



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUOLA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

Curso Académico:

AGRADECIMIENTOS

Después de cinco años de trabajo y esfuerzo por fin ha llegado la recta final. No ha sido un camino fácil pero sí ha sido un camino de aprendizaje de conocimientos, de duros retos personales y constancia. El grado en ingeniería en tecnologías industriales me ha hecho ver que solo hay un camino para cumplir tus objetivos y es el del trabajo duro. Pero a lo largo de estos años no he estado solo y por ello querría dar las gracias, en primer lugar, a mi familia, que me han permitido poder estudiar este grado y que me han tenido que soportar en los mejores pero sobretodo en los peores momentos. Quería dar las gracias también a mis amigos del grado que con su ayuda y sus risas han conseguido amenizar el aprendizaje de todos los conocimientos durante estos años. También querría dar las gracias a todos los profesores que he tenido durante este tiempo y que han intentado enseñarme como mejor han podido. Por otro lado, querría dar las gracias a mi tutor Arnau Bayón por la ayuda ofrecida durante estos meses. Por último quería dar las gracias a Laura. Sin ella este trabajo hubiera sido imposible de realizar. Por ser mi pilar y mi fuente de fuerza en los peores momentos, gracias Laura.

Gracias a todos de corazón.

RESUMEN

El presente trabajo de Fin de Grado (TFG) consiste en el rediseño de la instalación de abastecimiento de agua debido a la construcción de una piscina municipal en la Huerta del Marquesado, un pequeño pueblo de la provincia de Cuenca.

Hasta la fecha, el pueblo ha gozado de una buena disposición de agua que no ha provocado ningún tipo de problema como escasez o contaminación de esta, debido también a la localización en el municipio de la empresa de agua embotellada Fuente Liviana que siempre ha mantenido un control en la disponibilidad y calidad del agua del manantial del cual también procede el agua para el pueblo, además de traer prosperidad y trabajo a sus habitantes.

Por ello y con la próspera construcción de la piscina municipal, el trabajo planteado tendrá como objetivo principal la comprobación de la sostenibilidad del nuevo diseño de la red de distribución de agua contemplando la disponibilidad del recurso hidráulico, las características orográficas de la zona, el estudio de los diferentes elementos de la red además de las demandas en los diferentes puntos de consumo como las viviendas, edificios públicos y la ocasionada por la piscina. También se estudiará la red buscando puntos flacos y mejoras que puedan elevar el rendimiento de la instalación.

El rediseño y estudio de la distribución de agua se llevará a cabo mediante el modelo numérico unidimensional para cálculo hidráulico EPANET. Con este programa podremos introducir las diferentes distancias, cotas y demandas para así poder sacar conclusiones lo más reales posibles del rediseño y estudio realizado.

RESUM

El present treball de fi de grau (TFG) consisteix en el redisseny de la instal·lació de proveïment d'aigua degut a la construcció d'una piscina municipal en la Huerta del Marquesado, un xicotet poble de la província de Conca.

Fins ara, el poble ha gaudit d'una bona disposició d'aigua que no ha provocat ningun tipus de problema com escassetat o contaminació d'aquesta, degut també a la localització en el municipi de l'empresa d'aigua embotellada Fuente Liviana que sempre ha mantingut un control en la disponibilitat y qualitat de l'aigua del deu del qual també procedeix l'aigua de la població, a més de portar prosperitat y treball per als seus habitants.

Per això y amb la pròspera construcció de la piscina municipal, el treball plantejat tindrà com objectiu principal la comprovació de la sostenibilitat del nou disseny de la xarxa de distribució d'aigua contemplant la disponibilitat del recurs hidràulic, les característiques orogràfiques de la zona, el estudi dels diferents elements de la xarxa a més de les demandes en els diferents punts de consum com els domicilis, edificis públics i l'ocasionada per la piscina. També s'estudiarà la xarxa buscant punts dèbils y millores que puguen elevar el rendiment de la instal·lació.

El redisseny i estudi de la distribució de l'aigua es durà a terme mitjançant el model numèric unidimensional per a càlcul hidràulic EPANET. Amb aquest programa podrem introduir les diferents distàncies, cotes i demandes per així poder treure conclusions el més reals possibles del redisseny i estudi realitzat.

SUMMARY

The following final degree project consists on the redesign of the water supply system due to the construction of a municipal swimming pool in Huerta del Marquesado, a small village located in the province of Cuenca.

Up to this day, this village has never experienced any trouble in the aspects of shortage or bad quality of the water due to it's pretty good working system. The fact that the company of Fuente Liviana, a bottling company, is set in this same village, has also helped maintain control in availability and quality of the water that comes from the spring that also supplies la Huerta del Marquesado. In addition, Fuente Liviana offers prosperity and employment to many people in the surrounding area.

With all of the above being said and the construction of the swimming pool in process, the following work will have as a main goal the verification of the sustainability of the new water supply system, taking into consideration de availability of the hydraulic resources, the orographic characteristics of the surrounding land, the study of the different elements in the supply system, in addition to the many other consumption parts in the system such as the houses, public buildings and all that may be caused by the swimming pool. There will also be a recheck of the system in order to find possible miscalculations or add improvements that could benefit the supply system.

The redesign and study of the water supply system will be carried out mainly with the use of the unidimensional numeric system for the hydraulic calculation EPANET. With this program we will be able to introduce the different distances, levels and demands so that the conclusions that we will obtain can be as realistic as possible regarding the study and redesign of the water supply system in Huerta del Marquesado.

ÍNDICE DE DOCUMENTOS

1. DOCUMENTO I. MEMORIA DESCRIPTIVA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	4
CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA HUERTA DEL MARQUESADO ...	7
CAPÍTULO 4. DISEÑO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA HUERTA DEL MARQUESADO	20
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LA RED	51
CAPITULO 6. CONCLUSIÓN	64
CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA	65

2. DOCUMENTO II. PLANOS

1. PLANO DE LA RED.	69
2. PLANO DE LA LOCALIZACIÓN DE CONSUMOS	70
3. PLANO DE LOS ELEMENTOS EXTERNOS DE LA RED	71

3. DOCUMENTO III. PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN	73
2. MEDICIONES	74
3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL.....	77
4. COSTE TOTAL DEL PROYECTO	80

DOCUMENTO I.

