

Punto de consumo	Altitud (msnm)	(Latitud, Longitud)
Sector 1	432	(38.5562, -6.3301)
Sector 2	421	(38.5574, -6.3347)
Sector 3	434	(38.5599, -6.3289)
Sector 4	425	(38.5634, -6.3375)
Sector 5	428	(38.5635, -6.3308)
Sector 6	420	(38.5659, -6.3332)
Sector 7	413	(38.5682, -6.3325)
Sector 8	418	(38.5669, -6.3395)
Sector 9	411	(38.5641, -6.3419)
Sector 10	410	(38.5658, -6.3435)
Sector 11	402	(38.5637, -6.3452)
Sector 12	414	(38.5591, -6.3431)
Sector 13	403	(38.5617, -6.3446)
Sector 14	412	(38.5574, -6.3403)
Sector 15	400	(38.5645, -6.3482)
Sector 16	417	(38.5606, -6.3366)

Tabla 10: Ubicación geográfica de los puntos de consumo de la red a diseñar

A continuación, se muestra un mapa topográfico con las ubicaciones anteriores georreferenciadas. Cada punto en el mapa se nombra bajo el número del sector que representa. Así, se pueden distinguir 16 puntos, que hacen referencia a los 16 sectores mencionados.

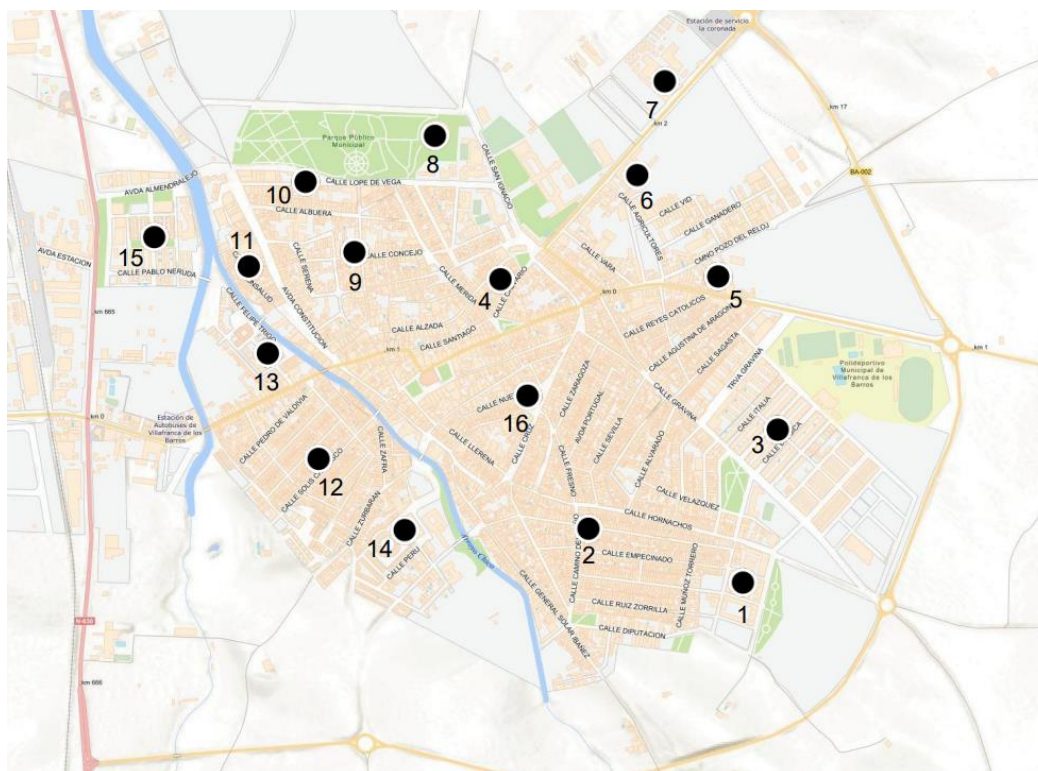


Ilustración 28: Ubicación geográfica de los puntos de consumo de la red a diseñar

Todos los sectores estarán comunicados mediante un entramado de conducciones, en el que intervendrán dos depósitos de compensación para asegurar un suministro estable. Para escoger su ubicación, se ha tratado de seleccionar dos puntos a las afueras del municipio, aunque cercanos a vías o carreteras, para facilitar el acceso en caso de necesidad de mantenimiento. Las ubicaciones elegidas son:

Elemento	Altitud (msnm)	(Latitud, Longitud)
Depósito 1	413	(38.5704, -6.3368)
Depósito 2	405	(38.5556, -6.3459)

Tabla 11: Ubicación geográfica de los depósitos de la red a diseñar

A continuación, se presenta el recorte de un mapa topográfico en el que se destaca la situación de los puntos de consumo y los depósitos. Cabe aclarar la leyenda empleada en la imagen: Los puntos cuyos nombres comienzan por S, representan a los sectores; y los que comienzan por D, hacen referencia a los dos depósitos de cabecera.

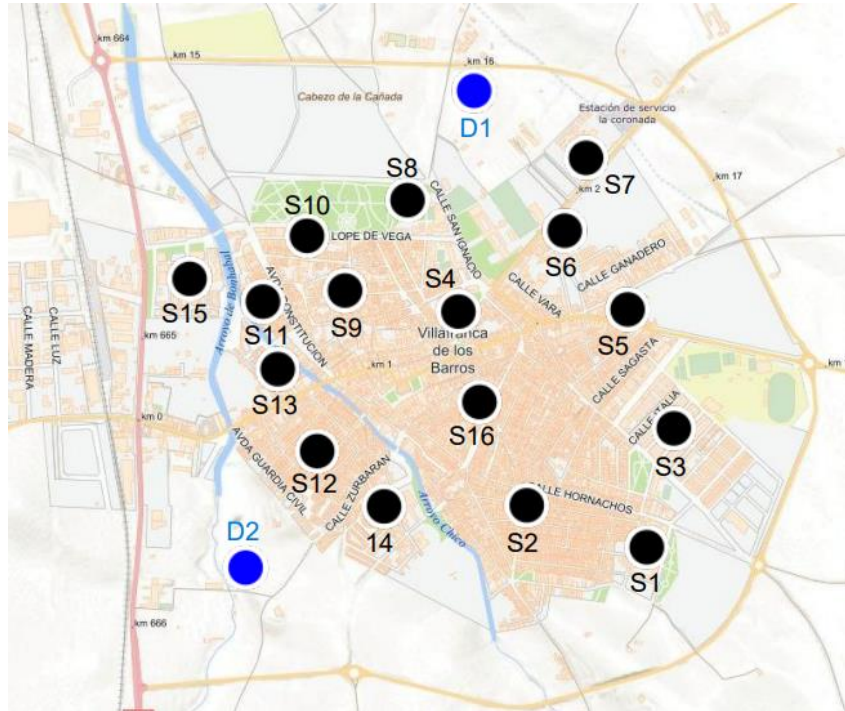


Ilustración 29: Ubicación de los puntos característicos de la red a diseñar

6.2. NÚMERO DE ABONADOS

Se ha estimado el número de habitantes de cada uno de los sectores, en función de su extensión ocupada y de la cantidad de viviendas construidas. El resultado obtenido se refleja en la tabla inferior.

Punto de consumo	Porción del total (%)	Número de abonados
Sector 1	2	250
Sector 2	8	1000
Sector 3	3	375
Sector 4	10	1250
Sector 5	6	750
Sector 6	4	500
Sector 7	0,5	62,5
Sector 8	1	125
Sector 9	5	625
Sector 10	7	875
Sector 11	2	250
Sector 12	12	1500
Sector 13	2,5	312,5
Sector 14	2	250
Sector 15	3	375
Sector 16	2	4000
Total	100	12500

Tabla 12: Estimación del número de abonados en cada sector

6.3. ANÁLISIS DE LA DEMANDA

La empresa contratada por el ayuntamiento del municipio para el suministro de agua ha permitido que se disponga de registros reales de consumo, como se comentaba con anterioridad. En concreto, se conocen datos de cuatro núcleos poblacionales, y se ha decidido utilizar los de un día estival como situación crítica en términos de demanda. La operativa seguida para el tratamiento de estos datos se desarrolla a continuación.

En primer lugar, basándose en la repartición del terreno con la que trabaja la empresa, se ha realizado una sectorización del municipio, que ha resultado dividido en 16 partes. Posteriormente, se ha estimado el número de habitantes de cada uno de los sectores, tal y como se ha expuesto en apartados anteriores.

Tomando los datos de los cuatro sectores conocidos, se han sumado los caudales demandados de todos ellos, para cada franja horaria del día. Para adimensionalizar las demandas, se han dividido los caudales sumados entre la suma de habitantes de los cuatro sectores, obteniendo una aproximación de lo que sería la demanda por habitante y hora. Se ha de matizar que se ha transformado toda la información de registros a unidades de l/s, que es lo que Epanet adopta por defecto.

Para extrapolar la información a cada uno de los sectores basta con multiplicar los datos adimensionales por el número de habitantes de cada sector. Llegados a este punto, se pueden obtener las curvas de demanda, que se recogen en el anexo.

6.3.1. CÁLCULO DE LA DEMANDA BASE

Dado que los datos de consumo de los sectores provienen de unos caudales adimensionales comunes, existe un único patrón aplicable a todos, que coincide con el que se ha desarrollado para el escenario de la red actual. Tal y como ocurría en ese caso, el caudal máximo demandado se da a las 12h. Para cada sector, se recoge en la tabla inferior el valor de lo que se establecerá como demanda base.

Punto de consumo	Demanda base (l/s)
Sector 1	0,63
Sector 2	2,52
Sector 3	0,95
Sector 4	3,15
Sector 5	1,89
Sector 6	1,26
Sector 7	0,16
Sector 8	0,31
Sector 9	1,57
Sector 10	2,21
Sector 11	0,63
Sector 12	3,78

Sector 13	0,79
Sector 14	0,63
Sector 15	0,94
Sector 16	10,08

Tabla 13: Demanda base de los puntos de consumo de la red a diseñar

6.3.2. PATRÓN DE DEMANDA

Como se ha expuesto, el patrón aplicable a todos los puntos de consumo coincide con el que se ha desarrollado para el caso de la totalidad del municipio de la red actual. Se presenta a continuación:

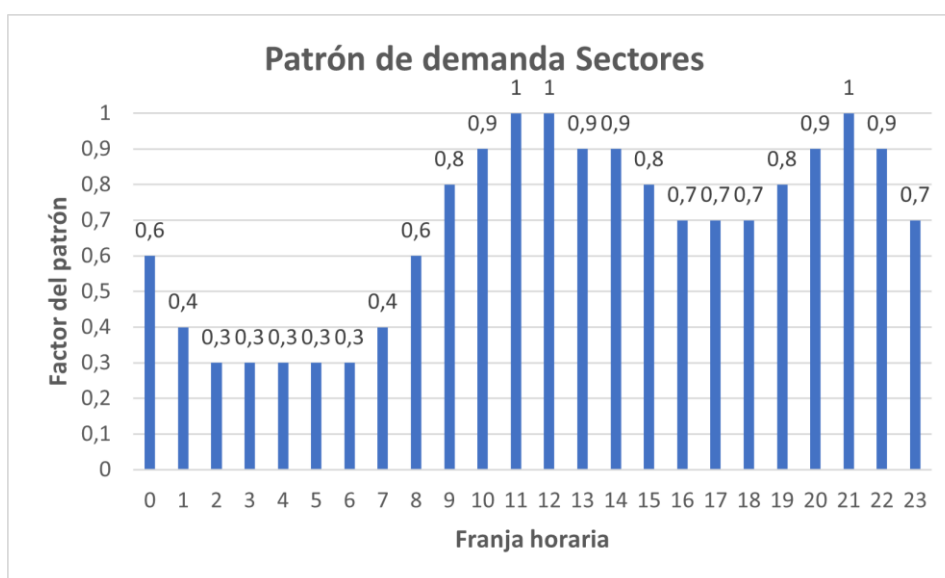


Ilustración 30: Patrón de demanda de los 16 sectores

6.4. TRAZADO DE LA RED

Para decidir la trayectoria que definirán las conducciones, se han de seguir los criterios expuestos en el desarrollo del trazado de la red actual. Además, dado que nos encontramos en un nuevo escenario, con varios puntos de consumo, se ha de dar importancia a las diferencias de demanda entre unos y otros.

Se decide que el trazado se diseñe de tal manera que suministre el agua lo antes posible a los puntos de mayor consumo. Así se consigue que, una vez abastecidos estos, se pueda llegar a otros nudos que requieren menos caudal sin arrastrar un elevado diámetro de tubería de forma innecesaria, con lo que se ahorra material. El resultado es el siguiente:



Ilustración 31: Trazado de la red a diseñar

A continuación, se puede distinguir más ampliado el entramado de conducciones que permite la comunicación entre los puntos de consumo. Se ha diseñado en forma de triángulos, ya que esta disposición posibilita que, en caso de fallo o avería en una tubería, se pueda continuar suministrando agua potable a todos los puntos, siguiendo otros caminos.

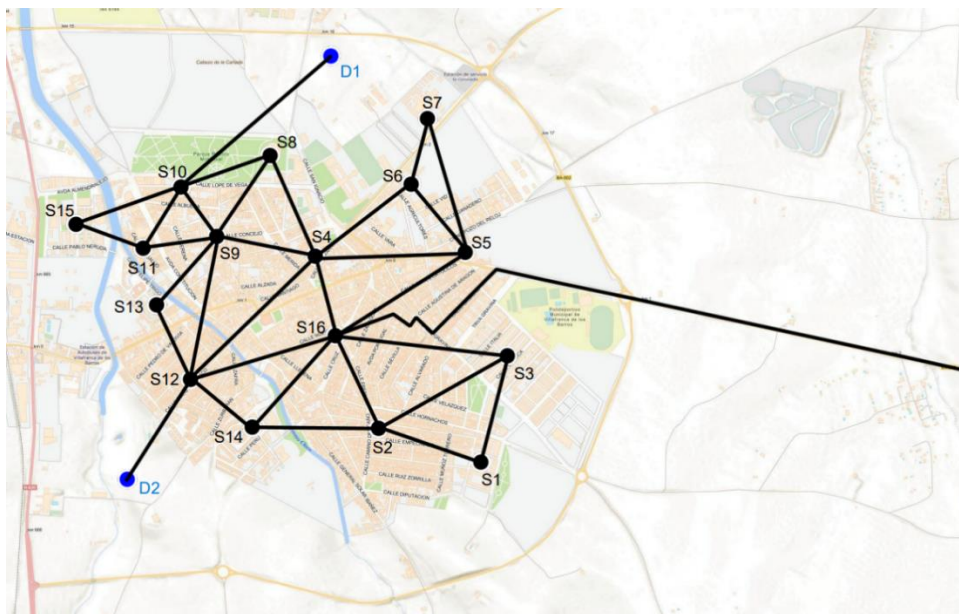


Ilustración 32: Detalle del trazado de la red a diseñar

En el plano 3 del documento de planos se puede apreciar con mayor detalle el trazado de esta red mallada.

6.5. ESQUEMA HIDRÁULICO

Teniendo conocimiento de los datos de demanda y cotas de todos los puntos característicos de la red, se procede a transformar el trazado expuesto en un modelo interpretable por el programa Epanet. A continuación, se muestra el esquema:

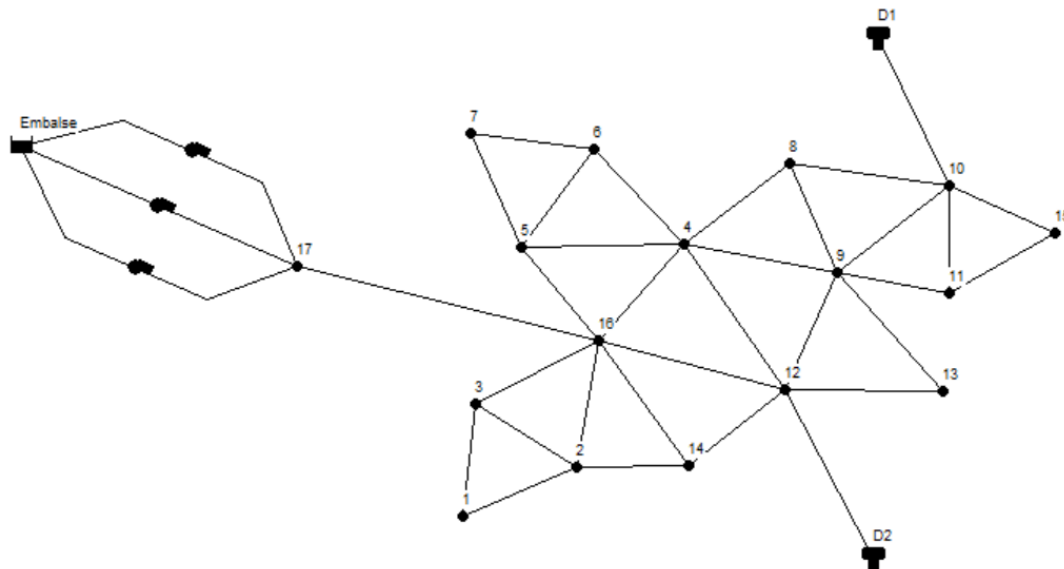


Ilustración 33: Esquema hidráulico inicial de la red a diseñar

Como se puede observar, la nomenclatura de los nudos es la utilizada hasta el momento. Los rótulos de los puntos de consumo se corresponden con el número de cada sector, y los de los depósitos comienzan con la letra D. El último nudo, con el rótulo “17”, tan sólo representa el punto de impulsión de las bombas, por lo que no tiene una demanda asociada.

6.5.1. CÁLCULO DE LAS CONDUCCIONES

Con la información cartográfica extraída del IGN, se puede llegar a la siguiente tabla, en la que se recogen las longitudes de cada conducción de la red.

Tubería	Inicio	Fin	Longitud (m)
L1	17	16	25810
L2	16	3	674,37
L3	16	2	396,69
L4	2	3	573,16
L5	2	1	419,12
L6	3	1	426,28

L7	16	14	483,36
L8	16	12	588,66
L9	12	14	301,11
L10	14	2	491,35
L11	D2	12	460,03
L12	16	4	318,88
L13	16	5	601,08
L14	4	5	582,31
L15	4	6	463,92
L16	5	6	337,01
L17	5	7	538,14
L18	6	7	264,85
L19	12	4	681,21
L20	12	13	616,23
L21	12	9	564,26
L22	13	9	353,36
L23	9	4	388,08
L24	9	8	274,27
L25	11	9	288,51
L26	10	8	367,23
L27	8	4	429,36
L28	15	11	277,35
L29	10	11	278,83
L30	10	9	236,57
L31	10	15	433,12
L32	D1	10	771,24

Tabla 14: Longitud de las conducciones de la red a diseñar

Todas ellas serán de polietileno, por lo que la rugosidad será de 0,0015mm.

Por otro lado, para la obtención del diámetro de cada conducción se podría seguir el razonamiento expuesto en la red actual. Partiendo del caudal máximo que se ha de trasegar, se calcularía el área de la sección que garantiza una velocidad de fluido cercana a 1 m/s. Conocida dicha superficie, basta con acudir a la ecuación del área de un cilindro para lograr extraer el diámetro necesario.

En el caso de la instalación actual, como se ha visto, se ha estudiado una red ramificada. En este tipo de redes, el caudal circulante por una tubería es consecuencia de las demandas existentes en los puntos conectados por dicha tubería. En contraposición, en este nuevo escenario de la instalación a diseñar, se ha propuesto una red mallada, en la que varias conducciones confluyen en el mismo punto y, a priori, se desconoce la circulación del caudal por cada una de ellas [16].

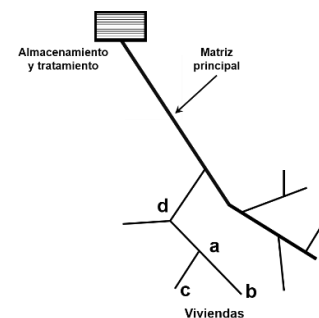


Ilustración 34: Red ramificada

La problemática que presentan las redes malladas es que cualquier cambio realizado en la instalación provoca variaciones en todo el sistema. Es decir, un aumento o disminución de diámetro de algún tramo de conducción, una variación en la cota geométrica de algún elemento o un cambio de la demanda base de un nudo pueden llevar al redimensionamiento de la instalación al completo, ya que no sólo afectan a los tramos próximos al cambio realizado.

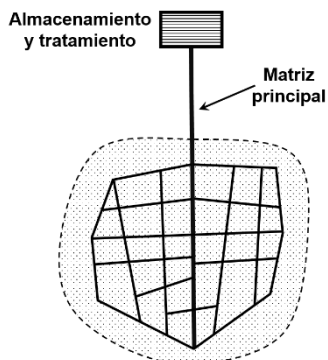


Ilustración 35: Red mallada

Es por ello que, para determinar el diámetro de las tuberías de la red a diseñar, se seguirá un proceso iterativo en el que se irán probando diferentes dimensiones para cada tramo hasta obtener el resultado deseado. La opción más práctica sería que todas las conducciones fuesen del mismo tamaño, por lo que se intentará que no haya mucha diversidad en cuanto a diámetros se refiere.

Para evitar que los valores de presión en los nudos de consumo fluctúen como lo hacían en el caso de la red actual, se fijará un rango admisible de presiones, entre los 40 y los 65 mca.

6.5.2. DISEÑO DE LOS DEPÓSITOS

El principal motivo por el que se incluyen depósitos en la propuesta de diseño es la búsqueda de un importante ahorro energético y, con este, económico. Se pretende que el equipo de bombeo esté arrancado durante las franjas horarias más baratas de la tarifa eléctrica, las que se conocen como horas valle, y sea capaz de realizar el llenado de los depósitos. Así, el resto de horas del día, serán dichos depósitos, mediante su vaciado, los responsables del suministro de los puntos de consumo.