MEMORIA DESCRIPTIVA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo del proyecto	1
1.2. Estructura del proyecto	3
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
2.1. Normativa empleada en la memoria	4
2.2. Aplicaciones informáticas utilizadas	4
2.3. Ecuaciones matemáticas utilizadas	5
2.3.1. Ecuación de Bernoulli	5
2.3.2. Ecuación de pérdida de carga	6
3. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE HUERTA DEL MARQUESADO.....	7
3.1. Características de la población	7
3.1.1. Localización geográfica	7
3.1.2. Evolución demográfica	8
3.2. Terminología	9
3.3. Elementos de la red	10
3.3.1. Fuente de producción de agua	10
3.3.2. Tuberías de la red de distribución	12
3.3.3. Bombas	12
3.3.4. Depósitos de compensación.....	14
3.3.5. Válvulas hidráulicas	16
3.3.5.1. Válvulas de corte	16
3.3.5.2. Válvulas antirretorno	16
3.3.5.3. Válvulas de regulación de caudal	17
3.3.5.4. Válvulas reductoras de presión	17
3.4. Mapa de la red.....	17
4. DISEÑO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE HUERTA DEL MARQUESADO	20
4.1. Interpolación de las cotas	20
4.2. Cálculo de la rugosidad	25

4.3. Introducción de las longitudes	27
4.4. Cálculo de la demanda.....	28
4.4.1. Selección de las dotaciones y cuantificación de los elementos de consumo	28
4.4.1.1. Domicilios particulares	28
4.4.1.2. Casas rurales.....	29
4.4.1.3. Oficinas	31
4.4.1.4. Bares	32
4.4.1.5. Fuentes públicas	34
4.4.1.6. Consumo animal	37
4.4.1.7. Piscinas	38
4.4.2. Cálculo del $Q_{MEDIPOBLACIONAL}$ y del $Q_{MEDIODIARIO/m}$	40
4.4.3. Cálculo del $Q_{MEDIODIARIO/tubería}$ y $Q_{MEDIODIARIO/nodo}$ o demanda base ..	41
4.4.4. Cambio de unidades de las demandas base.....	44
4.5. Introducción de la válvula reductora.....	44
4.6. Asignación de la curva de modulación	45
4.7. Introducción del depósito de compensación	46
4.8. Introducción de la bomba.....	47
4.9. Introducción de válvulas externas al municipio	49
4.9.1. Válvulas de corte	49
4.9.2. Válvula antirretorno	50
4.9.3. Válvula reguladora de caudal	50
5. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LA RED	51
5.1. Estudio de los caudales de la red.....	51
5.2. Estudio de las presiones de la red	53
5.3. Estudio de las velocidades de la red	57
5.4. Análisis de la pérdida de carga	57
5.5. Propuestas de mejora.....	58
5.5.1. Caudalímetros	58
5.5.2. Válvulas reductoras de presión	60
6. CONCLUSIÓN	64
7. BIBLIOGRAFÍA	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Huerta del Marquesado (desde el mirador).....	2
Figura 2: Principio de Bernoulli	5
Figura 3: Localización de Huerta del Marquesado respecto a Cuenca	7
Figura 4: Ubicación de Huerta del Marquesado.....	7
Figura 5: Planta de la empresa embotelladora de agua Fuente Liviana en Huerta del Marquesado	8
Figura 6: Manantial de las Fuentes	11
Figura 7: Ubicación manantial de las Fuentes.....	11
Figura 8: Mapa de la red.....	12
Figura 9: Ubicación de la bomba	13
Figura 10: Caseta de la bomba	13
Figura 11: Depósito principal en activo y válvulas	14
Figura 12: Depósito principal antiguo y las cámaras que lo conforman	14
Figura 13: Interior del depósito secundario antiguo.....	15
Figura 14: Ubicación de los depósitos	15
Figura 15: Válvula de corte.....	16
Figura 16: Válvula antirretorno	16
Figura 17: Válvula de regulación de caudal.....	17
Figura 18: Válvula reductora de presión	17
Figura 19: Mapa desactualizado de la red.....	18
Figura 20: Leyenda de diámetros del mapa de la red	18
Figura 21: Mapa catastral con red dibujada.....	19
Figura 22: Cuadrícula del modelo digital MDT02	20
Figura 23: Visionado del modelo digital MDT02 en QGIS	21
Figura 24: Visionado del modelo digital MDT02 junto a la ortofoto.....	21
Figura 25: Icono de la herramienta "terrain profile".....	27
Figura 26: Herramienta Long-Auto.....	27
Figura 27: Esquema de la red representando los diferentes diámetros.....	27
Figura 28: Domicilios particulares	28
Figura 29: Casas rurales "El Telar del Tío Josete" y "La Casa del Tío Perejil"	29

Figura 30: casas rurales "de la era" y "el bujedal"	29
Figura 31: Cabañas rurales "Aires Serranos"	30
Figura 32: Ayuntamiento	31
Figura 33: Parcelas mostradas en el mapa catastral	32
Figura 34: Deconstrucción de la parcela	33
Figura 35: Bares "Fuentel Gato" y "Bora Bora"	33
Figura 36: Bares "Casa del Tío Migué" y "Blasmar"	34
Figura 37: Bar "de Pedro"	34
Figura 38: Fuentes del bar y del ayuntamiento	35
Figura 39: Fuentes de la pared y de las afueras	35
Figura 40: Fuente del parque	35
Figura 41: Embudo y garrafa utilizadas para el experimento	36
Figura 42: Caballos y ovejas	37
Figura 43: Granja de conejos	37
Figura 44: Futura localización de la piscina municipal	38
Figura 45: Piscina privada	39
Figura 46: Demostración del error por unidades	44
Figura 47: Mapa de la red antes de colocar la válvula reductora de presión	45
Figura 48: Curva de modulación	45
Figura 49: Página de inicio de GRUNDFOS	47
Figura 50: Selección de la bomba del catálogo	47
Figura 51: Curva de la bomba seleccionada	48
Figura 52: Curva de la bomba introducida en epanet	48
Figura 53: Tubería de estado inicial "cerrada"	49
Figura 54: Distribución de caudales a la hora de mayor consumo	51
Figura 55: Esquema de presiones a la hora de menor consumo	54
Figura 56: Esquema de presiones a la hora de mayor consumo	54
Figura 57: Esquema de velocidades a la hora de mayor consumo	57
Figura 58: esquema de pérdida unitaria a la hora de mayor consumo	58
Figura 59: Tuberías cortadas para la sectorización	59
Figura 60: Posición de los caudalímetros	60

Figura 61: Ubicación nueva válvula reductora	60
Figura 62: Válvula reductora de presión DRV	61
Figura 63: Mapa de la red antes y después de la introducción de la válvula reductora de presión	63
Figura 64: Válvula reductora de presión DRV funcionando en la red	63

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas y cota de los depósitos	16
Tabla 2: Diámetros y características de las conducciones	19
Tabla 3: Nodos con sus respectivas cotas	22
Tabla 4: Rugosidad según el material.....	26
Tabla 5: Coeficiente según el material	26
Tabla 6: Dotación por habitante según el número de habitantes	28
Tabla 7: Número de habitantes posibles de los distintos apartamentos.....	30
Tabla 8: Consumo medio según el tipo de alojamiento.....	30
Tabla 9: Dotación de bares según su superficie	32
Tabla 10: Superficie de cada bar	33
Tabla 11: Tiempo de llenado por cada fuente	36
Tabla 12: Dotación calculada de cada fuente	36
Tabla 13: Cantidad de animales según la especie	37
Tabla 14: Dotación de los animales según su especie.....	38
Tabla 15: Dotación de piscinas según la recirculación de sus aguas.....	39
Tabla 16: Dimensiones de las piscinas	39
Tabla 17: Caudales medios de cada tipo de consumo y suma total	40
Tabla 18: Caudales medios por tubería de cada tubería.....	41
Tabla 19: Caudales medios por nodo de cada nodo	41
Tabla 20: Características de la válvula reductora.....	45
Tabla 21: Características del depósito.....	46
Tabla 22: Nodos que sobrepasan la presión máxima.....	55
Tabla 23: Datos de trabajo de la nueva válvula reductora.....	61

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Evolución demográfica de Huerta del Marquesado	9
Gráfica 2: Perfil desde el manantial pasando por las bombas hasta el depósito	24
Gráfica 3: Perfil desde el depósito hasta el primer nodo de la red.....	25
Gráfica 4: Perfil correspondiente a la conducción principal	25
Gráfica 5: Distribución de caudales a las 09:00.....	52
Gráfica 6: Distribución de caudales a las 03:00.....	52
Gráfica 7: Evolución del caudal en la tubería que más caudal trasiega	53
Gráfica 8: Evolución de la presión en el nodo que mayores presiones soporta	56
Gráfica 9: Distribución de presiones a las 09:00	56
Gráfica 10: Distribución de presiones a las 03:00	56
Gráfica 11: Diámetros nominales de la válvula reductora de presión DRV	62
Gráfica 12: Diagrama de cavitación de la válvula reductora de presión.....	62

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivo del proyecto

A lo largo de los últimos años, el agua ha ido obteniendo cada vez una mayor importancia en nuestra sociedad. Tal ha sido esta importancia que se han creado nuevos conceptos como huella hídrica (volumen de agua dulce apropiado por el ser humano para la producción de cada uno de los bienes y servicios que utiliza), agua virtual (volumen de agua incorporada en un producto, no en un sentido real, sino necesaria para la producción de este) o uso consuntivo y no consuntivo del agua (dependiendo de si el uso del agua varía el volumen de la fuente de la que se extrae). Conceptos innovadores y necesarios para una sociedad en la que el agua tiene una relevancia especial debido a factores como su coste, su necesidad o su escasez. A estos factores cabe añadir la pérdida de caudales causada por el cambio climático o la contaminación causada por la población y las distintas actividades que realiza. Todo un reto que el futuro nos plantea y que debemos resolver si queremos que exista un auténtico desarrollo global y sostenible.

Actualmente España cuenta con 4.700.000.000 m³ de volumen de agua suministrada al año, por detrás de países como Reino Unido, Alemania, Italia y Francia. A su vez, de toda esta cantidad de agua, solo se registra y factura el 70,2%, dato que destaca bastante comparado al de otros países como Alemania que con casi el doble de población registra un 88,3% (80.780.000 habitantes frente a los 46.507.760 de España). Este dato nos permite comprobar que la red de abastecimiento española tiene aun un gran rango de mejora para poder estar al nivel de otros países que como los datos no muestran, están un escalón por encima de nuestra nación. [8]

¿Pero cuál es la situación actual en España y como se ha llegado a ella? Hace ya más de cinco mil años algunas ciudades de Asia Menor y de la cultura de Mohenjo Daro, al norte de la India, ya contaban con conducciones de agua y un sistema de alcantarillado urbanos. En el caso de España, un país mucho menos urbanizado y poblado, se aprovecharon manantiales, pozos y aljibes hasta la llegada de los romanos que en los primeros siglos de nuestra era crearon las primeras infraestructuras de este tipo, a las que añadieron los primeros baños públicos conocidos como termas. Aunque posteriormente esta capacidad técnica decayó, con los hispanomusulmanes este saber se recuperó, mejoró y amplió. La ilustración en el siglo XVIII supuso otro gran punto de inflexión en el abastecimiento de agua.

Más tarde en el siglo XX, se produjo una revolución histórica en la que la tecnología y la riqueza fueron suficientes como para que en muchas poblaciones se pudiese abordar una distribución de agua directamente a cada hogar. Es lo que se conoce como sistema de acometidas o traída de aguas.

Aunque en el mundo occidental el acceso al agua es prácticamente universal, no es así en todo el globo. En la actualidad el 20% de la población mundial no tiene acceso a agua potable y un 50% carece de saneamiento, así que solo el 30% de los seis millones de habitantes del planeta nos podemos considerar afortunados de disponer de esta tecnología que nos permite disponer de agua corriente en cosa de microsegundos.