Se han de diseñar los depósitos, por lo que se intentará darles un volumen que les permita cumplir su función reguladora. La idea es que puedan llevar a cabo el abastecimiento del municipio durante un día, sin aporte de agua por parte de las bombas, haciendo frente a las fluctuaciones de la demanda. Como primera aproximación, se seguirá la siguiente regla:

$$V_{\text{depósito}} = D_{\text{base}} \cdot t$$

Ecuación 14: Cálculo del volumen de los depósitos

Donde:

$V_{depósito}$: la variable buscada

D_{base} : demanda base del municipio

t : tiempo de autonomía del depósito, que se fija en 1 día

Como demanda base, se tomará la máxima del municipio, para considerar el caso más desfavorable. Al tener dos depósitos, se repartirá a partes iguales entre ambos, por lo que el caudal a abastecer por cada uno será la mitad de 31,49 l/s. Realizando el cálculo, el volumen de los depósitos sería de:

Depósito	Demanda base (l/s)	Tiempo (s)	Volumen (l)	Volumen (m3)
D1	15,745	86400	1360368	1360,368
D2	15,745	86400	1360368	1360,368

Tabla 15: Volumen de los depósitos

En Epanet, los depósitos son nudos con cierta capacidad de almacenamiento, en los que el volumen de agua puede variar con el tiempo durante la simulación. Para el diseño de un depósito, el programa requiere definir la cota de solera, el diámetro y el nivel inicial, mínimo y máximo del agua.

En el caso de los dos depósitos a instalar en la red propuesta, conocemos las cotas geométricas de los emplazamientos en los que se van a situar y el volumen, que ha sido calculado en este apartado. Asumiendo que serán de geometría cilíndrica, e imponiendo una altura máxima de unos 6 metros, para que el tamaño no sea desproporcionado, se obtendría el diámetro a partir de la siguiente ecuación:

$$V_{cilindro} = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Ecuación 15: Volumen de un cilindro

A continuación, se muestran los cálculos realizados:

Depósito	Cota (m)	Volumen (m3)	Altura (m)	Radio (m)	Diámetro (m)
D1	413	1360,368	6	8,495	17
D2	405	1360,368	6	8,495	17

Tabla 16: Diámetro y altura de los depósitos

El nivel del agua en los depósitos debe oscilar entre el nivel máximo y el mínimo impuestos. Epanet impide la salida de agua del depósito cuando este se encuentra en su nivel mínimo y, del mismo modo, impide la entrada de agua cuando se encuentra en su nivel máximo. Así, se asignará un nivel máximo de 6 metros y un mínimo de 1 metro, añadiendo como nivel inicial unos 3 metros para el comienzo de la simulación.

6.6. TRATAMIENTO DE LA RED

Las principales problemáticas que se presentan en la simulación de la red en Epanet son el dimensionamiento de las conducciones y los depósitos, la búsqueda de un rango de valores de presión admisible en los nudos de consumo y la coordinación entre el equipo de bombeo y los depósitos para el suministro del municipio. En este apartado se exponen los pasos a seguir para el ajuste de la red, que llevan a la obtención de la instalación final.

Como se ha dicho anteriormente, se establece un rango de presiones a cumplir en los nudos de consumo, aproximadamente entre 40 y 65 mca. En cuanto a los diámetros, la solución óptima sería poder resolver el problema planteado con un único diámetro de conducción. Esto resultaría útil de cara a la subcontratación del material, ya que se comprarían grandes cantidades de un mismo diámetro, pero también en lo que respecta a las pérdidas, porque supondría no tener cambios bruscos de sección a lo largo de la instalación.

Se hace evidente que se requiere añadir elementos de control para dar salida a las problemáticas expuestas al principio de este apartado.

6.6.1. LEYES DE CONTROL

Para conseguir el objetivo principal del proyecto, que es el ahorro energético, se aprovechará la discriminación horaria de la tarifa de la electricidad. Acudiendo a la página web tarifaluzhora.es se puede consultar el registro del coste de la luz para el día que se desee. En el apartado de conclusión, se detalla con más exactitud la variabilidad del precio a lo largo del día estival escogido para la simulación.

La idea principal sería realizar una división de las horas del día y clasificarlas en horas punta, llano y valle. Hecho esto, se busca que el equipo de bombeo, que consume electricidad, se encuentre en funcionamiento durante las horas valle, que son las horas en las que la demanda eléctrica se reduce y, por tanto, la tarifa de la luz es más barata. Se considerará que esta franja horaria se encuentra entre las 10 PM y las 6 AM.

Para conseguir esto, basta con programar un control en Epanet. El programa permite configurar reglas para controlar el estado de determinados elementos de la red. Así, se podría determinar el estado de las bombas en base a la hora del día, empleando la siguiente sintaxis:

RULE 1

IF SYSTEM CLOCKTIME >= 10 PM

OR SYSTEM CLOCKTIME < 6 AM

THEN PUMP B1 STATUS IS OPEN

AND PUMP B2 STATUS IS OPEN

AND PUMP B3 STATUS IS OPEN

RULE 2

IF SYSTEM CLOCKTIME >= 6 AM

AND SYSTEM CLOCKTIME < 10 PM

THEN PUMP B1 STATUS IS CLOSED

AND PUMP B2 STATUS IS CLOSED

AND PUMP B3 STATUS IS CLOSED

6.6.2. REGULACIÓN DE LAS PRESIONES

Un aspecto importante a controlar en la instalación son las sobrepresiones que se pueden dar en los nudos. En el caso de la red a diseñar, un punto especialmente problemático es el nudo 16, dado que va conectado de manera directa a la impulsión de las bombas y, con ello, a la altura que estas aportan. En él, se dan presiones elevadas, particularmente en las horas en las que se tiene un coeficiente de la curva de modulación moderado y los caudales a abastecer no son elevados.

Aunque la conducción L1 tiene una longitud considerable, las pérdidas producidas no son suficientes como para reducir la presión en dicho nudo 16. Se ha de buscar, por tanto, una solución para conseguir que se registren presiones de servicio menores, y dentro del rango establecido, de manera que no se sobrecarguen las conducciones. Una opción a considerar es el uso de válvulas reguladoras. Se podría instalar una a la salida de la impulsión de las bombas, con lo que se reduciría la presión en el nudo 16 y, con él, en el resto de los nudos de consumo de la red. Así, el esquema hidráulico tomaría la siguiente forma:

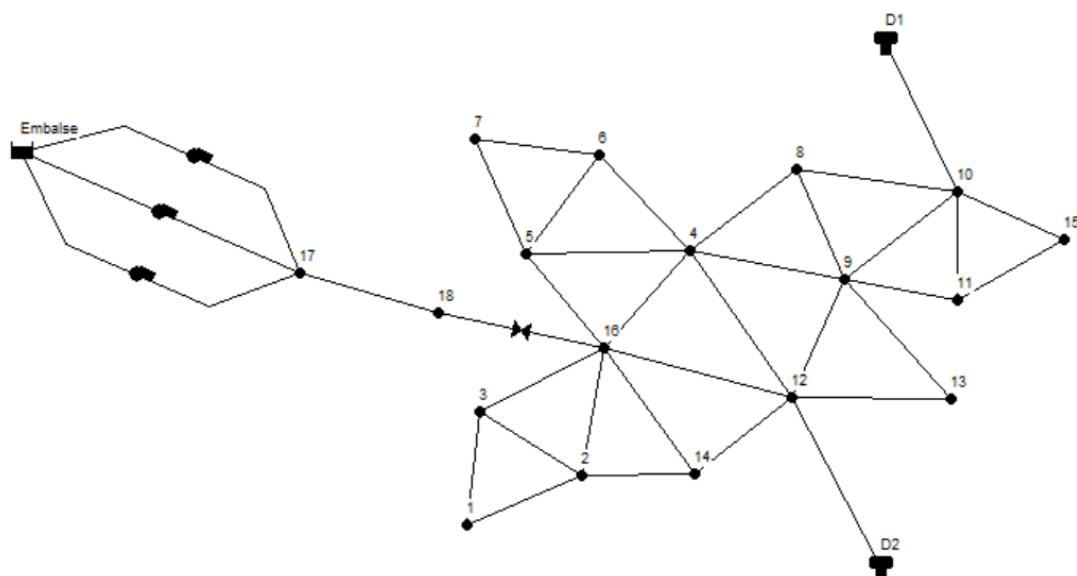


Ilustración 36: Esquema hidráulico definitivo de la red a diseñar

Como se puede observar, la adición de la válvula reguladora ha conllevado la creación de un nuevo nudo, bajo el rótulo "18", que se encuentra a la misma cota que el nudo 16, no tendrá demanda agregada y tan sólo sirve como continuación de la conducción L1.

6.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado, se procede a exponer los resultados obtenidos, conseguidos tras una serie de iteraciones, en las que se han probado múltiples combinaciones entre diferentes diámetros de conducciones, modelos de bombas y dimensiones de depósitos.

6.7.1. SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO

La relación altura-caudal que, al aplicarse a las tres bombas de la instalación, ha resultado cumplir con los objetivos es: 25 l/s (90 m³/h) y 250 metros. En este punto, se procede a seleccionar el modelo de bombeo que satisface estas condiciones de trabajo.

Se opta por escoger UPA 200B-80, cuya curva motriz se muestra a continuación:

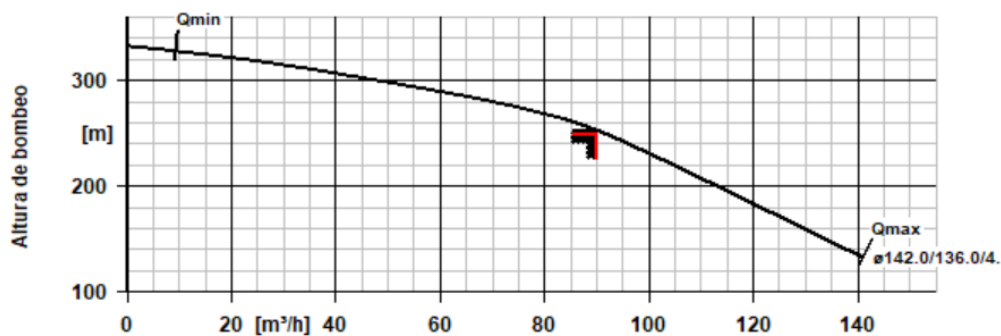


Ilustración 37: Curva motriz del modelo UPA 200B-80

Además, según los datos proporcionados por el configurador web de KSB, para el punto de funcionamiento deseado, la máquina presenta una eficiencia del 78,4%, lo cual puede comprobarse en la siguiente curva:

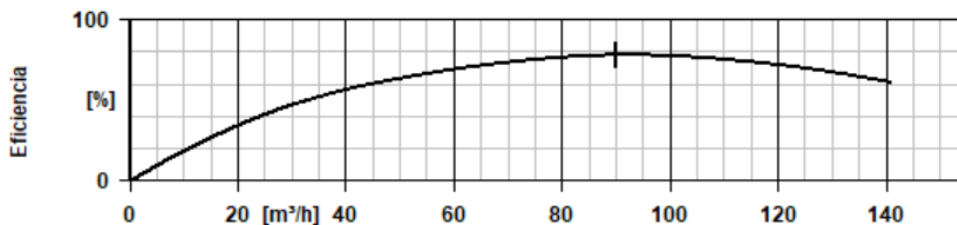


Ilustración 38: Curva de eficiencia del modelo UPA 200B-80

Introducidas ambas curvas en la simulación de Epanet, se obtienen los resultados que se exponen en los siguientes apartados.

6.7.2. DIMENSIONES DE LAS CONDUCCIONES

Tras las pruebas realizadas, se ha logrado obtener un modelo de red que contiene tan sólo dos diámetros distintos de tubería de PE:

Tubería	Inicio	Fin	Diámetro (mm)
L1	17	18	250
L2	16	3	200
L3	16	2	200
L4	2	3	200
L5	2	1	200
L6	3	1	200
L7	16	14	200
L8	16	12	200
L9	12	14	200
L10	14	2	200
L11	D2	12	250
L12	16	4	200
L13	16	5	200
L14	4	5	200
L15	4	6	200
L16	5	6	200
L17	5	7	200
L18	6	7	200
L19	12	4	200
L20	12	13	200
L21	12	9	200
L22	13	9	200
L23	9	4	200
L24	9	8	200
L25	11	9	200
L26	10	8	200
L27	8	4	200
L28	15	11	200
L29	10	11	200
L30	10	9	200
L31	10	15	200
L32	D1	10	250

Tabla 17: Diámetro de las conducciones de la red a diseñar

En el plano 4 del documento de planos, se observa una vista general del esquema hidráulico, que recoge las longitudes y diámetros finales de cada una de las conducciones. Por su parte, el plano 5, parte del mismo esquema base, pero se centra en resumir el modelo de bombas escogido y la dimensión de válvulas y depósitos finalmente instalados en la red.

6.7.3. DIMENSIONES DE LOS DEPÓSITOS

Las primeras pruebas de análisis de la red se han realizado con los depósitos dimensionados tal y como se ha expuesto anteriormente, pero se han ido haciendo cambios, y las dimensiones finales son las siguientes:

Depósito	Cota (m)	Nivel inicial (m)	Nivel mín (m)	Nivel máx (m)	Diámetro (m)	Volumen (m ³)
D1	462	2	1	5	15	883,57
D2	462	2	1	5	15	883,57

Tabla 18: Dimensiones definitivas de los depósitos de la red a diseñar

Como se puede apreciar, se ha decidido que los depósitos se instalen en altura y no a ras de suelo, lo que hace que aumente la presión en los nudos cercanos. En concreto, al depósito 1 se le ha dado una altura extra de 49 metros y al depósito 2, de 57 metros.

6.7.4. LLENADO Y VACIADO DE LOS DEPÓSITOS

Con el control programado se consigue que las bombas se mantengan encendidas en las horas valle, aportando el suficiente caudal como para abastecer a los nudos de consumo y llenar los depósitos. Así, durante el resto de horas del día, el equipo de bombeo se apaga, y la capacidad de los depósitos permite el abastecimiento de manera autónoma. En el siguiente gráfico, se puede observar el llenado y vaciado de estos:

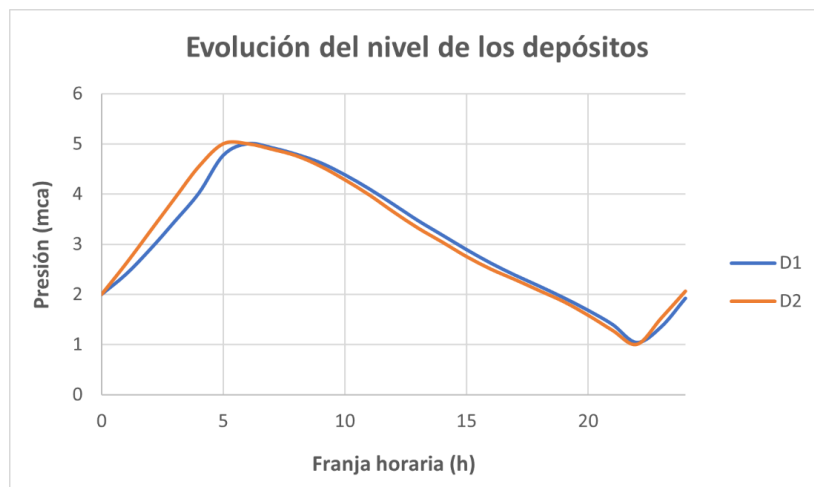


Ilustración 39: Evolución del nivel de los depósitos a lo largo del día

Si se realiza la simulación para varios días, se logra ver mejor el efecto:

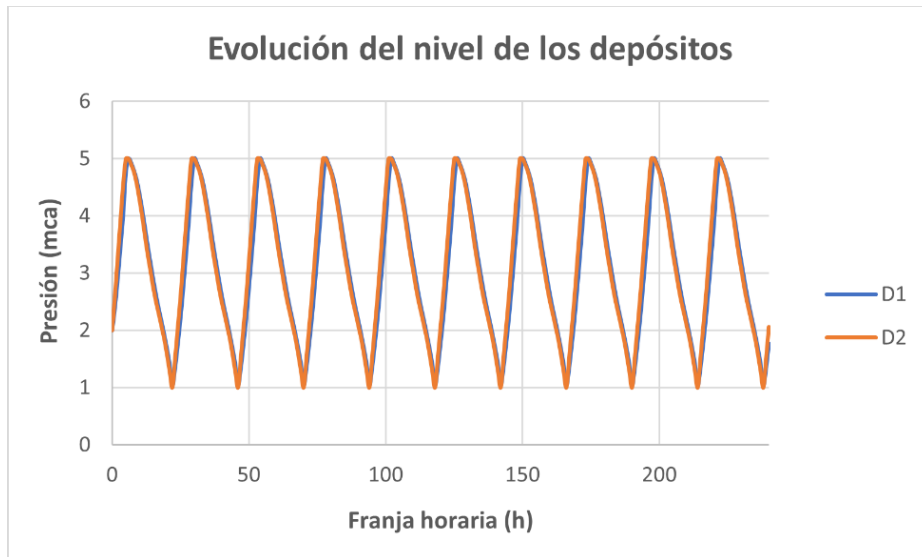


Ilustración 40: Llenado y vaciado de los depósitos durante varios días de simulación

Se puede comprobar que los niveles mínimos (1 metro) y máximos (5 metros) se cumplen en todo momento para ambos depósitos. Además, la evolución es la esperada, ya que el llenado se realiza entre las 10 PM y las 6 AM de cada día, trazando un patrón diario, tal y como se ha programado.

6.7.5. PRESIONES EN LOS NUDOS

A continuación, se muestra un gráfico que recoge los valores de presión registrados en cada uno de los nudos de consumo:

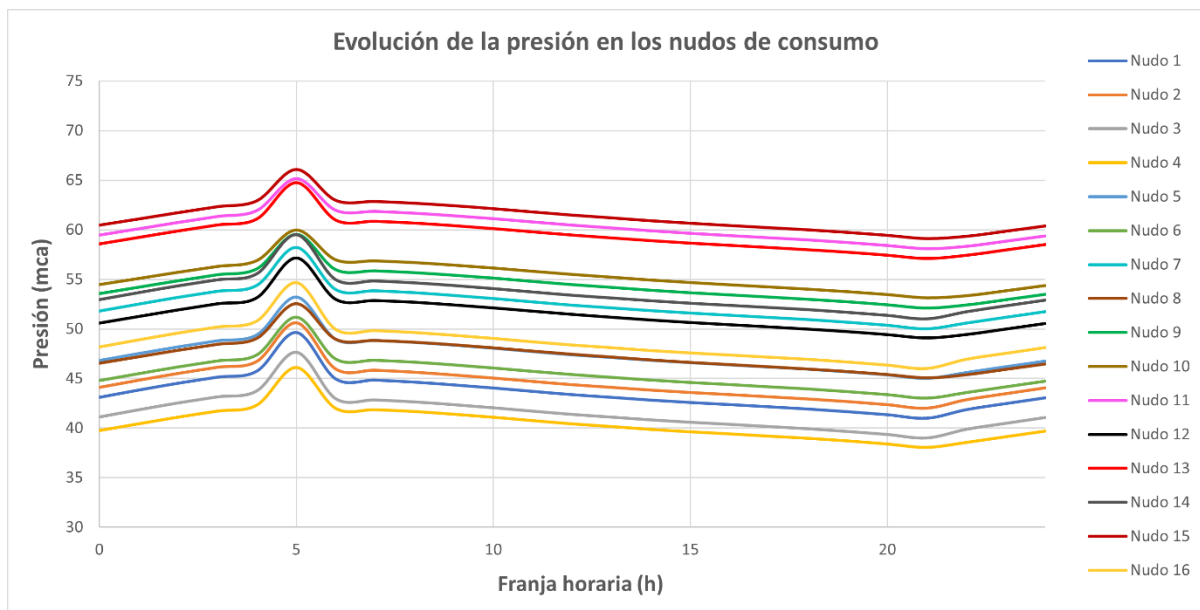


Ilustración 41: Evolución de la presión en los nudos de consumo de la red a diseñar

6.7.6. VELOCIDADES EN LAS CONDUCCIONES

Es interesante también hacer un análisis de la velocidad con la que el agua es conducida por cada una de las tuberías, para comprobar que no se dan valores muy elevados que puedan llevar a grandes pérdidas locales. En la siguiente imagen, se presenta un gráfico que reúne los valores de velocidad en las conducciones más críticas, es decir, las que trasiegan un mayor caudal. En concreto, estas son L1, que conecta el embalse a la red, y L11 y L32, que comunican a esta última con los depósitos.

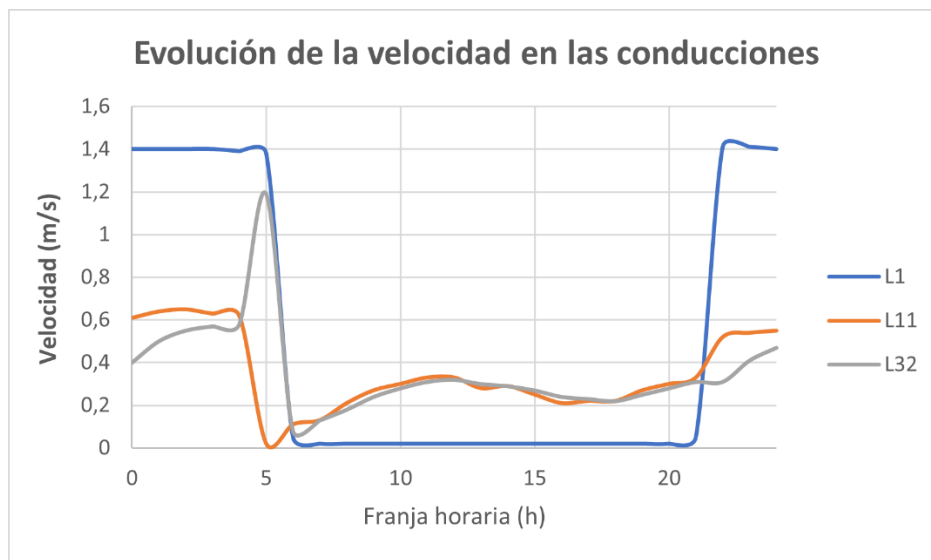


Ilustración 42: Evolución de la velocidad en las conducciones de la red a diseñar

En el anexo se pueden estudiar con mayor detalle los resultados obtenidos, ya que se muestran las presiones en cada nudo y los caudales que pasan por cada conducción y por cada bomba para todas las horas de la simulación. Las imágenes muestran con mayor claridad el funcionamiento del equipo de bombeo, ya que se observa que, durante las horas valle, el caudal circulante por la tubería L1 fluctúa a lo largo de las franjas horarias, pero se anula durante las horas punta.

Además, Epanet es riguroso en cuanto a los nudos de conectividad de las conducciones. Es decir, fija cuál es el nudo de inicio y de fin de las tuberías, y muestra el valor del caudal con signo positivo o negativo, indicando el sentido de circulación de este. Así, si se analizan las imágenes de la simulación incluidas en el anexo, se pueden distinguir valores positivos o negativos de caudal en las conducciones L11 y L32, que indican a qué horas se llenan y vacían los depósitos.

6.8. EXCAVACIÓN DE LAS ZANJAS

En este apartado, se procede a calcular los volúmenes de excavación y relleno de zanjas necesarios para la deposición de las conducciones de la red. Para ello, se ha de consultar la Norma UNE-EN 805:2000, que dedica uno de sus apartados a la instalación de tubos enterrados [17].

6.8.1. VOLUMEN DE EXCAVACIÓN

En las siguientes tablas se muestran los anchos y profundidades de zanja, estipulados en función del diámetro de la tubería de PE (siendo OD el diámetro exterior de esta):

DN (mm)	Ancho mínimo de zanja (m)
DN ≤ 150	0,4
150 < DN ≤ 250	0,5
250 < DN ≤ 350	OD + 0,3
350 < DN ≤ 700	OD + 0,5
700 < DN ≤ 1200	OD + 0,65
DN > 1200	OD + 0,8

Tabla 19: Ancho mínimo de zanja en función del diámetro nominal de tubería

Ancho mínimo de zanja (m)	Profundidad de zanja (m)
0,6	H ≤ 1
0,8	1 < H ≤ 1.75
0,9	1,75 < H ≤ 4
1	H > 4

Tabla 20: Relación entre el ancho mínimo de la zanja y la profundidad de la misma

Para obtener el volumen necesario de excavación bastará con seguir la siguiente fórmula:

$$V_{excavación} = Longitud_{tubería} * Ancho_{zanja} * Profundidad_{zanja}$$

Ecuación 16: Cálculo del volumen de excavación

Así, se ha de hacer un recuento de la longitud total a emplear de cada diámetro de tubería, y acudir a ambas tablas para determinar el ancho y la profundidad. Este proceso se recoge detalladamente en la siguiente tabla:

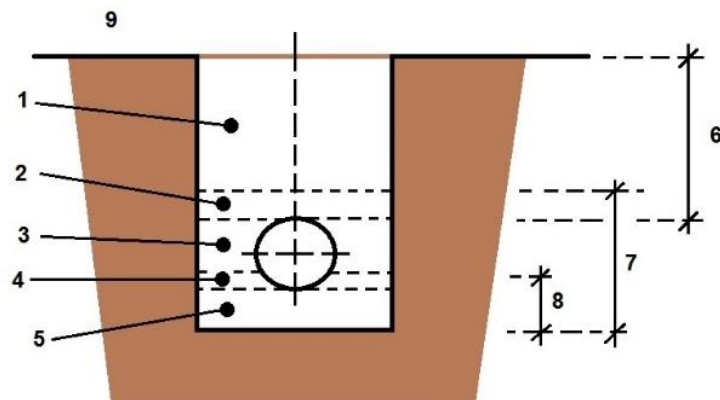
DN (mm)	Longitud (m)	Ancho de zanja (m)	Profundidad de zanja (m)	Volumen de excavación (m ³)
200	12648,67	0,5	1	6324,34
250	27041,27	0,5	1	13520,64

Tabla 21: Volumen de excavación necesario

El volumen de excavación total será, por tanto, de 19844,97 m³.

6.8.2. RELLENO DE LA ZANJA

A continuación, se muestra un esquema que refleja cómo se ha de realizar el relleno, una vez alojada la tubería:



- 1 Relleno principal que incluye la posible calzada
- 2 Relleno inicial
- 3 Relleno lateral
- 4 Asiento
- 5 Cama de apoyo
- 6 Altura de relleno
- 7 Recubrimiento
- 8 Apoyo (incluye cama de apoyo y asiento)
- 9 Superficie del suelo

Ilustración 43: Esquema del relleno de la zanja

Según lo estipulado por la Norma UNE-EN 805:2000, la cama de apoyo (división con el número 5 en el esquema) tiene una profundidad de 0,1 m y se debe rellenar con material granular. Partiendo de este dato, la profundidad del asiento (número 4) se obtendrá como:

$$Profundidad_{asiento} + Profundidad_{cama\ de\ apoyo} = 10 + \frac{DN\ (cm)}{10}$$

Ecuación 17: Cálculo de la profundidad del asiento

Además, se dice que el asiento (número 4), el relleno lateral (número 3) y el relleno principal (número 1) se han de rellenar con material adecuado, asegurando una compactación del 95%. Por su parte, la profundidad del relleno inicial (número 2) será de 0,3m.

Para hallar la profundidad del relleno lateral (número 3), se acude a la siguiente expresión:

$$Profundidad_{relleno\ lateral} = DN - Profundidad_{asiento}$$

Ecuación 18: Cálculo de la profundidad del relleno lateral

El resto de capas se rellenarán con productos procedentes de la propia excavación.

Con toda esta información, se pueden confeccionar las siguientes tablas, en las que se desglosa el volumen de relleno necesario para la zanja.

DN (mm)	Longitud (m)	Ancho zanja (m)	Profundidad (m)	Volumen relleno (m3)
200	12648,67	0,5	0,1	632,43
250	27041,27	0,5	0,1	1352,06
Total				1984,49

Tabla 22: Volumen de relleno cama de apoyo (capa 5)

DN (mm)	Longitud (m)	Ancho zanja (m)	Profundidad (cm)	Profundidad (m)	Volumen relleno (m3)
200	12648,67	0,5	2	0,02	126,49
250	27041,27	0,5	2,5	0,025	338,016
Total					464,5

Tabla 23: Volumen de relleno asiento (capa 4)

DN (mm)	Longitud (m)	Ancho zanja (m)	Profundidad (m)	Volumen relleno (m3)
200	12648,67	0,5	0,18	1138,38
250	27041,27	0,5	0,225	3042,14
Total				4180,52

Tabla 24: Volumen de relleno lateral (capa 3)

DN (mm)	Longitud (m)	Ancho zanja (m)	Profundidad (m)	Volumen relleno (m3)
200	12648,67	0,5	0,3	1897,3
250	27041,27	0,5	0,3	4056,19
Total				5953,49

Tabla 25: Volumen de relleno inicial (capa 2)

DN (mm)	Longitud (m)	Ancho zanja (m)	Profundidad (m)	Volumen relleno (m3)
200	12648,67	0,5	0,4	2529,73
250	27041,27	0,5	0,35	4732,22
Total				7261,96

Tabla 26: Volumen de relleno principal (capa 1)

En el presupuesto, los volúmenes de relleno irán agrupados por material, por lo que sería de utilidad acudir a la siguiente tabla:

Material	Volumen de relleno necesario (m3)
Material granular (capa 5)	1984,497
Material adecuado compactado al 95% (capas 1, 3 y 4)	11906,982
Material procedente de la excavación (capa 2)	5953,491

Tabla 27: Volúmenes de relleno definitivos

Para mayor claridad, en el plano 6 del documento de planos se recoge una vista general de las capas de la zanja a rellenar y de sus dimensiones, particularizado para cada diámetro de tubería a emplear.

7. CONCLUSIÓN

Una vez expuestos el funcionamiento de la red actualmente instalada y el de la red propuesta como rediseño para Villafranca de los Barros, se procede a realizar una comparativa entre ellos.

Sería interesante conocer si la construcción y puesta en marcha de la nueva red propuesta saldría rentable al municipio. Como ya se ha comentado a lo largo de la memoria del presente proyecto, con la nueva red se busca conseguir un ahorro energético, ya que la presencia de los depósitos supone una reducción en el tiempo de funcionamiento del grupo de bombeo. Esta idea debería verse reflejada en los resultados obtenidos.

Se procede a comparar el coste de ambas instalaciones. Es cierto que el coste total incluye coste de inversión y coste de explotación. En este apartado, no se mencionarán los costes de inversión dado que se desconocen datos de la red actual, pero en el presupuesto sí se contemplarán para el caso de la red a diseñar.

Así, se presentarán únicamente los costes de explotación de ambas instalaciones. Estos no son más que los costes derivados del consumo eléctrico de las bombas. Para estimarlos, se ha de conocer la estructura de la tarifa eléctrica, aunque esta está sufriendo una gran variabilidad en los últimos meses.

A continuación, se encuentra un gráfico que recoge el precio por hora de la electricidad, según los últimos datos registrados por la web *tarifaluzhora.es* [18]:

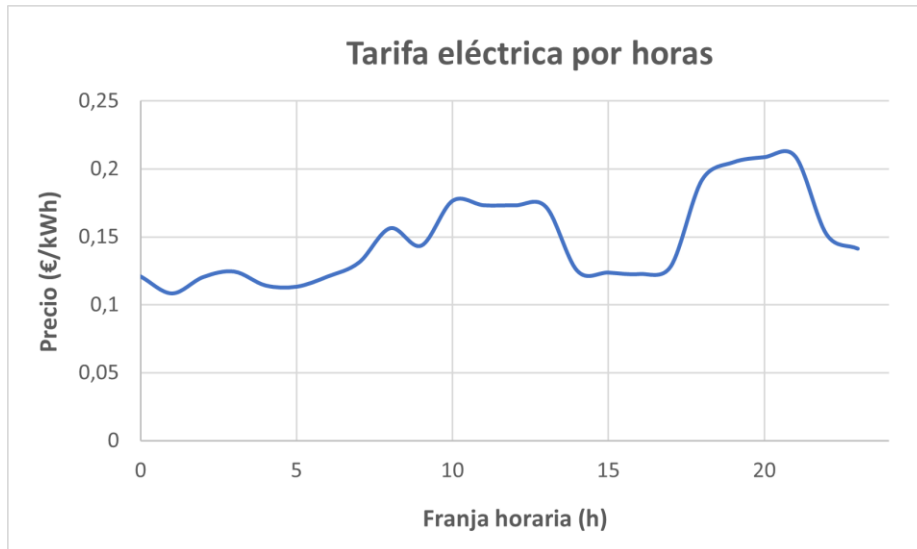


Ilustración 44: Evolución de la tarifa eléctrica a lo largo del día

Con esta información, se puede confeccionar un patrón de precios, que funciona del mismo modo que el patrón de demanda. Se determinará un precio base, que se fijará en 1€/kWh, y se asignará un factor multiplicador a dicha base, lo que dará como resultado el precio real para cada franja horaria. El patrón de precios será el siguiente:

Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Coef	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,13	0,16	0,14	0,18	0,17
Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Coef	0,17	0,17	0,12	0,12	0,12	0,13	0,19	0,20	0,21	0,21	0,15	0,14

Tabla 28: Factores del patrón de precios

A continuación, se muestran los informes energéticos extraídos de Epanet:

Bomba	Porcentaje utilización (%)	Horas func. / día (h)	Potencia media (kW)	Coste / día (€/día)
B1	100	24	20,38	73,79
B2	100	24	20,38	73,79
B3	100	24	20,38	73,79

Tabla 29: Informe energético red actual

Coste total: 221,37 €

Bomba	Porcentaje utilización (%)	Horas func. / día (h)	Potencia media (kW)	Coste / día (€/día)
B1	30,64	7,35	77,14	70,29
B2	30,64	7,35	77,14	70,29
B3	30,64	7,35	77,14	70,29

Tabla 30: Informe energético red a diseñar

Coste total: 210,87 €

Como se puede comprobar, a pesar de que el equipo de bombeo de la segunda instalación es más potente y consume más energía, al final se acaba obteniendo un menor gasto económico debido a que está en funcionamiento menos horas al día.

La red propuesta supone un ahorro económico de 10,5 €/día, que son 3832,5 €/año, frente a la red actual. Con estos datos, queda demostrado que sería interesante considerar la opción de incluir depósitos en la instalación de suministro hidráulico del municipio.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Excmo. Ayto. Villafranca de los Barros. (consultado en marzo de 2023). *Smart Portal del Ayto. de Villafranca de los Barros*. Obtenido de <https://www.villafrancadelosbarros.es/>
- [2] Wikipedia. (consultado en marzo de 2023). *Villafranca de los Barros*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Villafranca_de_los_Barros
- [3] Forociudad. (consultado en marzo 2023). *Demografía de Villafranca de los Barros*. Obtenido de <https://www.foro-ciudad.com/badajoz/villafranca-de-los-barros/habitantes.html>
- [4] Iagua. (consultado en abril de 2023). *Embalse de Molinos del Matachel*. Obtenido de <https://www.iagua.es/data/infraestructuras/embalses/molinos-matachel>
- [5] Norma UNE- EN 805:2000. (consultado en junio de 2023). *Abastecimiento de agua*. Obtenido de [https://portal.aenormas.aenor.com/revista/pdf/jul15/\(EX\)UNE-EN_805=2000.pdf](https://portal.aenormas.aenor.com/revista/pdf/jul15/(EX)UNE-EN_805=2000.pdf)
- [6] COAATEEEF. (consultado en junio de 2023). *Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE)*. Obtenido de <https://coaateef.org/colegiados/biblioteca/normativa-construccion/normas-tecnologicas-la-edificacion/>
- [7] Wikipedia. (consultado en junio de 2023). *Código Técnico de la Edificación (CTE)*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%B3digo_T%C3%A9cnico_de_la_Edificaci%C3%B3n
- [8] Aristegui. (consultado en abril de 2023). *10 Ventajas destacables de las tuberías de polietileno (PE)*. Obtenido de <https://www.aristegui.info/10-ventajas-destacables-de-las-tuberias-de-polietileno-pe/>
- [9] Aristegui. (consultado en abril de 2023). *Tabla general tubos de PE según UNE-EN 12201 y su Rigidez Anular (SN)*. Obtenido de <https://www.aristegui.info/tabla-general-tubos-de-pe-segun-une-en-12201-y-su-rigidez-anular-sn/>
- [10] Iiama. (consultado en abril de 2023). *EPANET 2.00.12 ESP*. Obtenido de <https://www.iiama.upv.es/iiama/es/transferecia/software/epanet-esp.html>
- [11] Aerodinamica F1. (consultado en abril de 2023). *Flujo laminar y turbulento*. Obtenido de <https://www.aerodinamicaf1.com/2019/10/flujo-laminar-y-turbulento/>
- [12] Ecofred. (consultado en abril de 2023). *Tipos de flujo: flujos laminares y turbulentos*. Obtenido de <https://ecofred.com/es/blog/58/tipos-de-flujo-flujos-laminares-y-turbulentos>
- [13] Arco. (consultado en abril de 2023). *Qué es la pérdida de carga en tuberías*. Obtenido de <https://blog.valvulararco.com/que-es-la-perdida-de-carga-en-tuberias>
- [14] IGN. (consultado en mayo de 2023). *Cartografía y datos geográficos*. Obtenido de <https://www.ign.es/web/ign/portal/cbg-area-cartografia>
- [15] KSB. (consultado en junio de 2023). *KSB Easy Select*. Obtenido de <https://www.ksb.com/es-es/herramientas-y-know-how-de-ksb/herramientas-de-diseno/ksb-easyselect>

- [16] Sswm. (consultado en mayo de 2023). *Red de distribución comunitaria*. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/red-de-distribuci%C3%B3n-comunitaria>
- [17] Aqualia. (consultado en junio de 2023). *Normas técnicas de abastecimiento de agua*. Obtenido de <https://www.barbate.es/areas-tematicas/agua?download=329:aguas>
- [18] Selectra. (consultado en junio de 2023). *Consulta el precio de la luz hoy: Detalles y evolución de la tarifa PVPC*. Obtenido de <https://tarifaluzhora.es/>

DOCUMENTO 2: ANEXOS DE LA MEMORIA

ÍNDICE DEL ANEXO DE LA MEMORIA

1. SIMULACIÓN DE LA RED ACTUAL EN EPANET	1
2. CURVAS DE DEMANDA DE LOS SECTORES DE LA RED A DISEÑAR	6
3. SIMULACIÓN DE LA RED A DISEÑAR EN EPANET	10

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Simulación red actual a las 12 AM	1
Ilustración 2: Simulación red actual a la 1 AM	1
Ilustración 3: Simulación red actual a las 2 AM	1
Ilustración 4: Simulación red actual a las 3 AM	1
Ilustración 5: Simulación red actual a las 4 AM	2
Ilustración 6: Simulación red actual a las 5 AM	2
Ilustración 7: Simulación red actual a las 6 AM	2
Ilustración 8: Simulación red actual a las 7 AM	2
Ilustración 9: Simulación red actual a las 8 AM	2
Ilustración 10: Simulación red actual a las 9 AM	3
Ilustración 11: Simulación red actual a las 10 AM	3
Ilustración 12: Simulación red actual a las 11 AM	3
Ilustración 13: Simulación red actual a las 12 PM	3
Ilustración 14: Simulación red actual a la 1 PM	3
Ilustración 15: Simulación red actual a las 2 PM	4
Ilustración 16: Simulación red actual a las 3 PM	4
Ilustración 17: Simulación red actual a las 4 PM	4
Ilustración 18: Simulación red actual a las 5 PM	4
Ilustración 19: Simulación red actual a las 6 PM	4
Ilustración 20: Simulación red actual a las 7 PM	5
Ilustración 21: Simulación red actual a las 8 PM	5
Ilustración 22: Simulación red actual a las 9 PM	5
Ilustración 23: Simulación red actual a las 10 PM	5
Ilustración 24: Simulación red actual a las 11 PM	5
Ilustración 25: Curva de modulación de la demanda del sector 1	6
Ilustración 26: Curva de modulación de la demanda del sector 2	6
Ilustración 27: Curva de modulación de la demanda del sector 3	6
Ilustración 28: Curva de modulación de la demanda del sector 4	7
Ilustración 29: Curva de modulación de la demanda del sector 5	7
Ilustración 30: Curva de modulación de la demanda del sector 6	7
Ilustración 31: Curva de modulación de la demanda del sector 7	7
Ilustración 32: Curva de modulación de la demanda del sector 8	8
Ilustración 33: Curva de modulación de la demanda del sector 9	8
Ilustración 34: Curva de modulación de la demanda del sector 10	8
Ilustración 35: Curva de modulación de la demanda del sector 11	8
Ilustración 36: Curva de modulación de la demanda del sector 12	9
Ilustración 37: Curva de modulación de la demanda del sector 13	9

Ilustración 38: Curva de modulación de la demanda del sector 14	9
Ilustración 39: Curva de modulación de la demanda del sector 15	9
Ilustración 40: Curva de modulación de la demanda del sector 16	10
Ilustración 41: Simulación red a diseñar a las 12 AM	10
Ilustración 42: Simulación red a diseñar a la 1 AM.....	11
Ilustración 43: Simulación red a diseñar a las 2 AM	11
Ilustración 44: Simulación red a diseñar a las 3 AM	11
Ilustración 45: Simulación red a diseñar a las 4 AM	12
Ilustración 46: Simulación red a diseñar a las 5 AM	12
Ilustración 47: Simulación red a diseñar a las 6 AM	12
Ilustración 48: Simulación red a diseñar a las 7 AM	13
Ilustración 49: Simulación red a diseñar a las 8 AM	13
Ilustración 50: Simulación red a diseñar a las 9 AM	13
Ilustración 51: Simulación red a diseñar a las 10 AM	14
Ilustración 52: Simulación red a diseñar a las 11 AM	14
Ilustración 53: Simulación red a diseñar a las 12 PM	14
Ilustración 54: Simulación red a diseñar a la 1 PM.....	15
Ilustración 55: Simulación red a diseñar a las 2 PM	15
Ilustración 56: Simulación red a diseñar a las 3 PM	15
Ilustración 57: Simulación red a diseñar a las 4 PM	16
Ilustración 58: Simulación red a diseñar a las 5 PM	16
Ilustración 59: Simulación red a diseñar a las 6 PM	16
Ilustración 60: Simulación red a diseñar a las 7 PM	17
Ilustración 61: Simulación red a diseñar a las 8 PM	17
Ilustración 62: Simulación red a diseñar a las 9 PM	17
Ilustración 63: Simulación red a diseñar a las 10 PM	18
Ilustración 64: Simulación red a diseñar a las 11 PM	18

1. SIMULACIÓN DE LA RED ACTUAL EN EPANET

En este apartado, se recogen imágenes de los resultados obtenidos en la simulación de la red actual, para las 24 horas de estudio de la instalación.