Hoy en día, abrir el grifo y que salga agua nos parece lo más normal pero en nuestro pasado y todavía en muchos rincones del planeta, esto no era así. En muchas poblaciones en las que se carecía de agua suficiente, había que realizar costosos desplazamientos para obtener agua. Esto es aún así en muchas zonas áridas del mundo. Una primera solución a este problema fue la creación de conducciones de agua, como los acueductos, que acercaban los caudales de agua a los cascos urbanos. Los romanos fueron los primeros en emplear aquí estas técnicas como podemos ver en acueductos como el de Segovia o de Gea de Albarraçín, cerca de Huerta del Marquesado.

Más en concreto, en Huerta del Marquesado, el agua llegó a las casas al inicio de la década de los setenta del siglo XX proveniente del manantial de las Fuentes el cual se encuentra a escasos metros del municipio y desde el que se abastece a las diferentes casas de este. Es por ello que el presente trabajo de fin de grado tiene como objetivo principal el rediseño de la instalación de abastecimiento de agua de Huerta del Marquesado debido a la construcción de una piscina municipal. Mediante el modelo hidráulico obtenido se analizará la red existente y sus diferentes elementos y se tratará de implementar las mejores convenientes para aumentar el rendimiento de la instalación.



Figura 1: Huerta del Marquesado (desde el mirador)

1.2. Estructura del proyecto

El presente trabajo de fin de grado constará de cuatro bloques fundamentales.

El primer bloque trata sobre los fundamentos teóricos utilizados en la realización del proyecto centrándose en la normativa y aplicaciones informáticas utilizadas además de las ecuaciones matemáticas para el cálculo de las diferentes variables con las que se trabaja.

El segundo bloque trata sobre la descripción de la red de abastecimiento de la Huerta. Se analiza las características de la población, la terminología utilizada y los diferentes elementos de la red junto a las características principales de esta.

El tercer bloque es el que contiene la parte principal del trabajo y consiste en el rediseño de la red de abastecimiento. En este bloque se conforma el modelo hidráulico de EPANET introduciendo los diferentes elementos de la red juntos a sus características principales. También se analizarán las características de la localidad para dar un resultado lo más realista posible.

Finalmente, en el cuarto y último bloque se analiza el comportamiento hidráulico de la red mediante las principales variables que pueden originar problemas (presión, caudal y velocidad) y se propondrán las mejoras que sean oportunas para el futuro funcionamiento de la red.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Normativa empleada en la memoria

A pesar de que no existe una normativa específica para el proyecto realizado sí que se ha podido utilizar diversas normativas en las que poder apoyarse las cuales son las siguientes:

- **Normativa Europea UNE EN 805: 2000** [20]

"Abastecimiento de agua; especificaciones de redes exteriores a los edificios y sus componentes"

- **Normas tecnológicas NTE. (MOP)** [14]

1976 Normas para la Redacción de Proyectos de Abastecimiento de agua y Saneamiento de poblaciones (MOPU) 1976.

-**Real Decreto 314/2006** [17]

Rango de presiones a la llegada a los hogares.

2.2. Aplicaciones informáticas utilizadas

Para la realización del presente trabajo se han utilizado las siguientes aplicaciones informáticas para el tratamiento de los diversos datos disponibles:

- **EPANET:** Es un programa o software libre desarrollado por EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) que realiza simulaciones del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de tuberías a presión. Se utiliza para sistemas de distribución de agua potable, aunque puede ser utilizada para el análisis de cualquier fluido a presión no compresible. [1]
- **QGIS:** Es un Sistema de Información Geográfica (SIG). Las funciones que tiene este programa son las de visualizar, gestionar, editar y analizar datos, y diseñar mapas imprimibles. [16]

2.3. Ecuaciones matemáticas utilizadas

EPANET, el software utilizado para la realización de gran parte del trabajo utiliza diversas ecuaciones elementales que se describen a continuación.

2.3.1. Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli representa un balance energético del recorrido que hace una partícula de fluido entre dos puntos concretos, a lo largo de una línea de corriente, e inmersa en un flujo ideal, unidimensional en cuanto a la superficie, permanente e incomprensible. [6] También llamada trinomio de Bernoulli, la ecuación tiene la siguiente forma y elementos:

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

Donde:

v: Velocidad del fluido (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

z: Cota de referencia (m)

P: Presión a la que está sometida el fluido en un punto (Pascuales)

γ : Peso específico del fluido (N/m³)

P/ γ : Presión en metros por columna de agua (mca)

A esta expresión se le añadirían, en el caso de ser necesario, las pérdidas puntuales o menores (h_m), las pérdidas ocasionadas por turbinas (h_{TURB}), la ganancia de carga ocasionada por bombas (h_{BOMB}) y las pérdidas continuas o mayores (h_f) de las cuales hablaremos en el siguiente apartado [13].

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

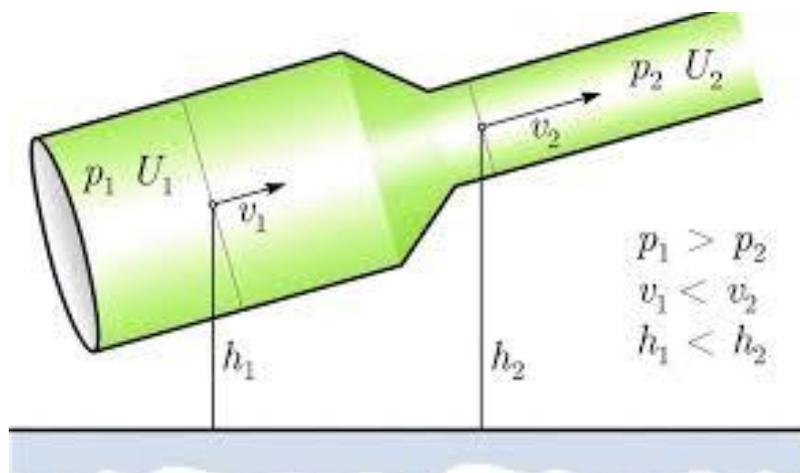


Figura 2: Principio de Bernoulli

2.3.2. Ecuación de pérdida de carga

En el presente trabajo, las pérdidas de carga mayores se han calculado mediante la ecuación de Darcy-Weisbach la cual está compuesta de los siguientes elementos:

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

Donde:

f: Factor de fricción (parámetro adimensional que depende del número de Reynolds (Re), de la viscosidad relativa (ϵ_r) y del régimen de flujo)

L: Longitud de las tuberías (m)

v: Velocidad del fluido (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s^2)

D: Diámetro de las tuberías (m)

Q: Caudal trasegado por las tuberías (m^3/s)

3. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE HUERTA DEL MARQUESADO

3.1. Características de la población

En el presente apartado se sitúa la localidad de Huerta del Marquesado en contexto, mencionando las características más importantes sobre su localización y población.