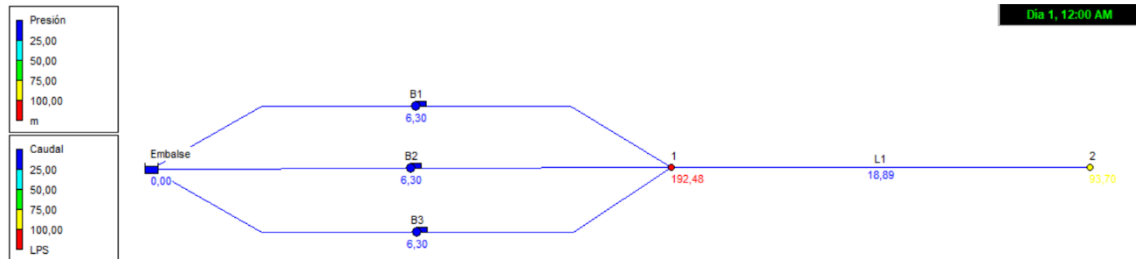


Ilustración 1: Simulación red actual a las 12 AM

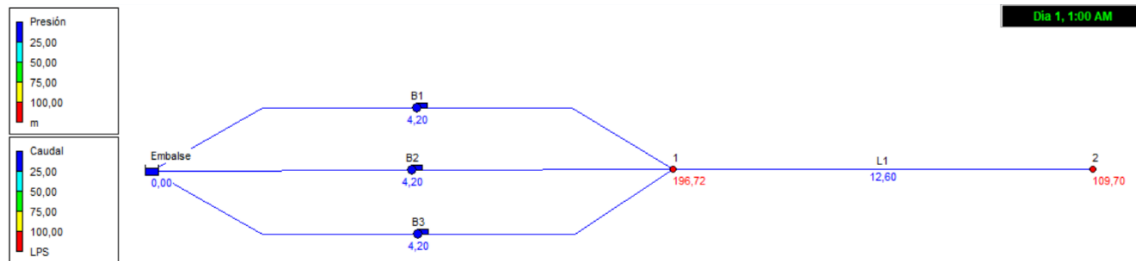


Ilustración 2: Simulación red actual a la 1 AM

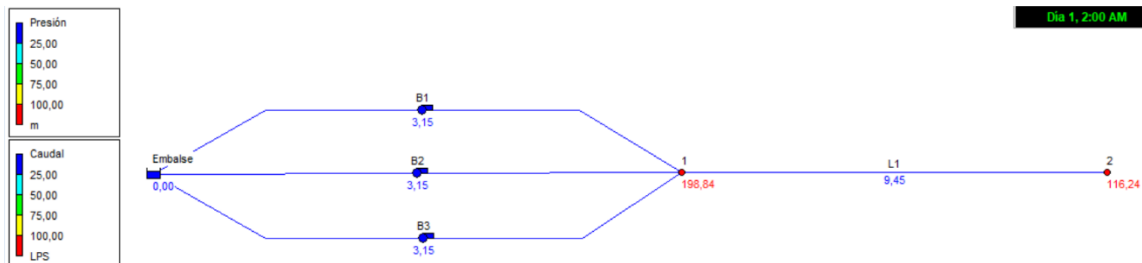


Ilustración 3: Simulación red actual a las 2 AM

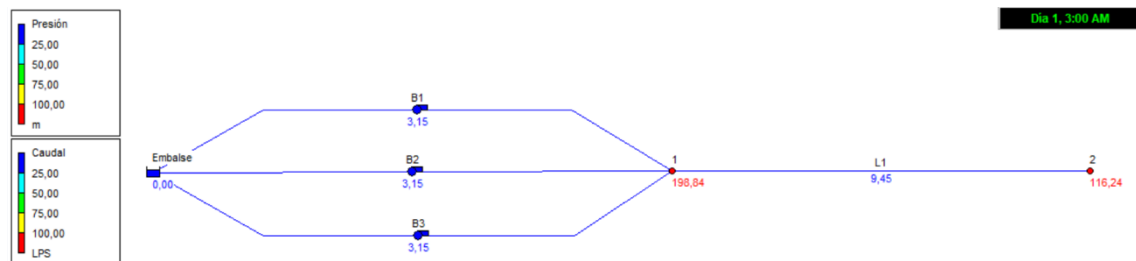


Ilustración 4: Simulación red actual a las 3 AM

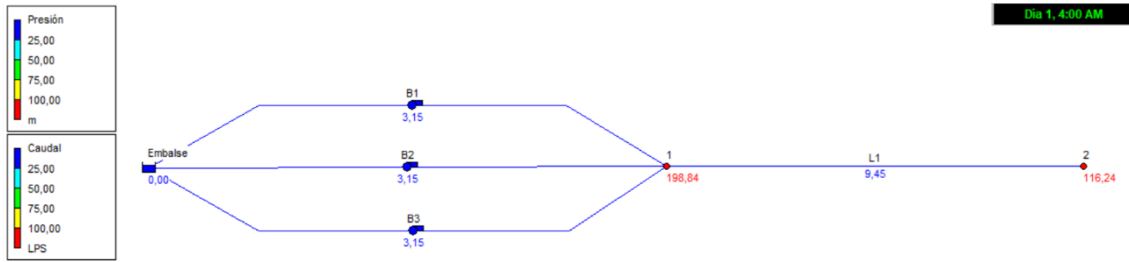


Ilustración 5: Simulación red actual a las 4 AM

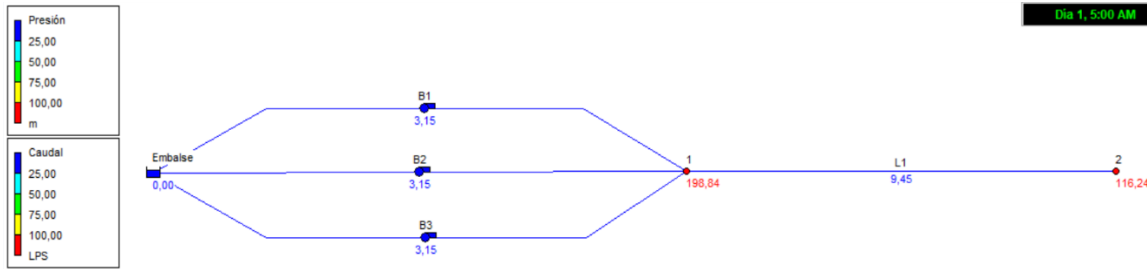


Ilustración 6: Simulación red actual a las 5 AM

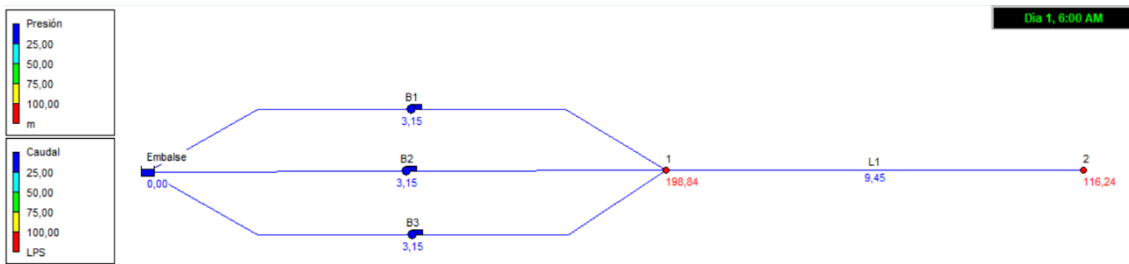


Ilustración 7: Simulación red actual a las 6 AM

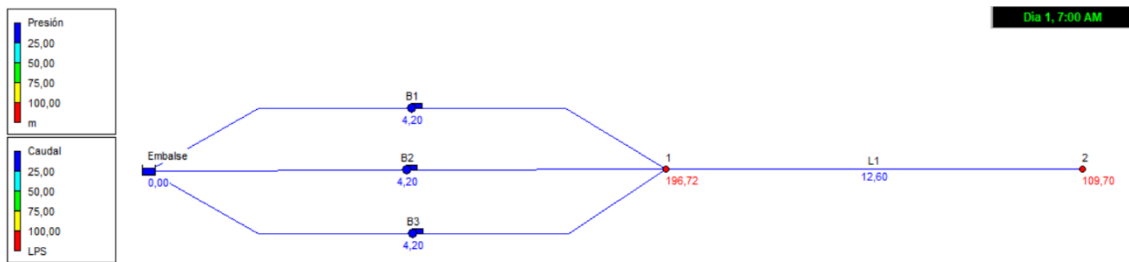


Ilustración 8: Simulación red actual a las 7 AM

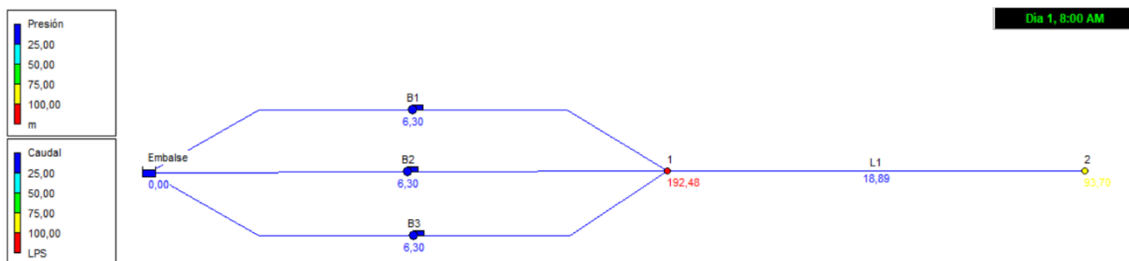


Ilustración 9: Simulación red actual a las 8 AM

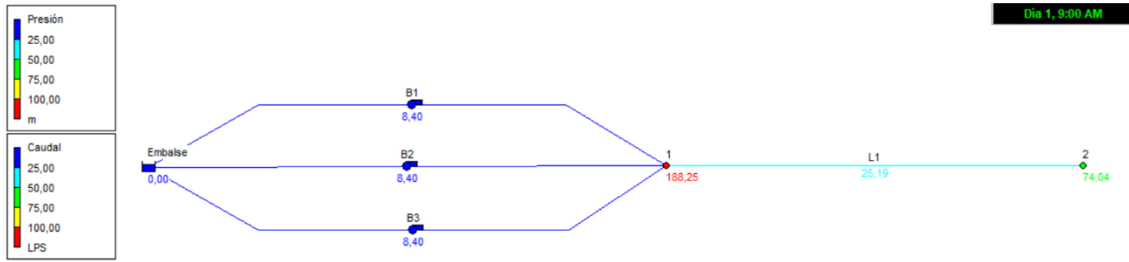


Ilustración 10: Simulación red actual a las 9 AM

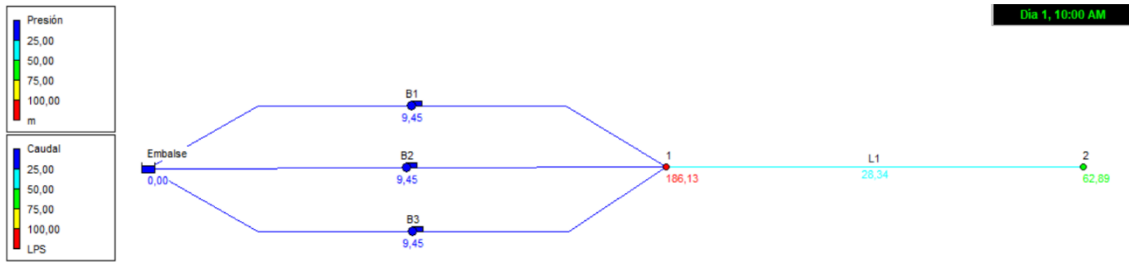


Ilustración 11: Simulación red actual a las 10 AM

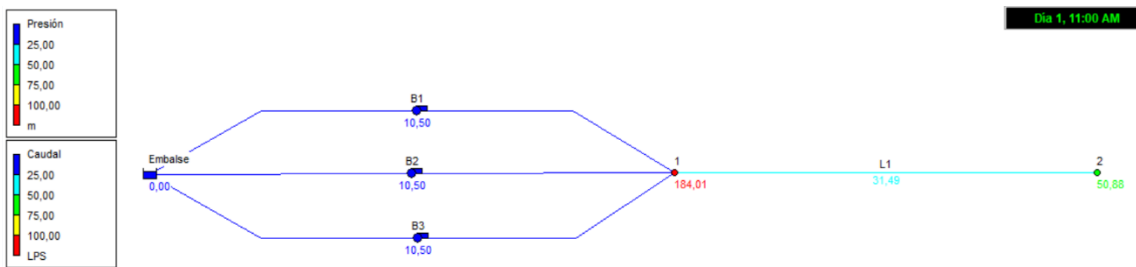


Ilustración 12: Simulación red actual a las 11 AM

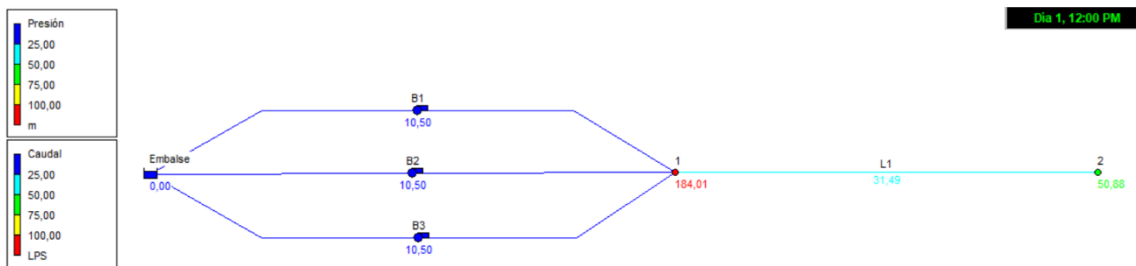


Ilustración 13: Simulación red actual a las 12 PM

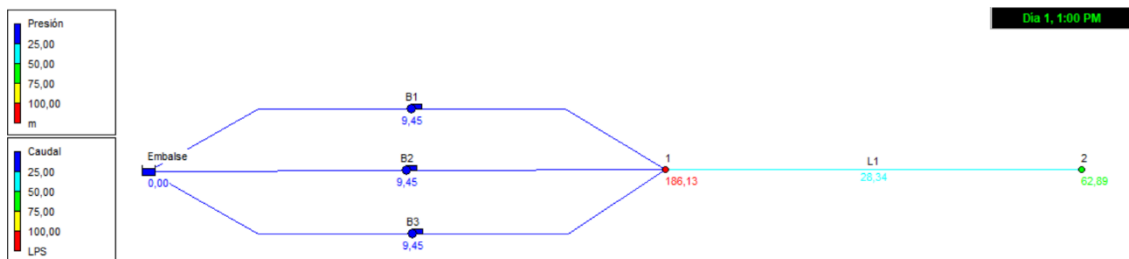


Ilustración 14: Simulación red actual a la 1 PM

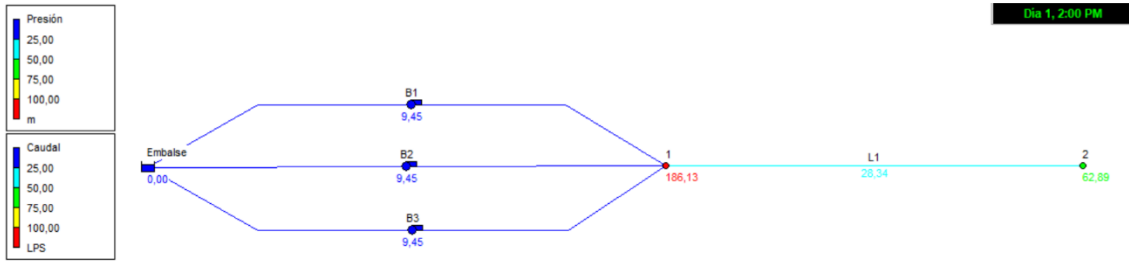


Ilustración 15: Simulación red actual a las 2 PM

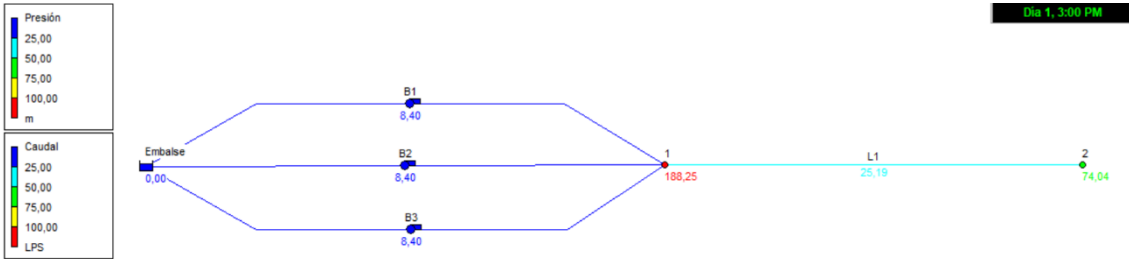


Ilustración 16: Simulación red actual a las 3 PM

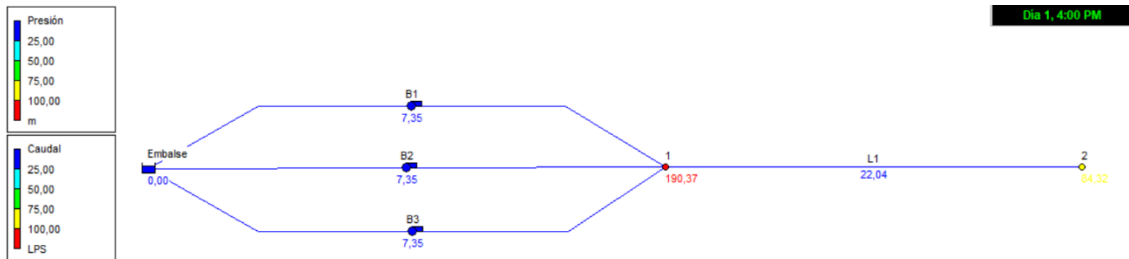


Ilustración 17: Simulación red actual a las 4 PM

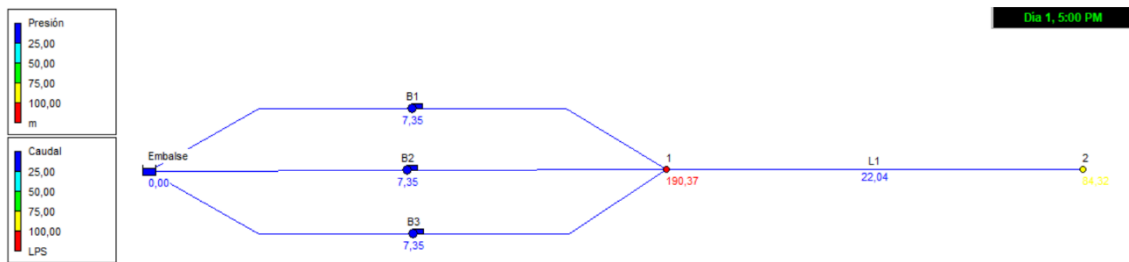


Ilustración 18: Simulación red actual a las 5 PM

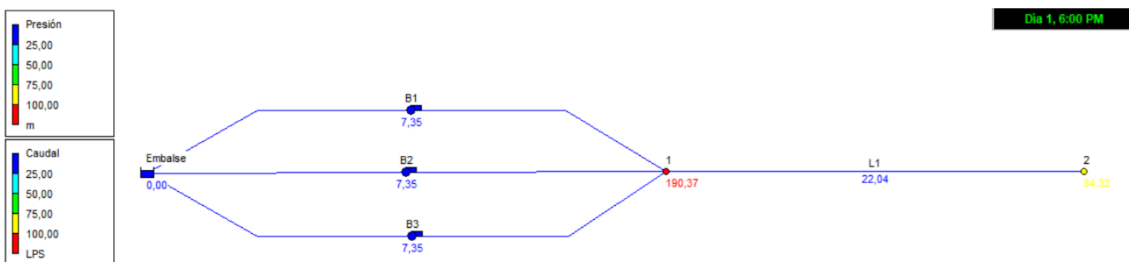


Ilustración 19: Simulación red actual a las 6 PM

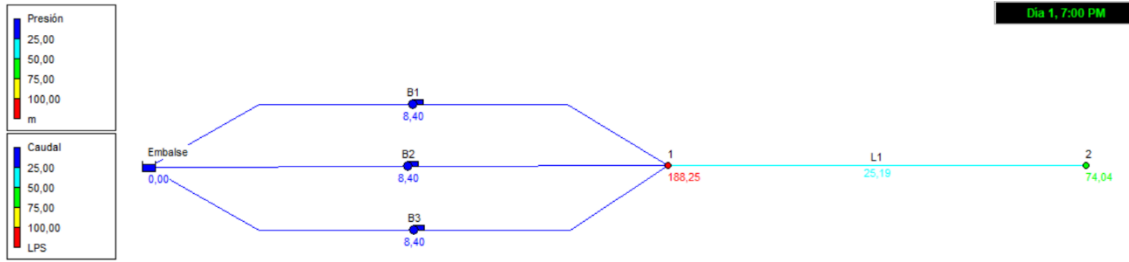


Ilustración 20: Simulación red actual a las 7 PM

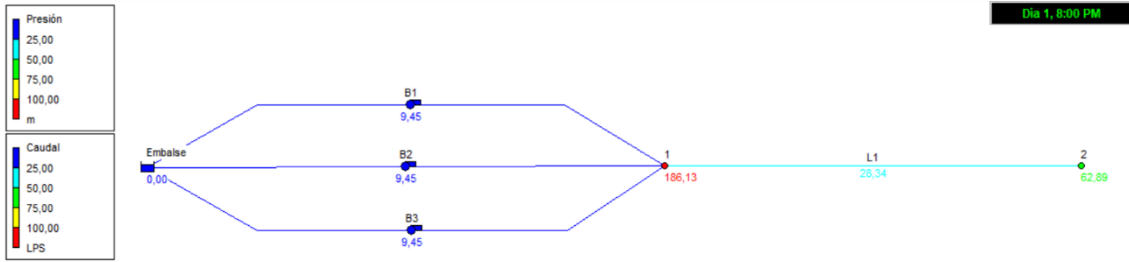


Ilustración 21: Simulación red actual a las 8 PM

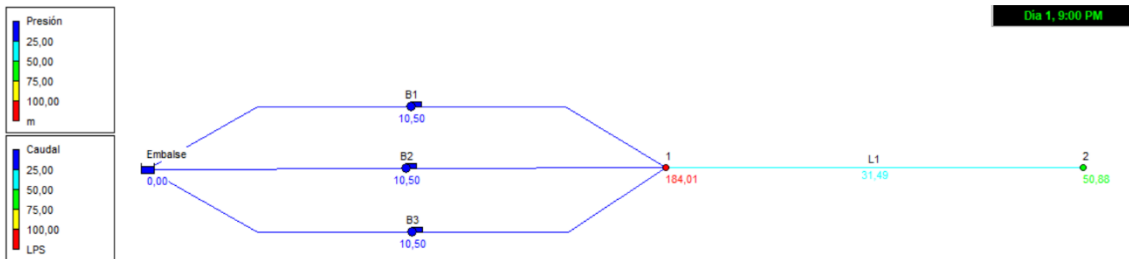


Ilustración 22: Simulación red actual a las 9 PM

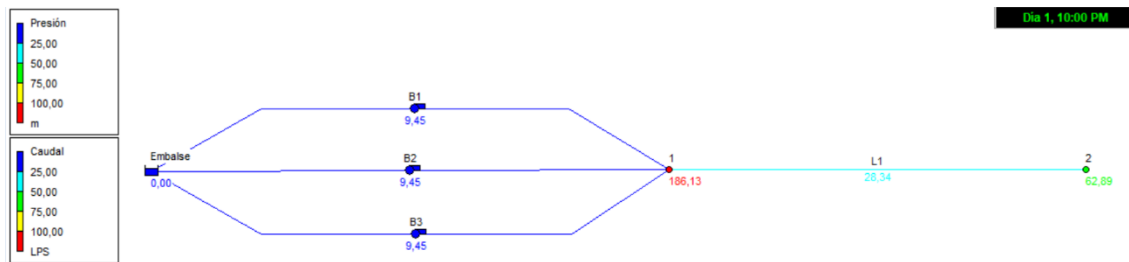


Ilustración 23: Simulación red actual a las 10 PM

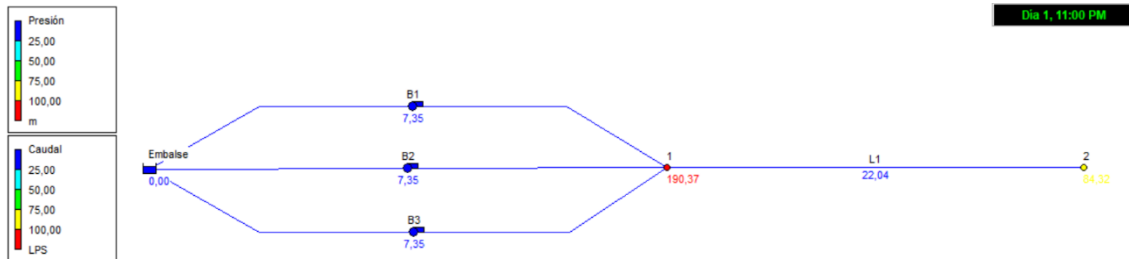


Ilustración 24: Simulación red actual a las 11 PM

2. CURVAS DE DEMANDA DE LOS SECTORES DE LA RED A DISEÑAR

A continuación, se muestran los registros de consumo de cada uno de los 16 sectores, obtenidos a partir de la información facilitada por la empresa suministradora de agua. Como se ha visto en el documento de la memoria, todos los sectores siguen el mismo patrón, pero con una demanda base, que es la demanda máxima en cada caso, distinta.