3.1.1. Localización geográfica

El municipio de Huerta del Marquesado se encuentra situado en el noroeste de la provincia de Cuenca, en plena serranía, en la Comunidad Autónoma de Castilla La Mancha, en el centro-este de España. Fue fundada en el siglo II a.C. y sus coordenadas son UTM 40°09'45" Norte 1°41'18" Oeste. El municipio se encuentra, de media, a un altitud sobre el nivel del mar de 1257 metros, siendo de 1853 metros la altura máxima del término municipal en el pico conocido como Collado Bajo. Además, dispone de una superficie de 16.507 hectáreas. [7]



Figura 3: Localización de Huerta del Marquesado respecto a Cuenca

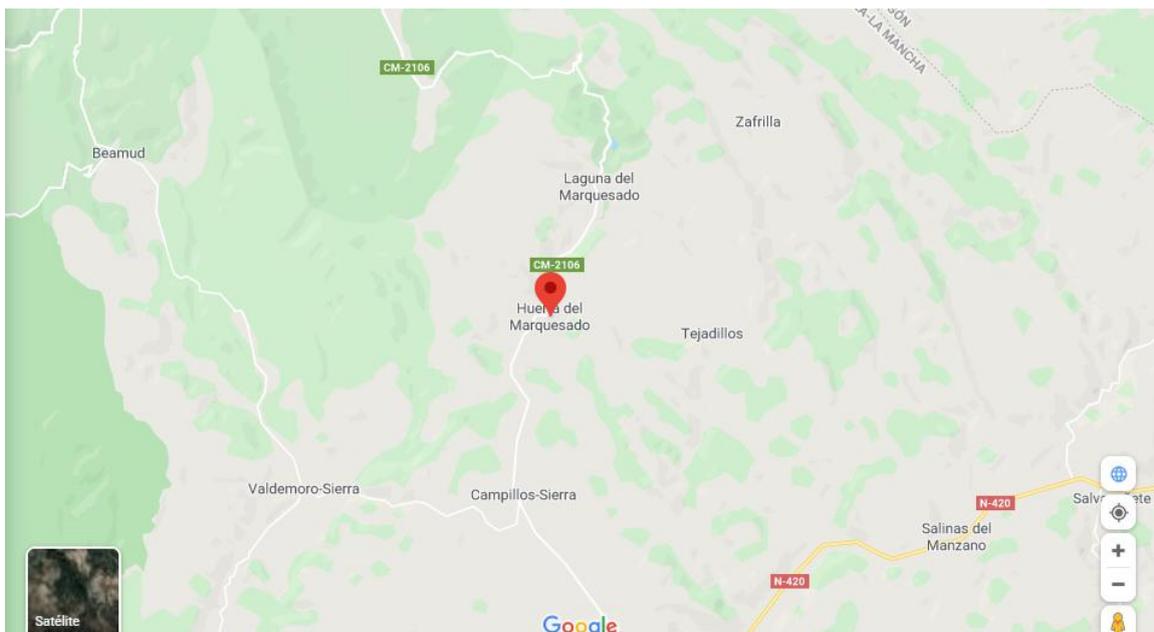


Figura 4: Ubicación de Huerta del Marquesado

3.1.2. Evolución demográfica

En la actualidad, Huerta del Marquesado cuenta con 194 habitantes de los cuales 108 son hombres y 86 son mujeres, según el censo de 2019. El municipio, conjuntamente con localidades cercanas y de similares características, ha sufrido los efectos de la llamada "despoblación rural" que ha mermado a la población hasta reducirla a la mitad de la que había antes de la década de los 60. Al entrar este periodo, muchos de los habitantes de la Huerta emigraban hacia ciudades como Valencia, Barcelona o Madrid en busca de nuevas oportunidades de trabajo.

Por otro lado, en el año 1996 se construyó en Huerta del Marquesado la fábrica de agua embotellada Fuente Liviana la cual hizo repuntar la población hasta llegar a 243 habitantes en 2001. La fábrica pudo ofertar nuevos puestos de trabajo y así la gente no emigrar y además, trajo nuevos habitantes los cuales se mudaban para estar más cerca del puesto de trabajo.



Figura 5: Planta de la empresa embotelladora de agua Fuente Liviana en Huerta del Marquesado

A continuación se puede observar una gráfica extraída del INE (Instituto Nacional de Estadística) donde se puede ver la evolución de la población desde el año 1996. [10]



Gráfica 1: Evolución demográfica de Huerta del Marquesado

3.2. Terminología

A continuación definiremos algunos de los conceptos que se utilizarán en el trabajo mediante el apoyo de la norma UNE EN 805. [20]

- **Presión de funcionamiento:** Presión interna que aparece en un instante dado en un punto determinado de la red de abastecimiento de agua.
- **Presión de servicio:** Presión interna en el punto de conexión a la instalación del consumidor.
- **Golpe de ariete:** Fluctuaciones rápidas de presión debidas a las variaciones de caudal durante intervalos cortos de tiempo.
- **Conducción secundaria:** Conducción que conecta una o varias conducciones principales a las acometidas.
- **Agua potable:** Agua destinada al consumo humano según definen las autoridades nacionales competentes.
- **Conducción principal:** Conducción que actúa como distribuidor principal dentro del área de suministro, normalmente sin conexión directa a los consumidores.
- **Depósito:** Instalación destinada al almacenamiento de agua.

- **Acometida:** Conducción que suministra agua al consumidor desde la conducción secundaria.
- **Arteria principal:** Conducción que interconecta red(es), plantas de tratamiento de agua, depósitos y/o zonas de consumo, normalmente sin acometidas directas al consumidor.
- **Red de distribución de agua:** Parte de la red de abastecimiento de agua, que incluye a las conducciones, los depósitos, las estaciones de bombeo y otros equipos, por los cuales el agua se suministra a los consumidores. Comienza a la salida de la estación de tratamiento de agua (o en la toma de agua si no existe tratamiento, como es el caso de los pozos) y termina en el punto de acometida a las instalaciones del consumidor.
- **Válvula:** Componente que permite cortar o regular el caudal y la presión, por ejemplo: válvula de aislamiento, válvula de regulación, dispositivo reductor de presión, purgador, válvula anti-retorno, hidrantes y bocas de riego.
- **Diámetro nominal (DN/ID o DN/OD):** Designación numérica del diámetro de un componente mediante un número entero aproximadamente igual a la dimensión real en milímetros. Esto se aplica tanto al diámetro interior (DN/ID) como al diámetro exterior (DN/OD).
- **Factor de caudal punta:** Relación entre el caudal punta y el caudal medio durante un mismo intervalo de tiempo.
- **Cavitación:** Evaporación espontánea del fluido al atravesar una zona local de baja presión.

3.3. Elementos de la red

En este apartado describiremos todos los elementos de los cuales consta la red y detallaremos su posición en el municipio.

3.3.1. Fuentes de producción de agua

Una fuente de producción de agua es un lugar del cual brota agua de manera natural y del que se puede aprovechar esta para el abastecimiento de poblaciones. En el planeta Tierra disponemos de múltiples tipos diferentes de fuentes de producción de agua. Desde agua de lluvia almacenada en aljibes, manantiales naturales, aguas subterráneas, aguas superficiales hasta agua de mar aunque para esta última todavía no existen las infraestructuras adecuadas para el abastecimiento de una población.



Figura 6: Manantial de las Fuentes

La red de distribución de agua de Huerta del Marquesado se abastece del manantial de las Fuentes. Este se sitúa un poco más abajo que el pozo original del cual extrae el agua la fábrica Fuente Liviana de la cual hemos hablado anteriormente. El manantial se localiza en las coordenadas 40°08'57.2"Norte 1°41'38.7"Oeste, a 510,28 metros del municipio. De allí procede el agua que gracias a la bomba, llegará al depósito para ser almacenada y distribuida según los consumos de la localidad.



Figura 7: Ubicación Manantial de las Fuentes

3.3.2. Tuberías de la red de distribución

Las tuberías son líneas que unen los recursos, las plantas de tratamiento, depósitos y/o áreas de consumo, por lo general sin conexiones directas a los usuarios. [20]

La red de distribución de agua de Huerta del Marquesado cuenta con 5.33 kilómetros de longitud separados en 4.34 kilómetros de red situada en el núcleo urbano y 0.98 kilómetros de red externa al municipio (parte de la red que transporta el agua desde el manantial hasta el primer nudo de la instalación hidráulica). Sin contar la parte de la red externa a la localidad, la tubería con más longitud de la instalación es de 122.34 metros y se sitúa en una de las calles principales del municipio.



Figura 8: Mapa de la red

Por otro lado, las tuberías están hechas de fibrocemento (conocido coloquialmente como "uralita") y fueron instaladas alrededor de los años 70. Los diámetros nominales de la instalación van desde los 50 hasta los 150 milímetros dependiendo el tramo y el caudal que debe trasegar la conducción.

3.3.3. Bombas

Las bombas son dispositivos que favorecen el impulso de un líquido en una determinada dirección (de menos altitud o presión hacia una de mayor altitud o presión) mediante la conversión de energía mecánica en energía hidráulica [3]. Aguas arriba de las bombas son los puntos con más posibilidades de sufrir cavitación.

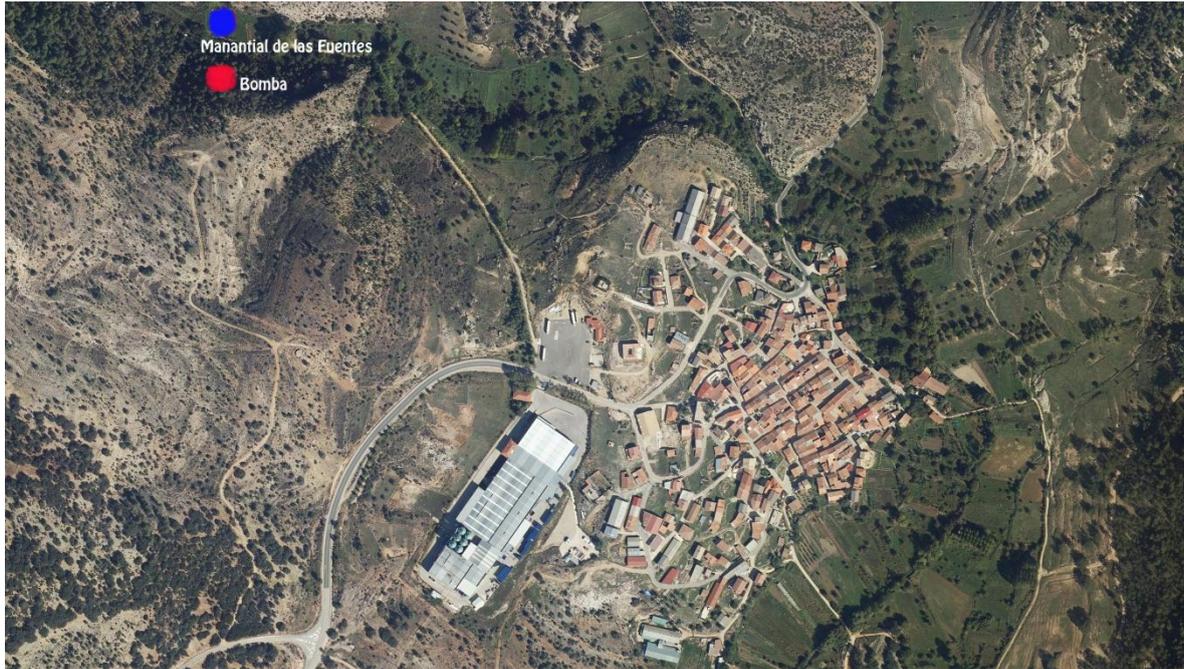


Figura 9: Ubicación de la bomba

Huerta del Marquesado cuenta con una única bomba que transporta el agua desde el manantial hasta el depósito de compensación. Está se encuentra en una caseta a tan solo 10 metros del manantial y trasiega el agua hasta el depósito por una tubería de 150 milímetros de diámetro y longitud de 516.01 metros debido a las bajas presiones que allí se pueden originar.