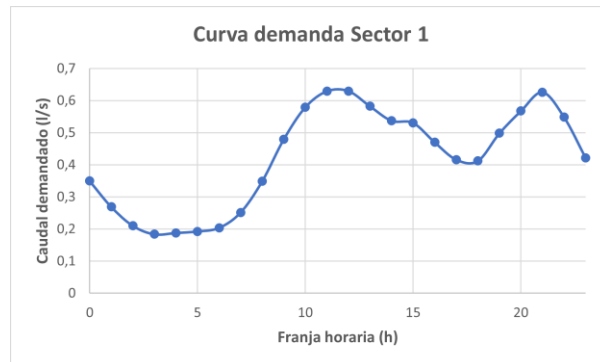


Ilustración 25: Curva de modulación de la demanda del sector 1

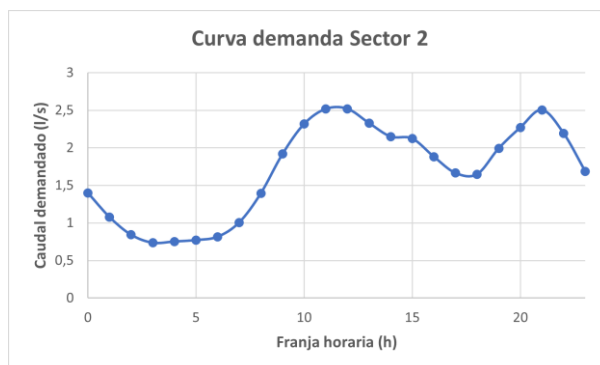


Ilustración 26: Curva de modulación de la demanda del sector 2

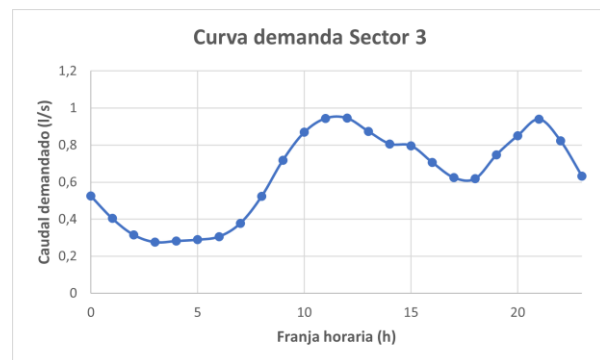


Ilustración 27: Curva de modulación de la demanda del sector 3

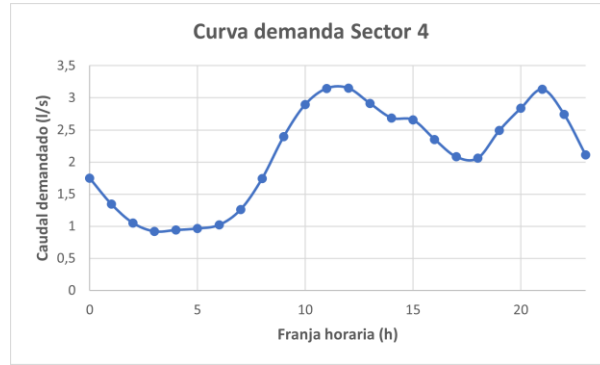


Ilustración 28: Curva de modulación de la demanda del sector 4

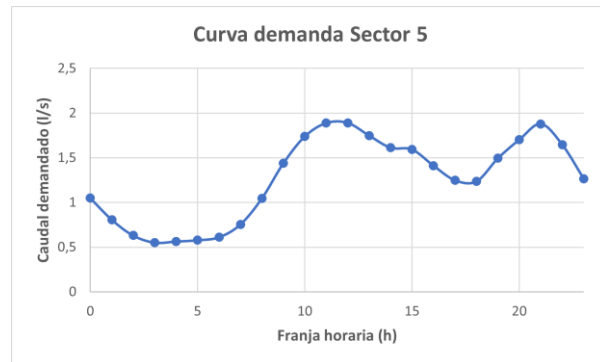


Ilustración 29: Curva de modulación de la demanda del sector 5

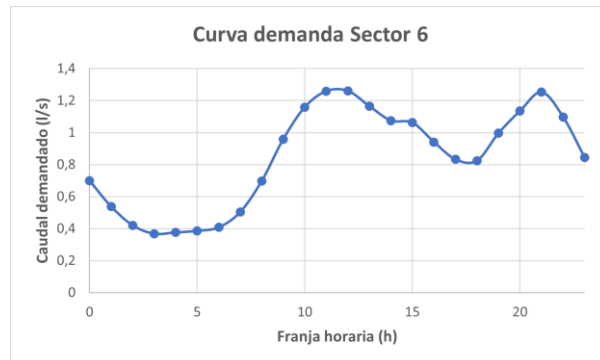


Ilustración 30: Curva de modulación de la demanda del sector 6

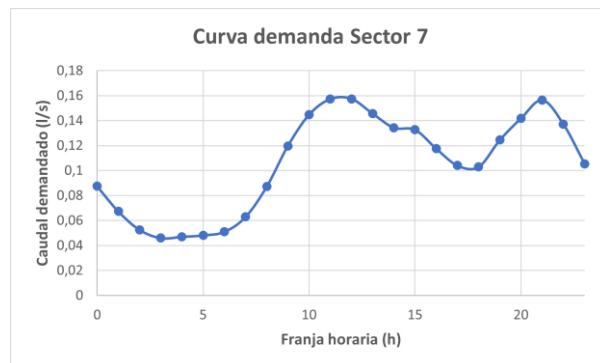


Ilustración 31: Curva de modulación de la demanda del sector 7

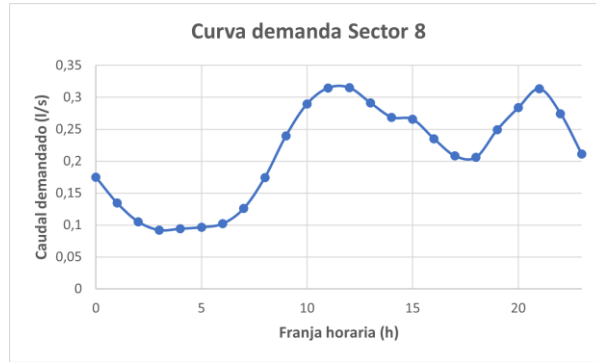


Ilustración 32: Curva de modulación de la demanda del sector 8

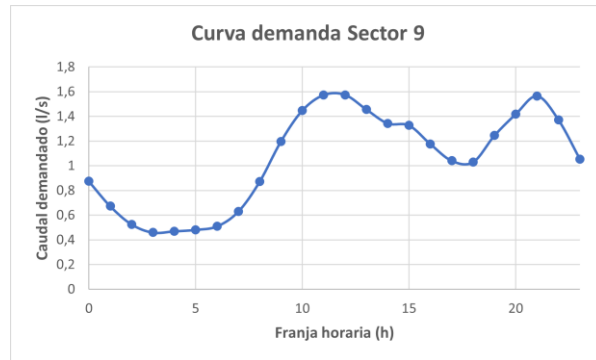


Ilustración 33: Curva de modulación de la demanda del sector 9

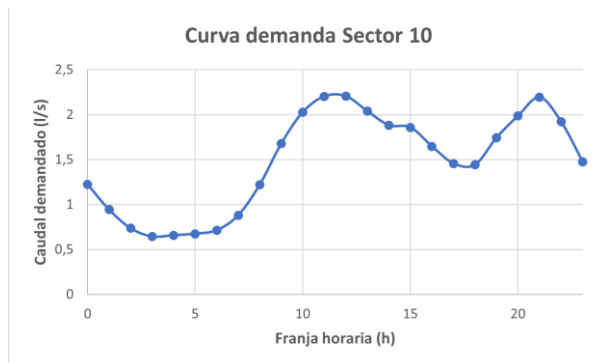


Ilustración 34: Curva de modulación de la demanda del sector 10

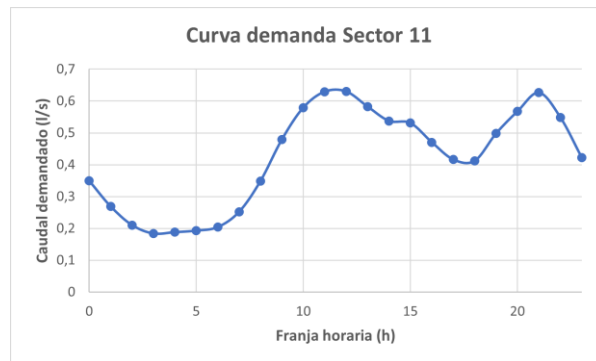


Ilustración 35: Curva de modulación de la demanda del sector 11



Ilustración 36: Curva de modulación de la demanda del sector 12



Ilustración 37: Curva de modulación de la demanda del sector 13

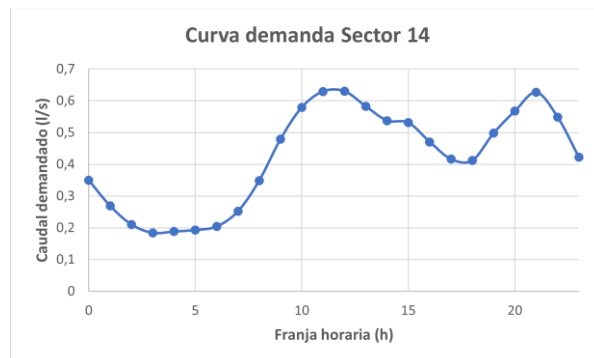


Ilustración 38: Curva de modulación de la demanda del sector 14

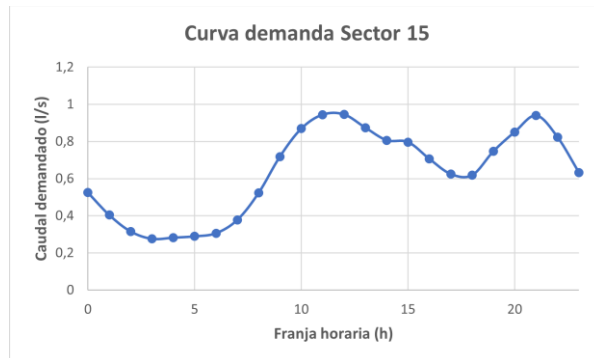


Ilustración 39: Curva de modulación de la demanda del sector 15

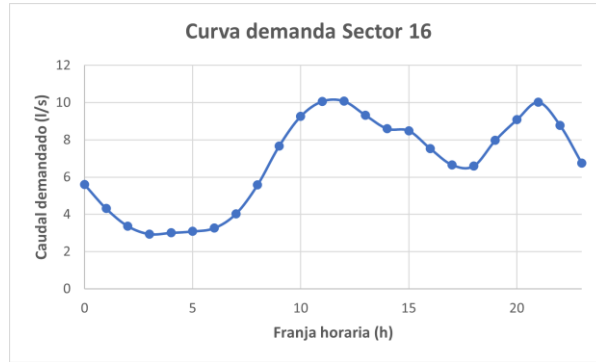


Ilustración 40: Curva de modulación de la demanda del sector 16

3. SIMULACIÓN DE LA RED A DISEÑAR EN EPANET

En este apartado, se recogen imágenes de los resultados obtenidos en la simulación de la red a diseñar, para las 24 horas de estudio de la instalación.

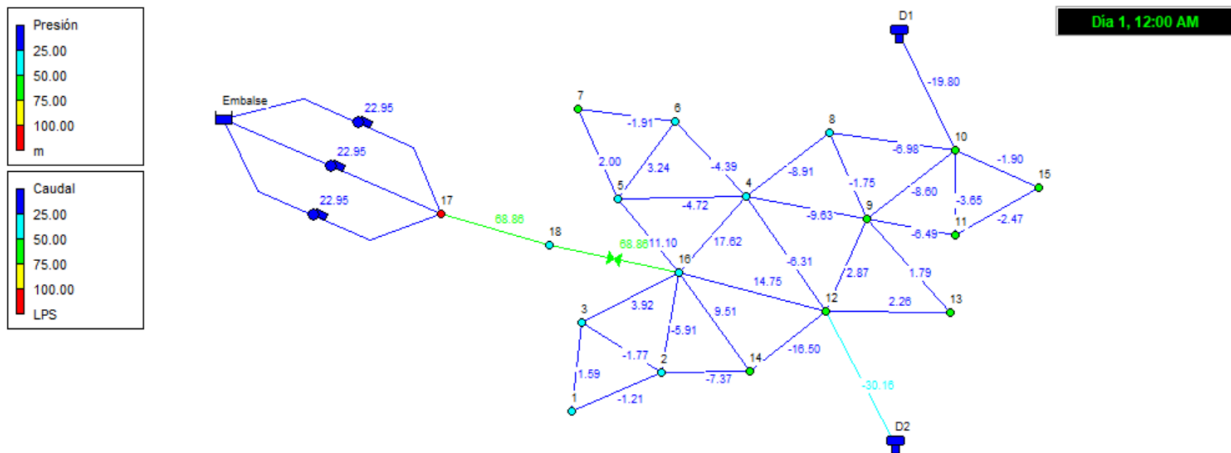


Ilustración 41: Simulación red a diseñar a las 12 AM

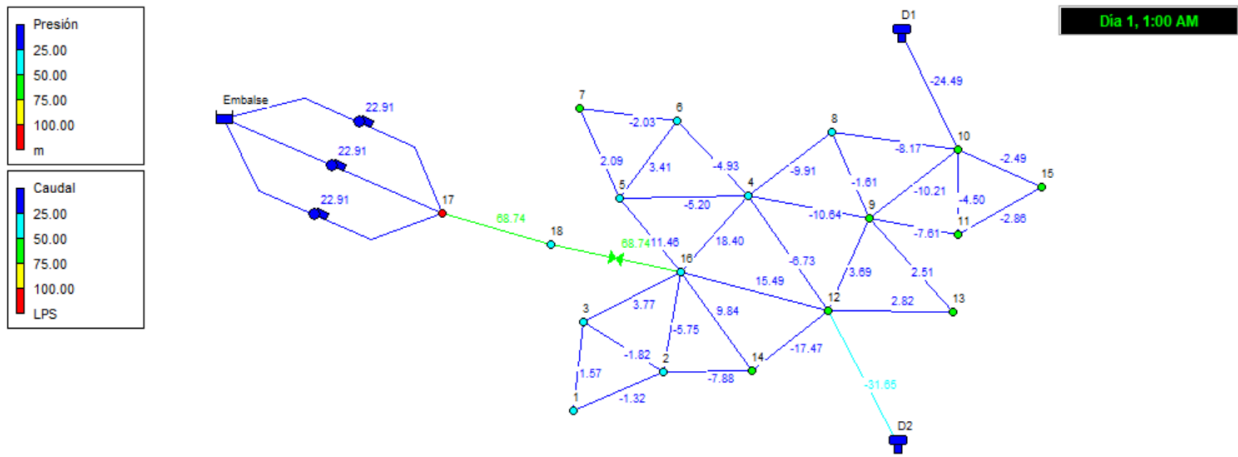


Ilustración 42: Simulación red a diseñar a la 1 AM

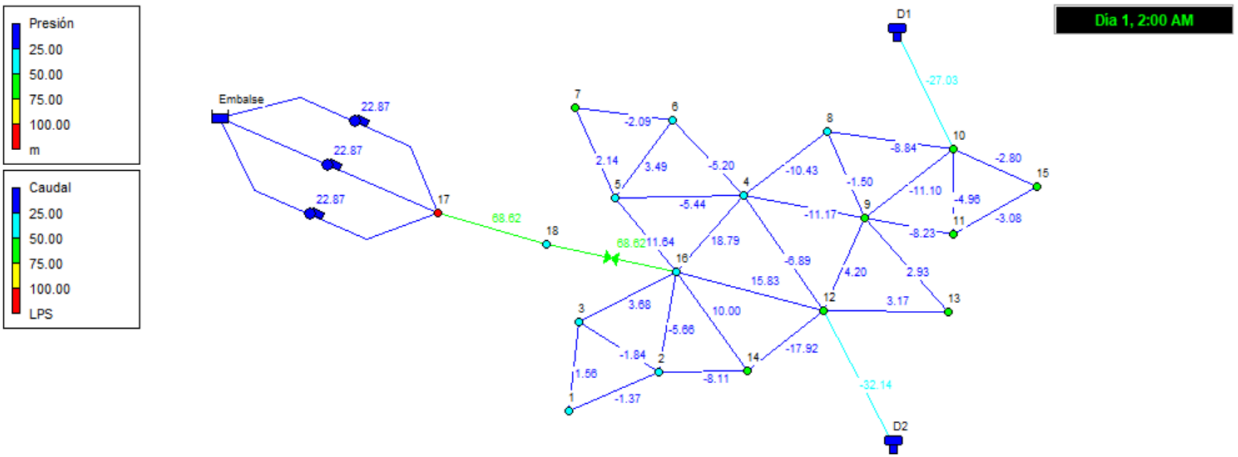


Ilustración 43: Simulación red a diseñar a las 2 AM

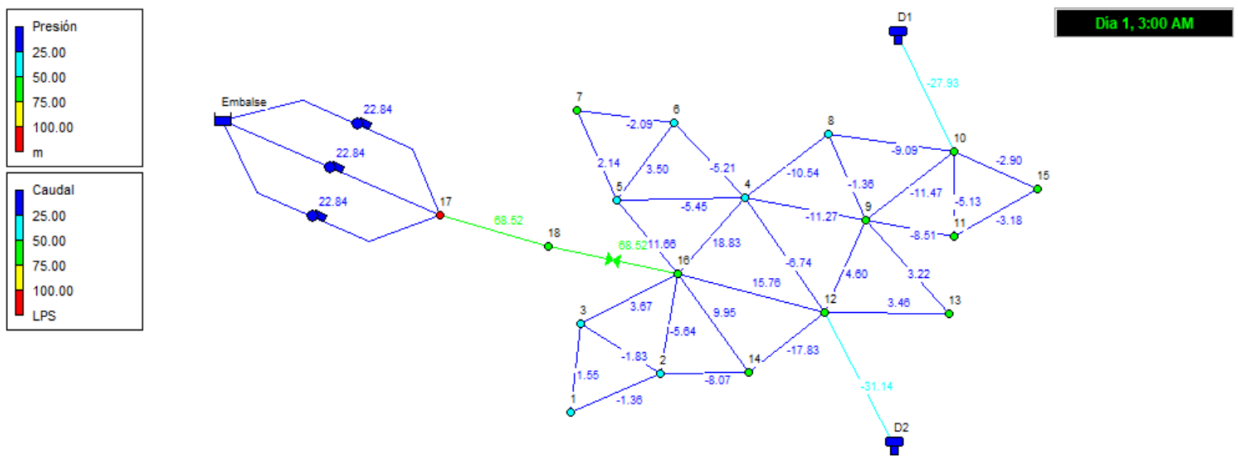


Ilustración 44: Simulación red a diseñar a las 3 AM

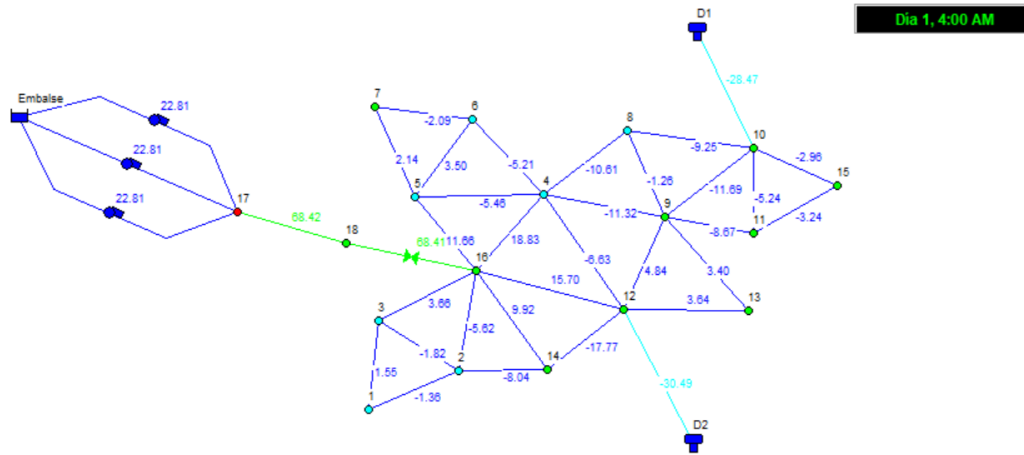
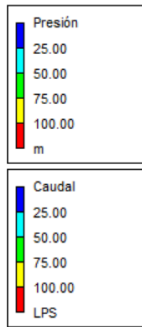