Figura 10: Caseta de la bomba

3.3.4. Depósitos de compensación

Los depósitos de compensación son infraestructuras que tienen como objetivo el abastecimiento de redes hidráulicas además del almacenaje de agua.

Huerta del Marquesado dispone de hasta tres depósitos de agua aunque solo está en funcionamiento uno de ellos. Los dos depósitos no activos se sitúan prácticamente en el área del municipio y funcionaban conjuntamente apoyándose uno en el otro. Por el contrario, el depósito activo trabaja en solitario y mucho más alejado que sus predecesores, separado del primer nodo por la arteria principal de 465.8 metros de longitud.



Figura 11: Depósito principal en activo y válvulas

Por otro lado, los dos depósitos obsoletos están formados por cámaras en las que se almacenaba el agua. Estas cámaras, al contrario que en los depósitos habituales, tienen forma semi-tubular con la parte del cilindro cortado apoyada en el suelo. Uno de estos depósitos tenía hasta dos cámaras como se pueden ver en las fotografías.



Figura 12: Depósito principal antiguo y las cámaras que lo conforman



Figura 13: Interior del depósito secundario antiguo

Por el contrario, el depósito activo es un depósito superficial con forma tubular y hecho de hormigón que se localiza a 414,18 metros del municipio. A continuación situaremos los tres en el mapa.



Figura 14: Ubicación de los depósitos

Estas son sus coordenadas y cotas:

Depósitos de Huerta del Marquesado	Coordenadas	Cota (m)
Depósito en activo	40°08'44.5"Norte 1°41'37.6"Oeste	1263.293
Depósito principal no en activo	40°08'47.1"Norte 1°41'21.8"Oeste	1290.098
Depósito secundario no en activo	40°08'49.4"Norte 1°41'13.3"Oeste	1258.229

Tabla 1: Coordenadas y cota de los depósitos

3.3.5. Válvulas hidráulicas

Las válvulas son instrumentos mecanizados que regulan el paso del fluido en un determinado punto de un circuito hidráulico. En el presente trabajo se utilizaran las siguientes:

3.3.5.1. Válvulas de corte

Válvulas hidráulicas capaces de cortar el trasiego de caudal de un fluido por una conducción

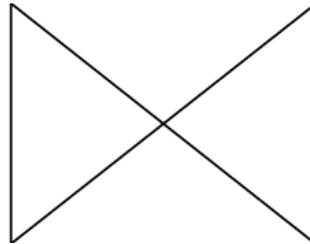


Figura 15: Válvula de corte

3.3.5.2. Válvulas antirretorno

Válvulas hidráulicas que tienen como objetivo impedir el paso del fluido en un sentido y dejarlo totalmente libre en el contrario.

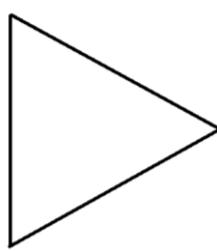


Figura 16: Válvula antirretorno

3.3.5.3 Válvulas de regulación de caudal

Válvulas hidráulicas que permiten el control de la cantidad de agua que pasa a través de la conducción en función del grado de apertura de esta manera:

- $\theta=0^\circ$ -----> Cerrada
- $\theta=90^\circ$ -----> Abierta

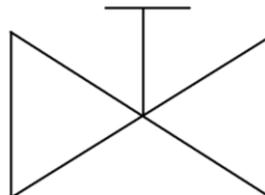


Figura 17: Válvula de regulación de caudal

3.3.5.4. Válvulas reductoras de presión

Válvulas hidráulicas cuya función es disipar el exceso de potencia para así poder disminuir la presión a un valor predeterminado.

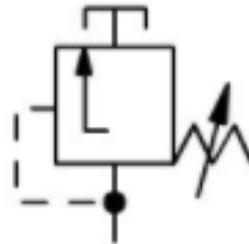


Figura 18: Válvula reductora de presión

3.4. Mapa de la red

Antes de comenzar con el rediseño de la instalación de abastecimiento de agua de Huerta del Marquesado, es vital conocer la actual instalación. Es importante conocer cuestiones como la localización de las conducciones, sus diámetros nominales, válvulas existentes o demás elementos.

Este asunto fue más complicado de lo esperado debido a que el ayuntamiento no disponía de base de datos informática de la red. Únicamente me pudieron ofrecer fotografías de dos mapas físicos que poseían a su alcance.

El primero de ellos sí que está hecho mediante ordenador pero, al ser excesivamente antiguo, solo refleja la parte de la instalación original la cual solo representa la mitad de la actual. Además, el mapa también refleja la localización de los dos depósitos antiguos, algunas fuentes públicas y demás elementos que no se han tenido en consideración. Finalmente, este mapa también contenía una pequeña leyenda que da una idea de los tamaños de las conducciones.