Ilustración 45: Simulación red a diseñar a las 4 AM

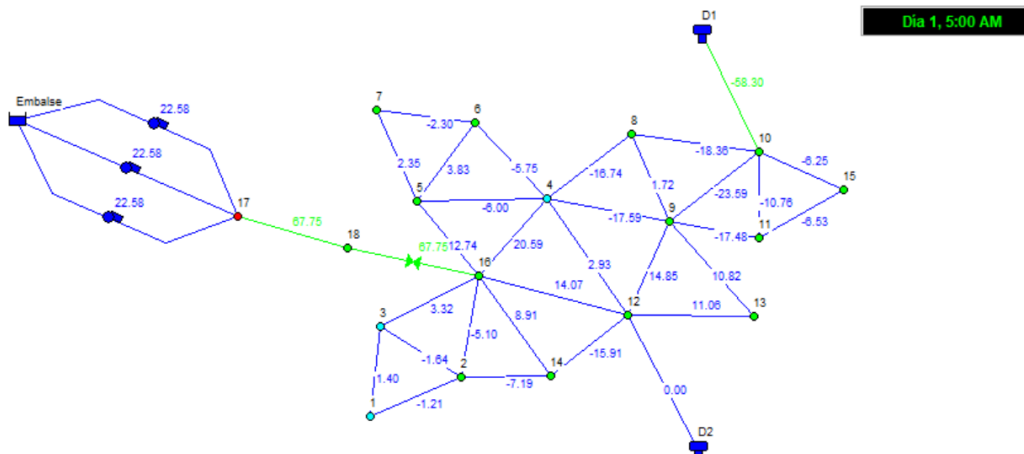
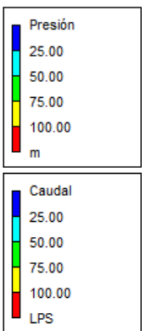


Ilustración 46: Simulación red a diseñar a las 5 AM

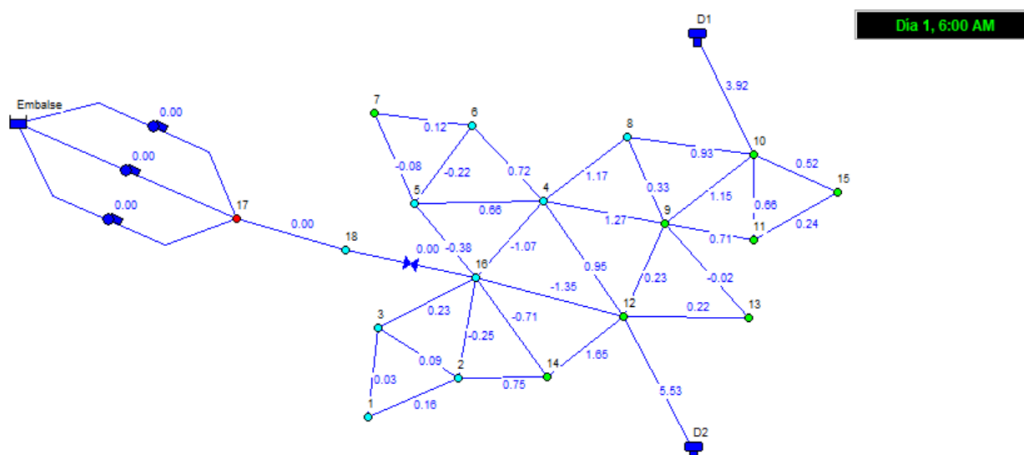
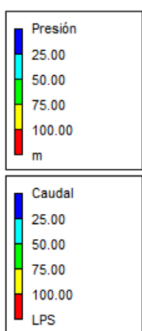


Ilustración 47: Simulación red a diseñar a las 6 AM

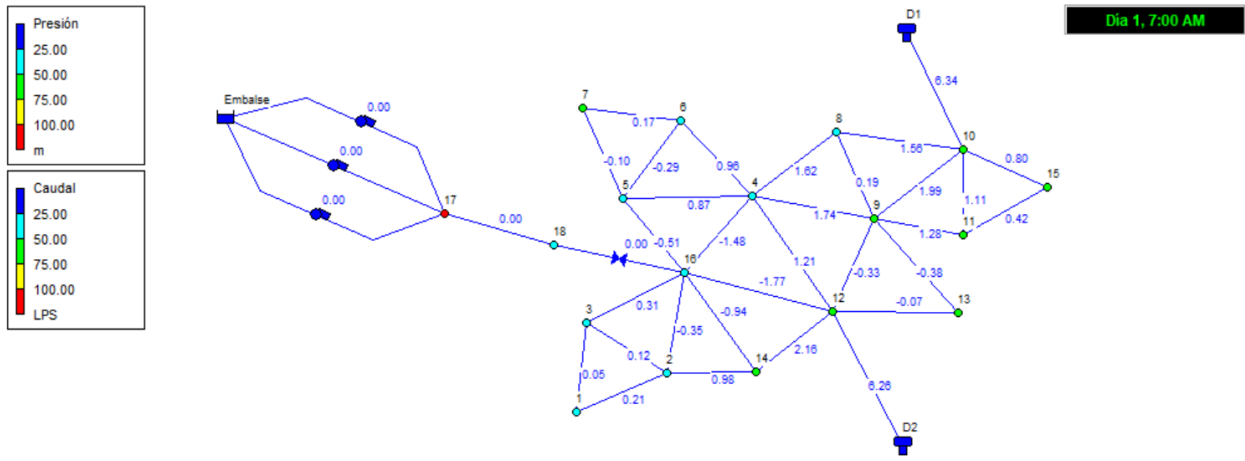


Ilustración 48: Simulación red a diseñar a las 7 AM

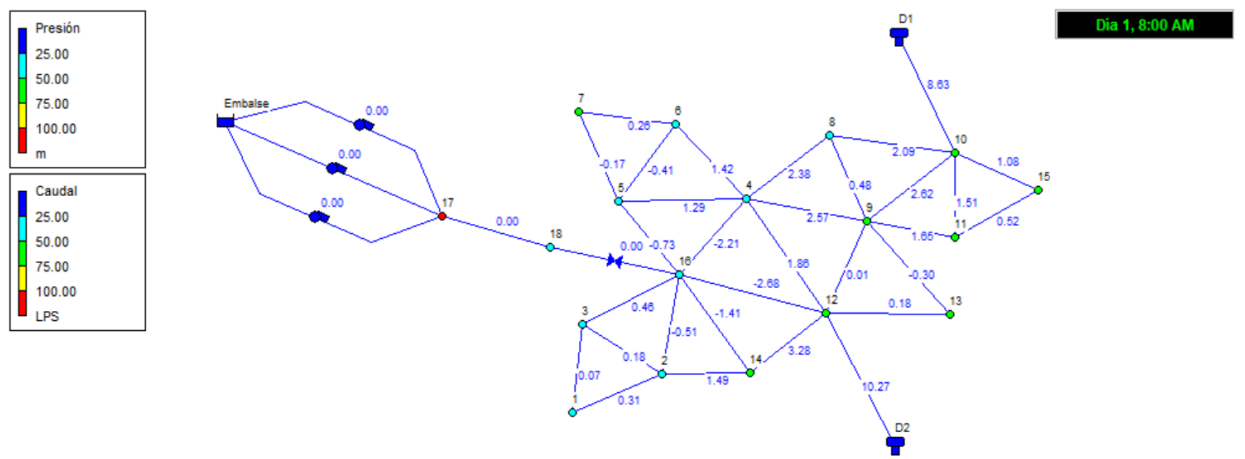


Ilustración 49: Simulación red a diseñar a las 8 AM

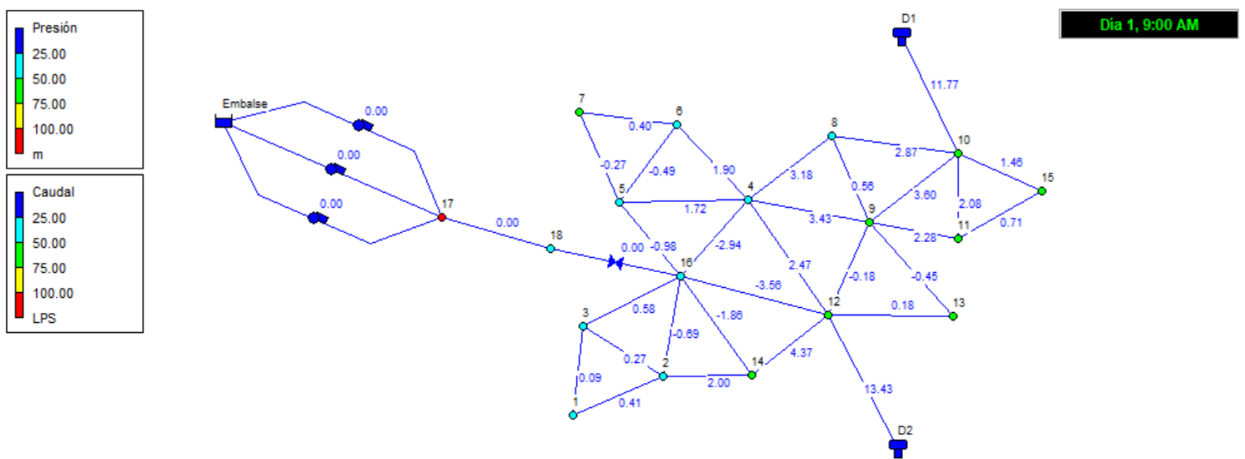


Ilustración 50: Simulación red a diseñar a las 9 AM

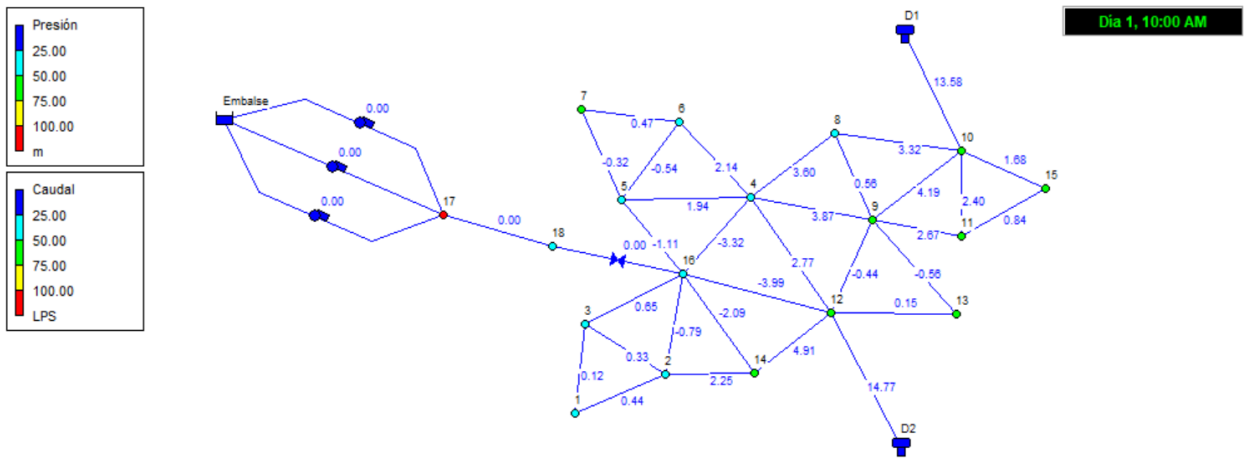


Ilustración 51: Simulación red a diseñar a las 10 AM

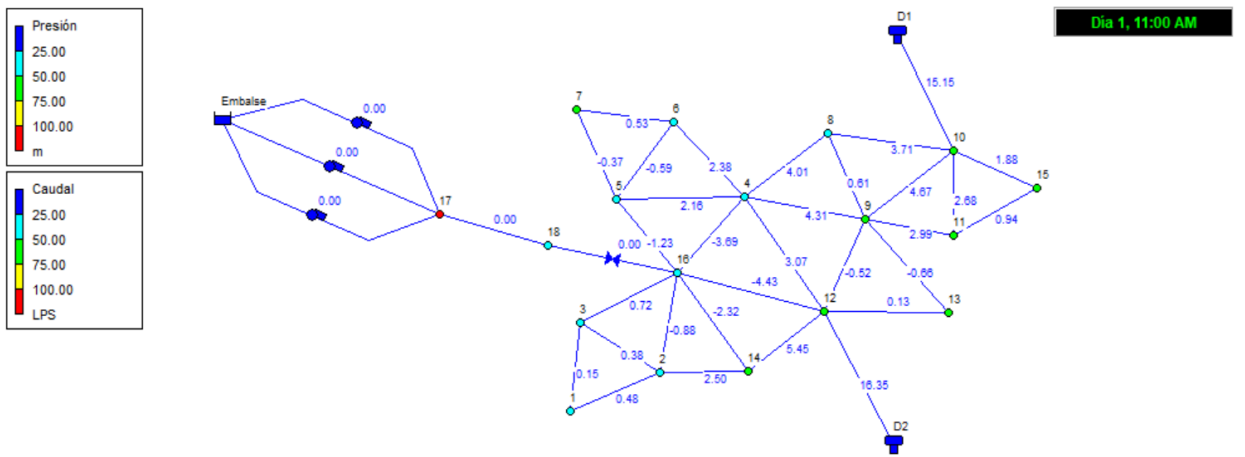


Ilustración 52: Simulación red a diseñar a las 11 AM

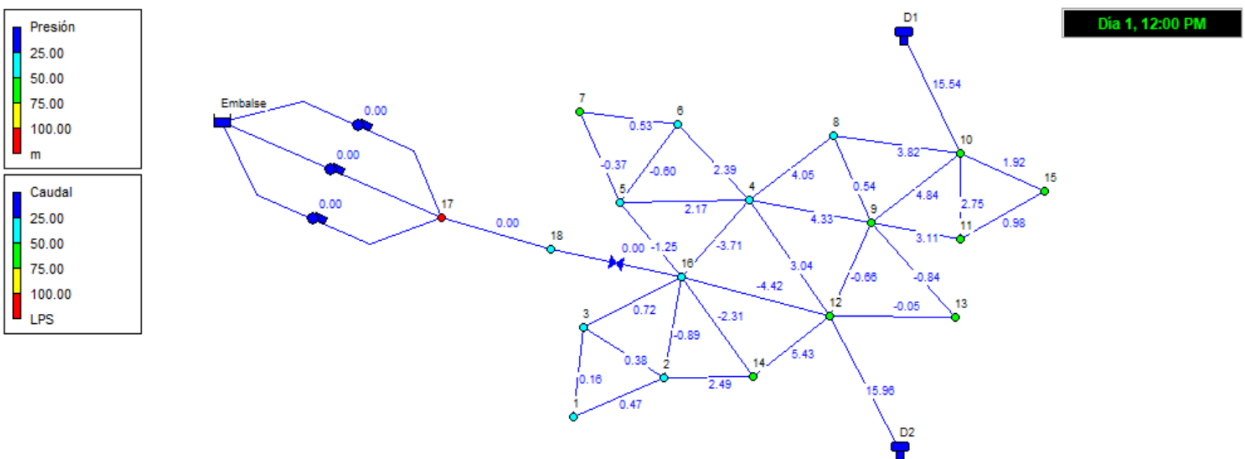


Ilustración 53: Simulación red a diseñar a las 12 PM

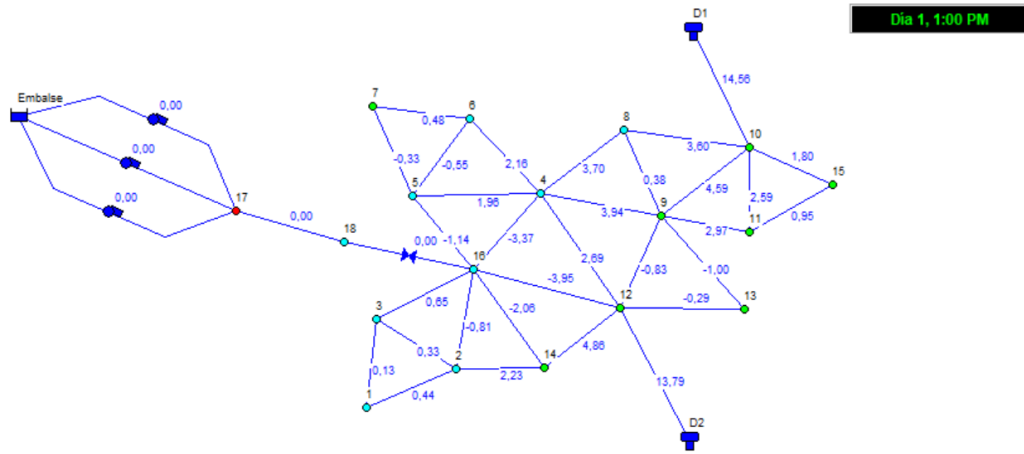
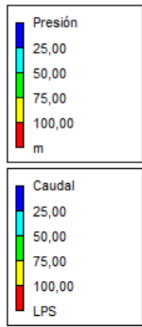


Ilustración 54: Simulación red a diseñar a la 1 PM

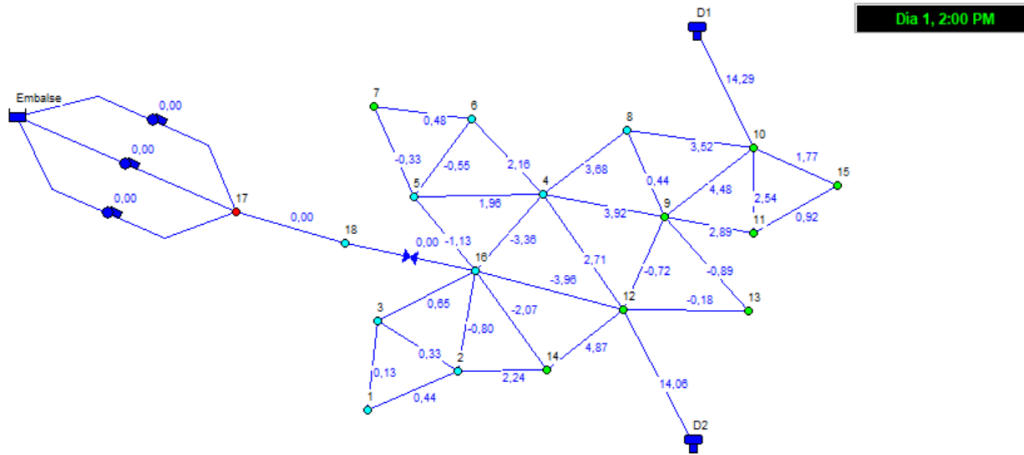
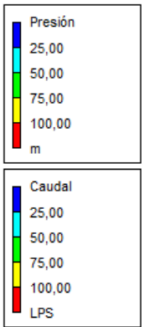


Ilustración 55: Simulación red a diseñar a las 2 PM

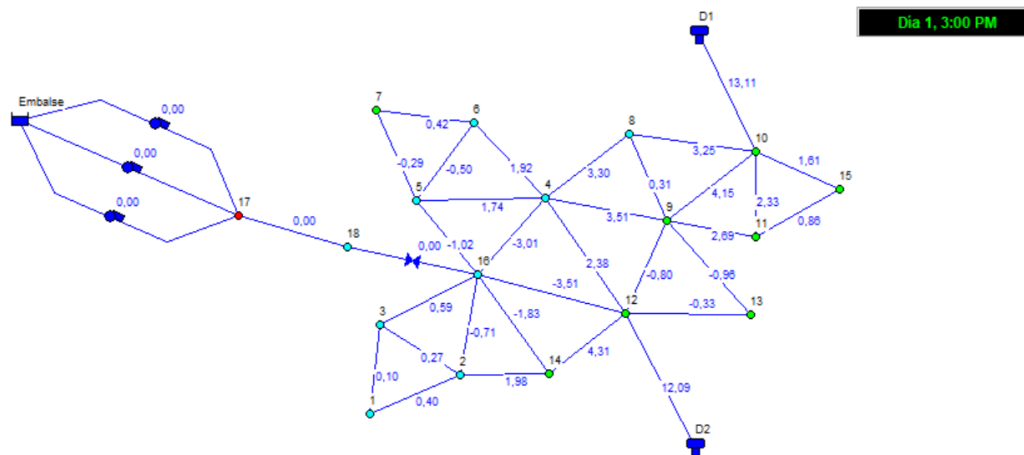
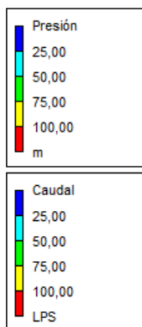


Ilustración 56: Simulación red a diseñar a las 3 PM

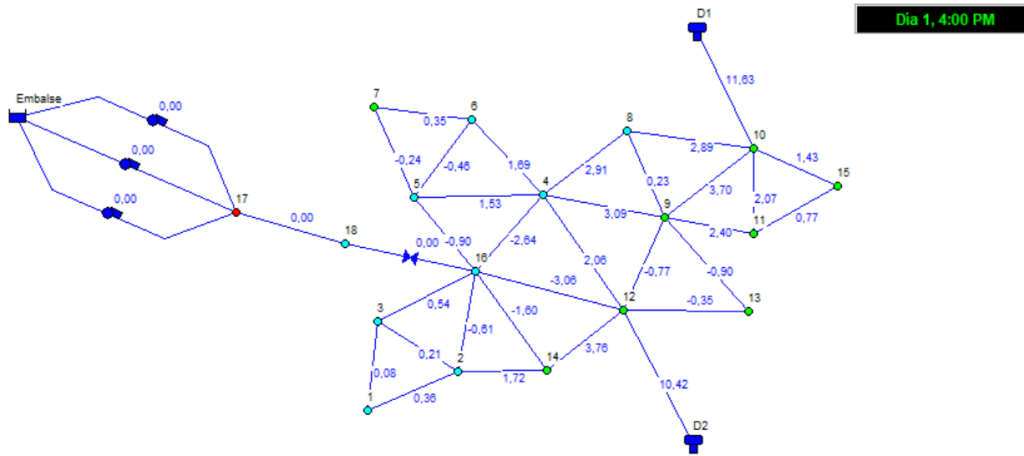
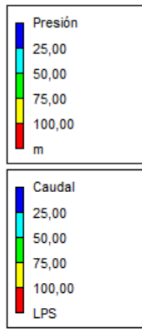


Ilustración 57: Simulación red a diseñar a las 4 PM

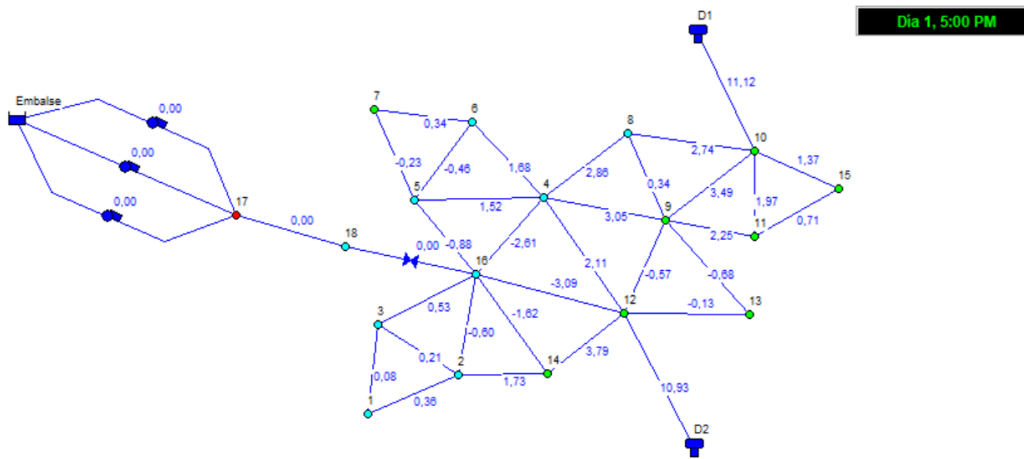
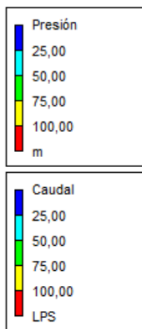


Ilustración 58: Simulación red a diseñar a las 5 PM

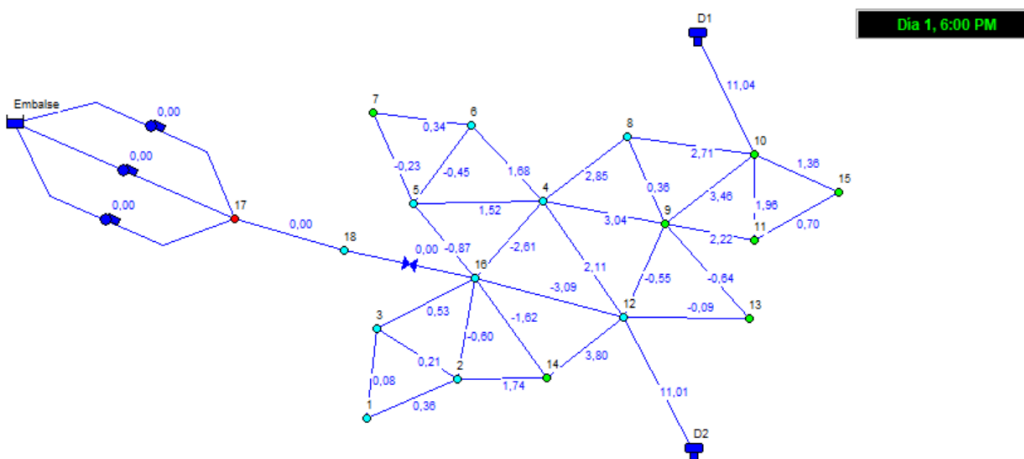
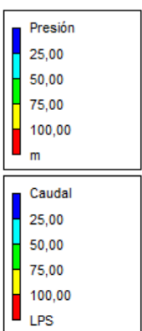


Ilustración 59: Simulación red a diseñar a las 6 PM

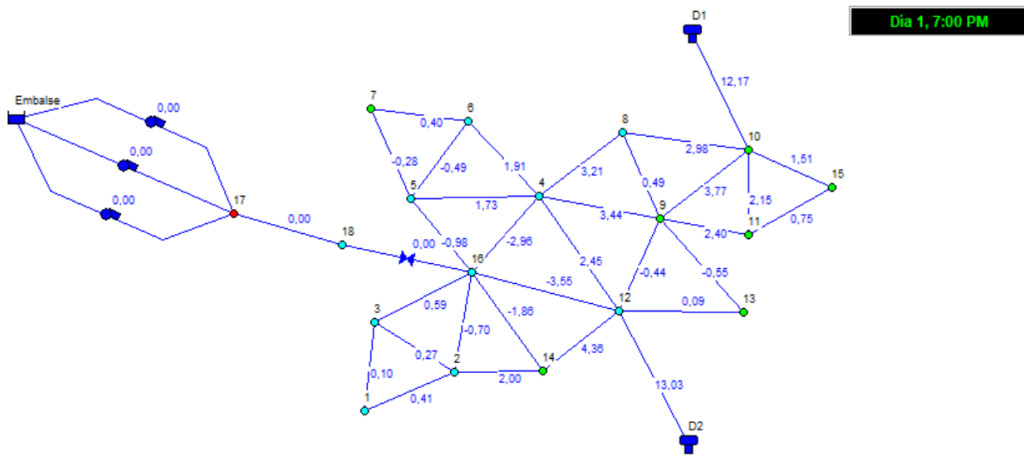
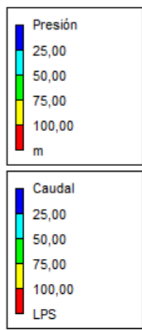


Ilustración 60: Simulación red a diseñar a las 7 PM

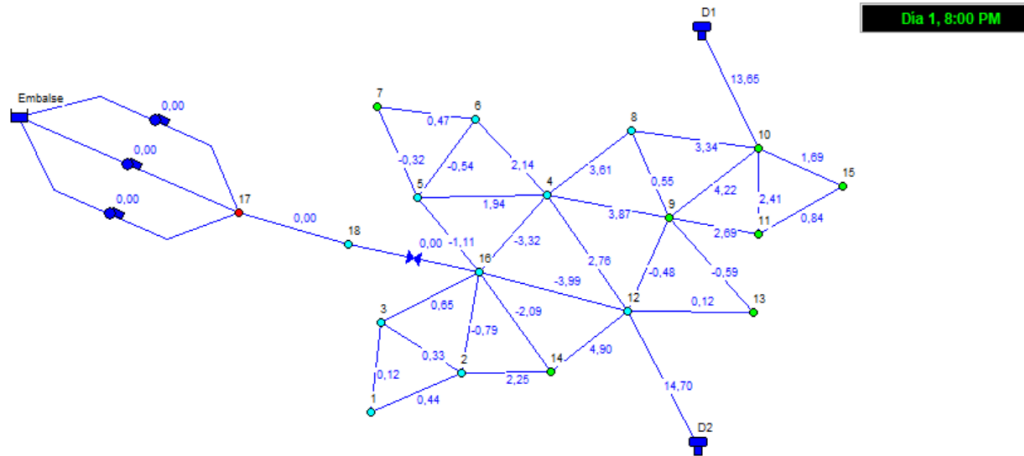
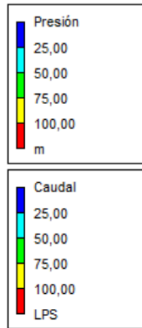


Ilustración 61: Simulación red a diseñar a las 8 PM

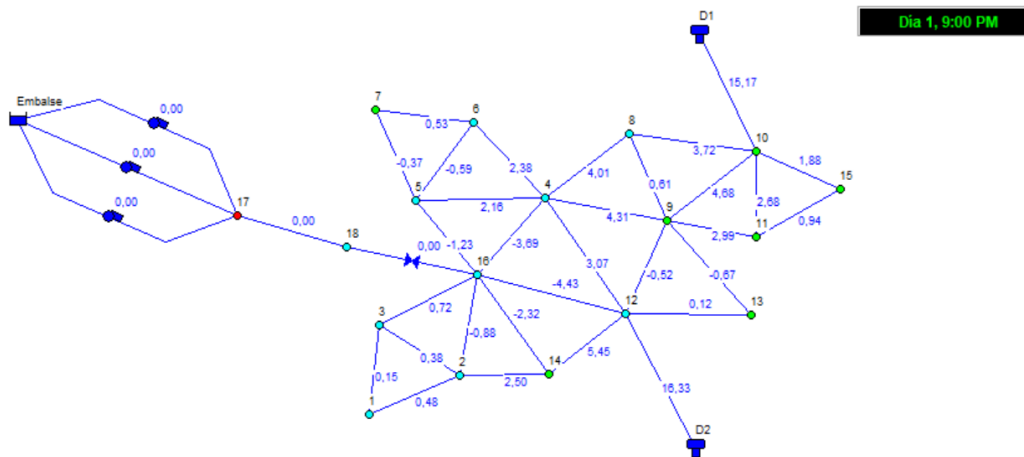
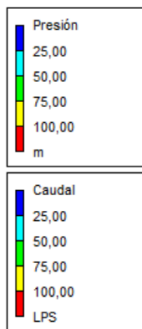


Ilustración 62: Simulación red a diseñar a las 9 PM

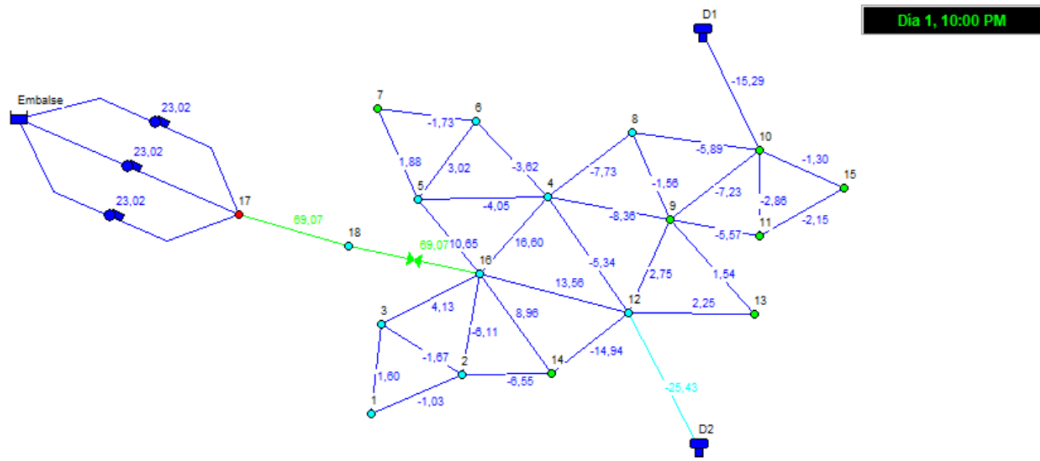
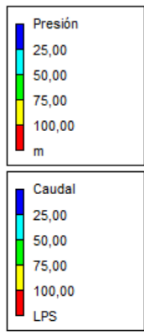


Ilustración 63: Simulación red a diseñar a las 10 PM

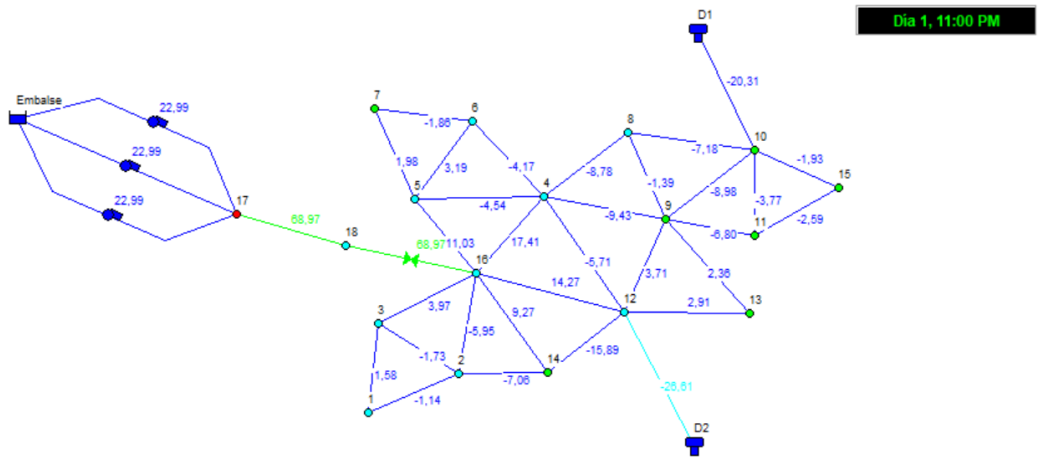
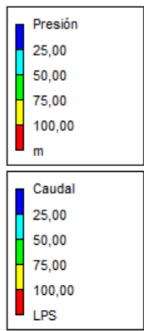


Ilustración 64: Simulación red a diseñar a las 11 PM



DOCUMENTO 3: PRESUPUESTO

Obra: Red de suministro Villafranca de los Barros						
Presupuesto						% C.I. 3
Código	Tipo	Ud	Resumen	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)
PRESUPUES TO	Capítulo		Red de suministro Villafranca de los Barros		4.770.883,27	4.770.883,27
1	Capítulo		Movimiento de tierras		992.050,07	992.050,07
ADE010	Partida	m³	Excavación de zanjas y pozos.	19.844,970	26,35	522.914,96
			Excavación de zanjas para instalaciones hasta una profundidad de 2 m, en cualquier tipo de terreno, con medios mecánicos, y carga a camión. Criterio de valoración económica: El precio no incluye el transporte de los materiales excavados. Incluye: Replanteo general y fijación de los puntos y niveles de referencia. Colocación de las camillas en las esquinas y extremos de las alineaciones. Excavación en sucesivas franjas horizontales y extracción de tierras. Refinado de fondos con extracción de las tierras. Carga a camión de los materiales excavados. Criterio de medición de proyecto: Volumen medido sobre las secciones teóricas de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto, sin duplicar esquinas ni encuentros. Criterio de medición de obra: Se medirá el volumen teórico ejecutado según especificaciones de Proyecto, sin duplicar esquinas ni encuentros y sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados, ni el relleno necesario para reconstruir la sección teórica por defectos imputables al Contratista. Se medirá la excavación una vez realizada y antes de que sobre ella se efectúe ningún tipo de relleno. Si el Contratista cerrase la excavación antes de conformada la medición, se entenderá que se aviene a lo que unilateralmente determine el director de la ejecución de la obra.			
mq01exn020b	Maquinaria	h	Retroexcavadora hidráulica sobre neumáticos, de 115 kW.	0,377	55,53	20,93
mo113	Mano de obra	h	Peón ordinario construcción.	0,241	17,22	4,15
%		%	Costes directos complementarios	2,000	25,08	0,50
GTA020	Partida	m³	Transporte de tierras con camión.	13.891,480	7,08	98.351,68
			Transporte de tierras con camión de los productos procedentes de la excavación de cualquier tipo de terreno a vertedero específico, instalación de tratamiento de residuos de construcción y demolición externa a la obra o centro de valorización o eliminación de residuos, situado a una distancia no limitada. Criterio de valoración económica: El precio incluye el tiempo de espera en obra durante las operaciones de carga, el viaje de ida, la descarga y el viaje de vuelta, pero no incluye la carga en obra. Incluye: Transporte de tierras a vertedero específico, instalación de tratamiento de residuos de construcción y demolición externa a la obra o centro de valorización o eliminación de residuos, con protección de las mismas mediante su cubrición con lonas o toldos. Criterio de medición de proyecto: Volumen medido sobre las secciones teóricas de las excavaciones, incrementadas cada una de ellas por su correspondiente coeficiente de esponjamiento, de acuerdo con el tipo de terreno considerado. Criterio de medición de obra: Se medirá, incluyendo el esponjamiento, el volumen de tierras realmente transportado según especificaciones de Proyecto.			
mq04cab010e	Maquinaria	h	Camión basculante de 20 t de carga, de 213 kW.	0,140	48,12	6,74
%		%	Costes directos complementarios	2,000	6,74	0,13
ADR010	Partida	m³	Relleno de zanjas para instalaciones.	1.984,500	19,29	38.281,01
			Relleno envolvente de las instalaciones en zanjas, con grava de 20 a 30 mm de diámetro. Incluye: Extendido del material de relleno en tongadas de espesor uniforme. Criterio de medición de proyecto: Volumen medido sobre las secciones teóricas de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá, en perfil compactado, el volumen realmente ejecutado según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados.			
mt01var010	Material	m	Cinta plastificada.	1,100	0,14	0,15

DISEÑO DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE DE VILAFRANCA DE LOS BARROS (EXTREMADURA)

mt01arr010b	Material	t	Grava de cantera, de 20 a 30 mm de diámetro.	2,100	7,46	15,67
mq04dua020b	Maquinaria	h	Dumper de descarga frontal de 2 t de carga útil.	0,114	10,56	1,20
mo113	Mano de obra	h	Peón ordinario construcción.	0,078	17,22	1,34
%		%	Costes directos complementarios	2,000	18,36	0,37
ADR010b	Partida	m³	Relleno de zanjas para instalaciones.	11.906,980	24,16	287.672,64
			Relleno envolvente y principal de zanjas para instalaciones, con material adecuado y compactación en tongadas hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501. Criterio de valoración económica: El precio no incluye la realización del ensayo Proctor Modificado. Incluye: Extendido del material de relleno en tongadas de espesor uniforme. Humectación o desecación de cada tongada. Compactación. Criterio de medición de proyecto: Volumen medido sobre las secciones teóricas de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá, en perfil compactado, el volumen realmente ejecutado según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados.			
mt01ara030	Material	t	Arena de 0 a 5 mm de diámetro, para relleno de zanjas.	1,800	9,23	16,61
mq04dua020b	Maquinaria	h	Dumper de descarga frontal de 2 t de carga útil.	0,114	10,56	1,20
mq02rod010d	Maquinaria	h	Bandeja vibrante de guiado manual, de 300 kg, anchura de trabajo 70 cm, reversible.	0,170	7,26	1,23
mq02cia020j	Maquinaria	h	Camión cisterna, de 8 m³ de capacidad.	0,011	45,54	0,50
mo113	Mano de obra	h	Peón ordinario construcción.	0,201	17,22	3,46
%		%	Costes directos complementarios	2,000	23,00	0,46
ADR010c	Partida	m³	Relleno de zanjas para instalaciones.	5.953,490	7,53	44.829,78
			Relleno localizado en zanjas para instalaciones, con tierra seleccionada procedente de la propia excavación y compactación en tongadas con bandeja vibrante de guiado manual, hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501. Criterio de valoración económica: El precio no incluye la realización del ensayo Proctor Modificado. Incluye: Extendido del material de relleno en tongadas de espesor uniforme. Humectación o desecación de cada tongada. Compactación. Criterio de medición de proyecto: Volumen medido sobre las secciones teóricas de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá, en perfil compactado, el volumen realmente ejecutado según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados.			
mq04dua020b	Maquinaria	h	Dumper de descarga frontal de 2 t de carga útil.	0,114	10,56	1,20
mq02rod010d	Maquinaria	h	Bandeja vibrante de guiado manual, de 300 kg, anchura de trabajo 70 cm, reversible.	0,170	7,26	1,23
mq02cia020j	Maquinaria	h	Camión cisterna, de 8 m³ de capacidad.	0,011	45,54	0,50
mq04cab010c	Maquinaria	h	Camión basculante de 12 t de carga, de 162 kW.	0,017	45,77	0,78
mo113	Mano de obra	h	Peón ordinario construcción.	0,201	17,22	3,46
%		%	Costes directos complementarios	2,000	7,17	0,14
		1			992.050,07	992.050,07

DISEÑO DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE DE VILAFRANCA DE LOS BARROS (EXTREMADURA)

2		Capítulo	Elementos hidráulicos	3.768.621,37	3.768.621,37
2.1		Capítulo	Conducciones de la instalación	3.592.263,25	3.592.263,25
IHE010	Partida	m	Tubería de polietileno (PE).	12.648,670	67,18 849.737,65
			Tubería formada por tubo de polietileno PE 100, de 200 mm de diámetro exterior y 11,9 mm de espesor, SDR17, PN=10 atm. Instalación enterrada. Incluso accesorios y piezas especiales. Criterio de valoración económica: El precio no incluye la excavación ni el relleno de la zanja. Incluye: Replanteo. Colocación de tubos, accesorios y piezas especiales. Criterio de medición de proyecto: Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.		
mt37tpa020bn	Material	m	Tubo de polietileno PE 100, de color negro con bandas de color azul, de 200 mm de diámetro exterior y 11,9 mm de espesor, SDR17, PN=10 atm, según UNE-EN 12201-2, con el precio incrementado el 30% en concepto de accesorios y piezas especiales.	1,000	58,21 58,21
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	0,160	18,34 2,93
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	0,160	17,53 2,80
%		%	Costes directos complementarios	2,000	63,94 1,28
IHE010c	Partida	m	Tubería de polietileno (PE).	27.041,270	101,42 2.742.525,60
			Tubería formada por tubo de polietileno PE 100, de 250 mm de diámetro exterior y 14,8 mm de espesor, SDR17, PN=10 atm. Instalación enterrada. Incluso accesorios y piezas especiales. Criterio de valoración económica: El precio no incluye la excavación ni el relleno de la zanja. Incluye: Replanteo. Colocación de tubos, accesorios y piezas especiales. Criterio de medición de proyecto: Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.		
mt37tpa020bp	Material	m	Tubo de polietileno PE 100, de color negro con bandas de color azul, de 250 mm de diámetro exterior y 14,8 mm de espesor, SDR17, PN=10 atm, según UNE-EN 12201-2, con el precio incrementado el 30% en concepto de accesorios y piezas especiales.	1,000	90,48 90,48
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	0,169	18,34 3,10
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	0,169	17,53 2,96
%		%	Costes directos complementarios	2,000	96,54 1,93
			2.1	3.592.263,25	3.592.263,25
2.2		Capítulo	Válvulas de la instalación	132,71	132,71
ICS079	Partida	Ud	Válvula reguladora de presión diferencial.	1,000	132,71 132,71
			Válvula reguladora de presión diferencial, con cuerpo de latón, presión de tarado 65 mca, de 250 mm de diámetro. Incluso elementos de montaje y accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Incluye: Replanteo. Conexión. Comprobación de su correcto funcionamiento. Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.		
mt38alb765c	Material	Ud	Válvula reguladora de presión diferencial	1,000	122,65 122,65

DISEÑO DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE DE VILLAFRANCA DE LOS BARROS (EXTREMADURA)

mt38www012	Material	Ud	Material auxiliar para instalaciones de calefacción y A.C.S.	0,100	2,23	0,22
mo004	Mano de obra	h	Oficial 1ª calefactor.	0,096	18,34	1,76
mo103	Mano de obra	h	Ayudante calefactor.	0,096	17,53	1,68
%		%	Costes directos complementarios	2,000	126,31	2,53
2.2					132,71	132,71
2.3	Capítulo	Equipos de bombeo			32.852,19	32.852,19
UPA	Partida	ud	Bomba UPA 200B-80	3,000	10.950,73	32.852,19
			Bomba centrífuga de cuerpo segmentado, aspiración simple, de una o múltiples etapas para instalación vertical u horizontal. Empleada en bombeo de aguas limpias o ligeramente contaminadas en abastecimiento general de agua, sistemas de riego y riego por aspersión, mantenimiento y disminución de niveles de aguas subterráneas, fuentes, sistemas de presurización, minería, sistemas contra incendios, sistemas de suministro de agua de emergencia, etc.			
mo003	Mano de obra	h	Oficial 1ª electricista.	0,240	18,34	4,40
mo102	Mano de obra	h	Ayudante electricista.	0,240	17,53	4,21
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	0,338	18,34	6,20
UPA200b-80	Material	ud	Bomba UPA 200B-80	1,000	10.408,50	10.408,50
%		%	Costes directos complementarios	2,000	10.423,31	208,47
2.3					32.852,19	32.852,19
2.4	Capítulo	Depósitos de regulación			143.373,22	143.373,22
DEP	Partida	ud	Depósito regulador de 884 m3	2,000	71.686,61	143.373,22
			Depósito regulador de 884 m3 de capacidad para abastecimiento de agua potable a núcleos de población, prefabricado de 15 m de diámetro y 5 de altura			
mo020	Mano de obra	h	Oficial 1ª construcción.	0,095	17,85	1,70
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	2,196	18,34	40,27
mt37www010	Material	Ud	Material auxiliar para instalaciones de fontanería.	1,000	1,50	1,50
DEP884	Material	ud	Depósito regulador de 884 m3	1,000	68.190,50	68.190,50
%		%	Costes directos complementarios	2,000	68.233,97	1.364,68
2.4					143.373,22	143.373,22
2					3.768.621,37	3.768.621,37

DISEÑO DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE DE VILAFRANCA DE LOS BARROS (EXTREMADURA)

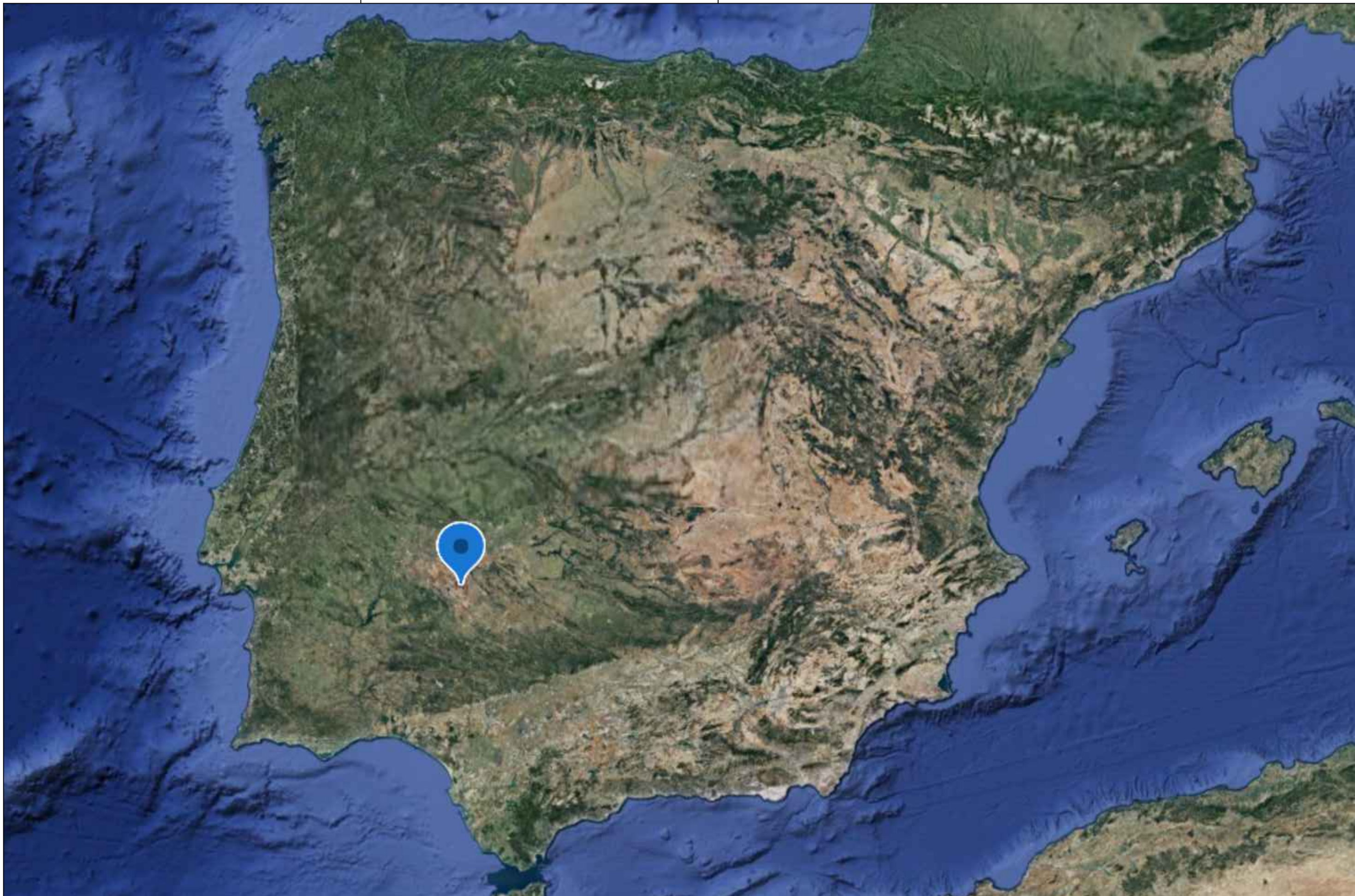
3	Capítulo		Trabajo de desarrollo y redacción del proyecto		10.211,83	10.211,83
TRAB	Partida	ud	Trabajo de investigación, cálculo, modelización y redacción		1,000	10.211,83
			Trabajo de investigación y cálculos previos, de modelización del esquema hidráulico de la instalación y de redacción necesario para el desarrollo del proyecto			
INGIND	Mano de obra	h	Ingeniero técnico industrial	300,000	32,40	9.720,00
%		%	Costes directos complementarios	2,000	9.720,00	194,40
			3		10.211,83	10.211,83
			PRESUPUESTO		4.770.883,27	4.770.883,27

Capítulo	Importe (€)
1 Movimiento de tierras	992.050,06
2 Elementos hidráulicos	3.768.621,37
3 Trabajo de desarrollo y redacción del proyecto	10.211,83
Presupuesto de ejecución material (PEM)	4.770.883,26
13% de gastos generales	620.214,82
6% de beneficio industrial	286.253,00
Presupuesto de ejecución por contrata (PEC = PEM + GG + BI)	5.677.351,08
21% IVA	1.192.243,73
Presupuesto de ejecución por contrata con IVA (PEC = PEM + GG + BI + IVA)	6.869.594,81

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata con IVA a la expresada cantidad de SEIS MILLONES OCHOCIENTOS SESENTA Y NUEVE MIL QUINIENTOS NOVENTA Y CUATRO EUROS CON OCHENTA Y UN CÉNTIMOS.



DOCUMENTO 4: PLANOS



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



Proyecto:

DISEÑO DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE DE VILAFRANCA DE LOS BARROS (EXTREMADURA)

Plano:

Situación geográfica de la zona de estudio

Autor:

Ana Mancera Vizuite

Fecha:

Julio 2023

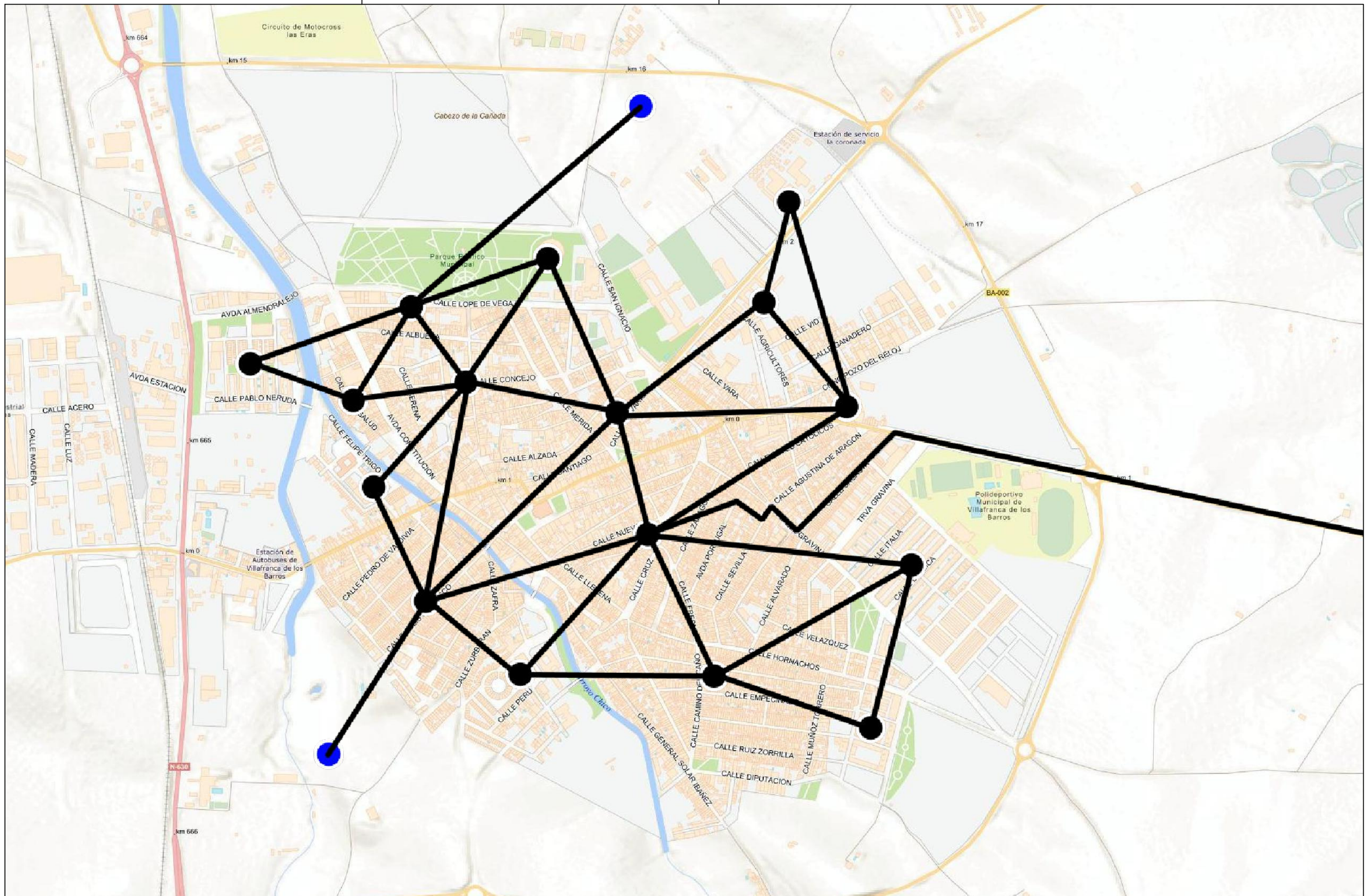
Escala:

S/E

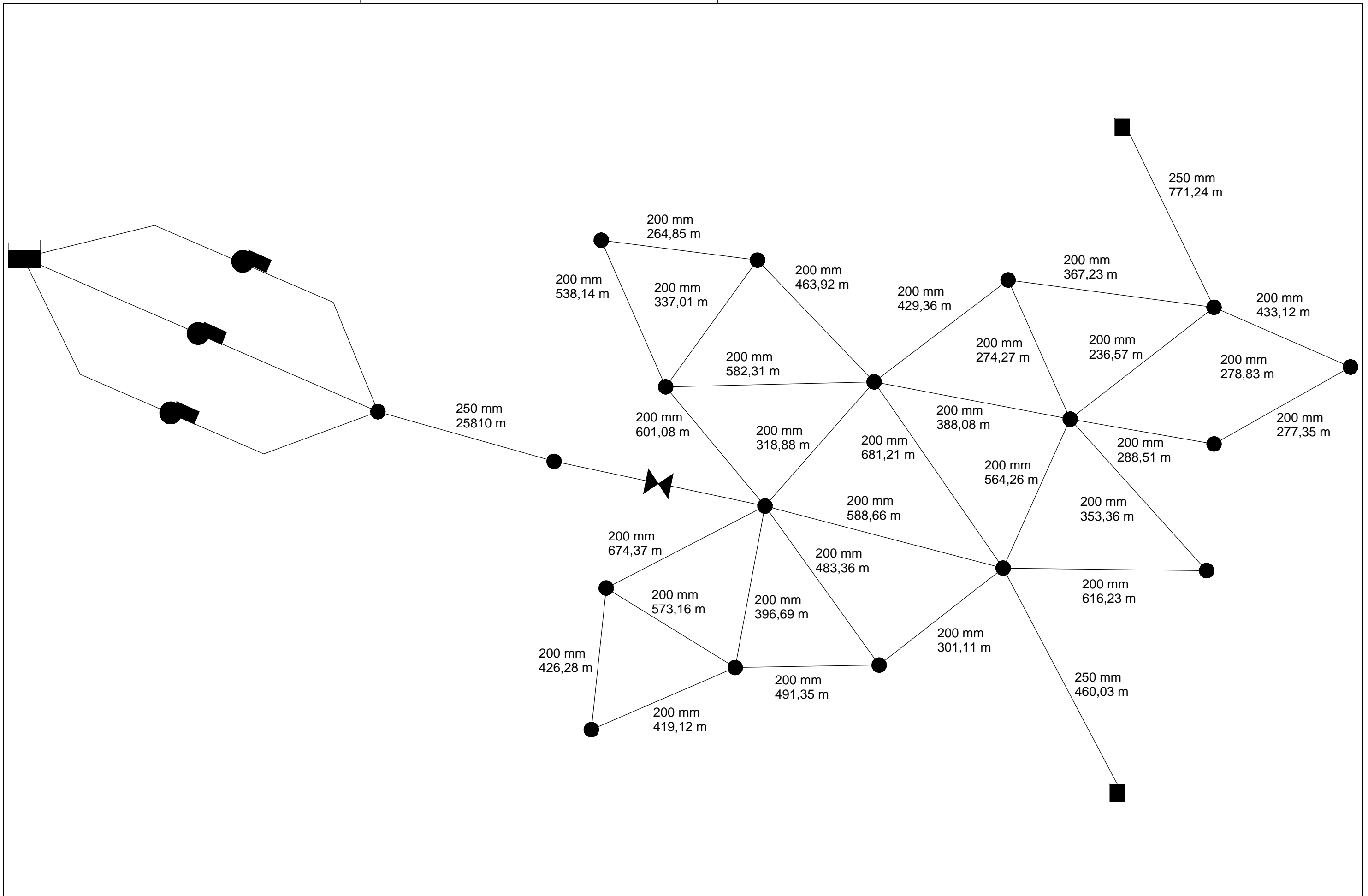
Nº Plano:

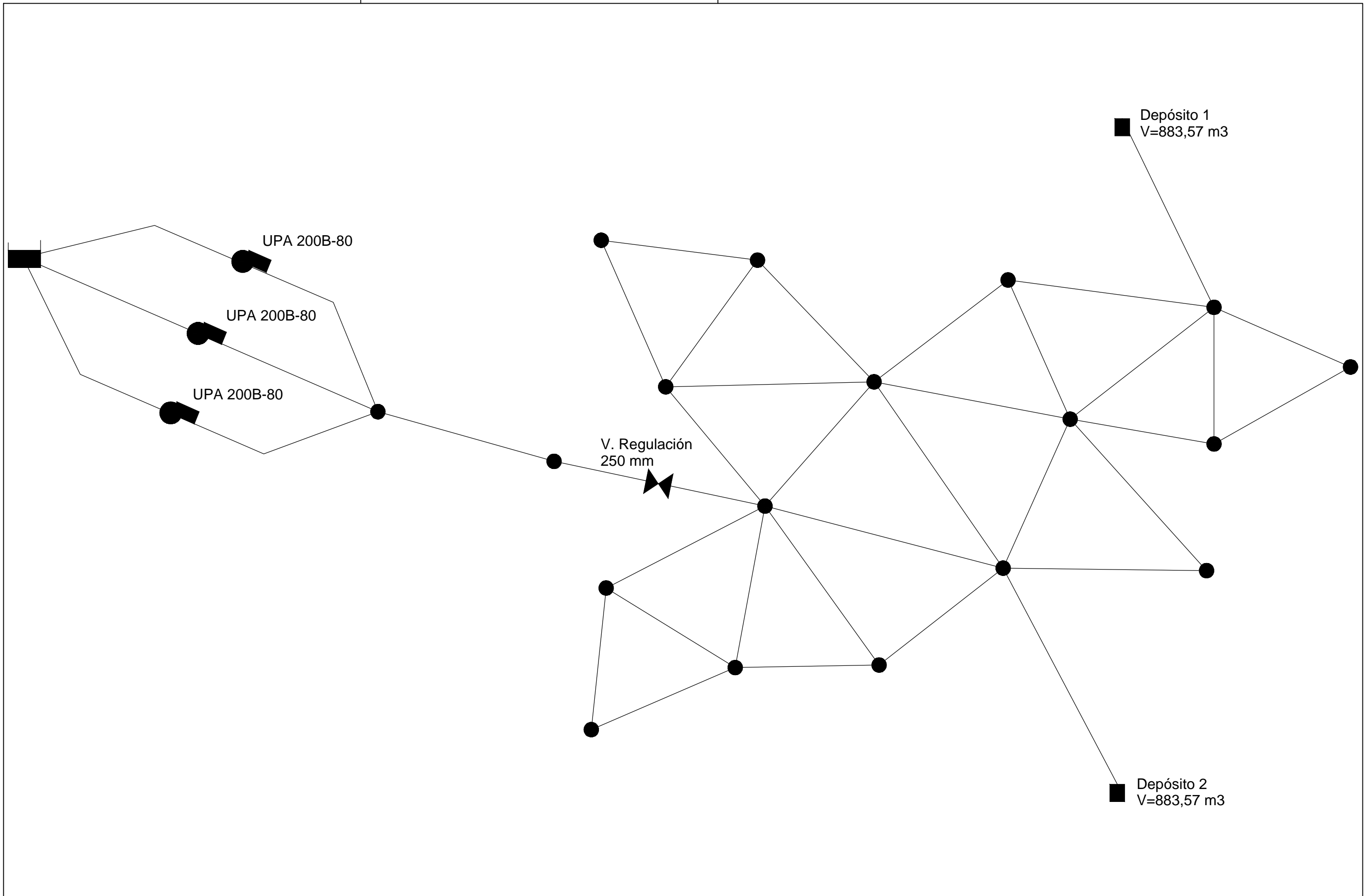
01



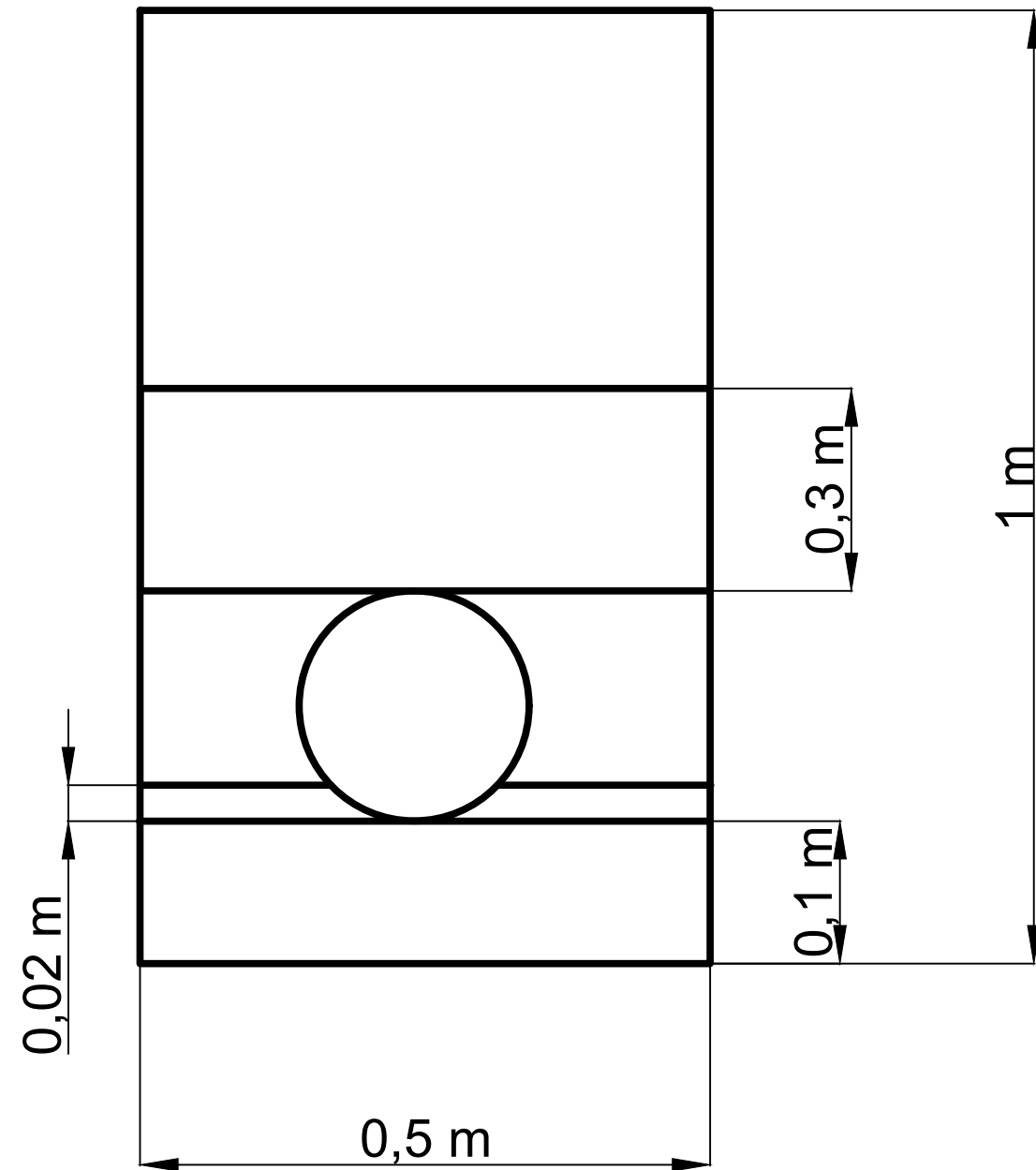


<p>TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES</p>  <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>	<p>Proyecto: DISEÑO DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE DE VILAFRANCA DE LOS BARROS (EXTREMADURA)</p>	<p>Plano: Detalle del trazado de la red mallada a diseñar</p> <p>Autor: Ana Mancera Vizuet</p>	<p>Fecha: Julio 2023</p> <p>Escala: S/E</p> <p>Nº Plano: 03</p>
---	---	--	---





Zanja DN 200



Zanja DN 250