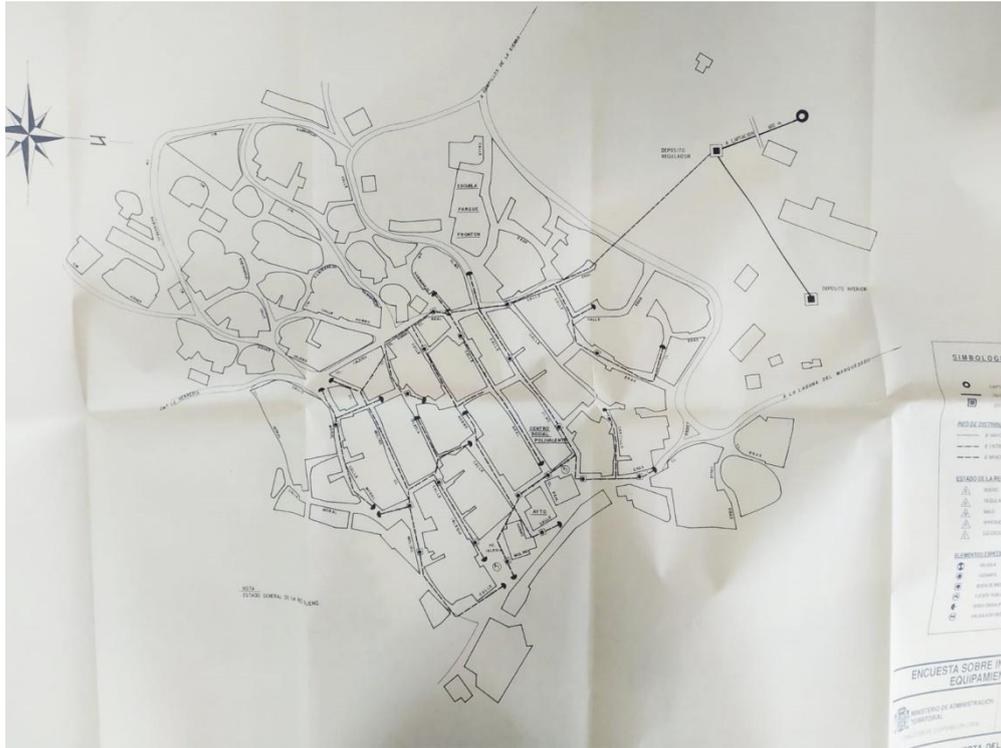


Figura 19: Mapa desactualizado de la red

El segundo de ellos es una impresión del mapa catastral de Huerta del Marquesado en el que encima se han dibujado el conjunto de tuberías que forman actualmente el municipio. A pesar de la baja calidad del mapa debido a razones obvias, se puede comparar fácilmente con un mapa político de la Huerta e identificar todas la conducciones en sus respectivas calles. Además, estas están divididas en tres colores diferentes pero no se especifica que diámetro representa cada uno. Por otro lado, el mapa también dispone de una leyenda en la que mediante números se indican el nombre de algunas calles y demás elementos de la instalación. Cabe destacar la localización de una válvula reductora de presión en la conducción roja.

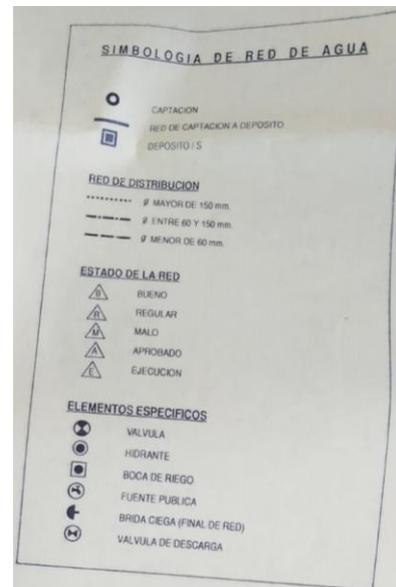


Figura 20: Leyenda de diámetros del mapa de la red



Figura 21: Mapa catastral con red dibujada

Finalmente y con la información aportada, se decidió por adoptar que cada uno de los colores reflejara uno de los diámetros de la leyenda vista anteriormente. Analizando las conducciones y su localización se decidió adoptar los siguientes diámetros:

Conducciones	Diámetros (mm)	Tipo de conducción
Roja	150	Principal
Verde	100	Secundaria
Amarillo	50	Secundaria

Tabla 2: Diámetros y características de las conducciones

4. DISEÑO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE HUERTA DEL MARQUESADO

A continuación, se detallarán los pasos que se han seguido para la realización del rediseño de la red de agua de Huerta del Marquesado, explicando la procedencia de la información y los datos y como se han utilizado para el resultado final.

4.1. Interpolación de las cotas

La primera variable importante a tratar para la realización del diseño de la red es la altitud de esta ya que es una de las variables que más influye en la presión, la cual es determinante para el buen funcionamiento de la red. Para ello es necesario averiguar la altitud de todos los nodos que conforman el sistema hidráulico.

En primer lugar, mediante la plataforma del Instituto Gráfico Nacional, se procede a la descarga del modelo digital de terreno correspondiente a Huerta del Marquesado. Estos tipos de modelos representan una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Teniendo en cuenta que Huerta del Marquesado es un municipio con unas dimensiones bastantes reducidas, se procede a descargar el modelo digital de terreno - MDT02 (marca la cota del terreno con una malla de 2 metros) ya que es el modelo que acota el terreno en un número inferior de metros.

A continuación, teniendo en cuenta que el modelo digital obtenido abarca toda la superficie de la región española, el Instituto Geográfico Nacional permite la opción de buscar por celdas para así solo descargar el modelo de la zona deseada [9]. Huerta del Marquesado se encuentra justo entre la separación de dos celdas por lo que se descarga las celdas 0611-1 y 0611-2 del modelo digital MDT02. Los mapas son descargados en formato .asc (Action Sript), el cual es un formato para tipos de archivos que son abiertos por aplicaciones muy concretas como la utilizada en este trabajo.



Figura 22: Cuadrícula del modelo digital MDT02

Una vez descargados los dos archivos de modelo digital, se introducen en el QGIS para poder trabajar con ellos. Antes de realizar cualquier acción, se debe cambiar el sistema de referencias de coordenadas predeterminado de la aplicación ya que el modelo utiliza el sistema ETRS89 / UTM zone 30N (N-E) mientras que QGIS utiliza el WGS 84 por lo que se cambia el de la aplicación para que los dos coincidan. Una vez introducidos los dos mapas el resultado es el mostrado a continuación.

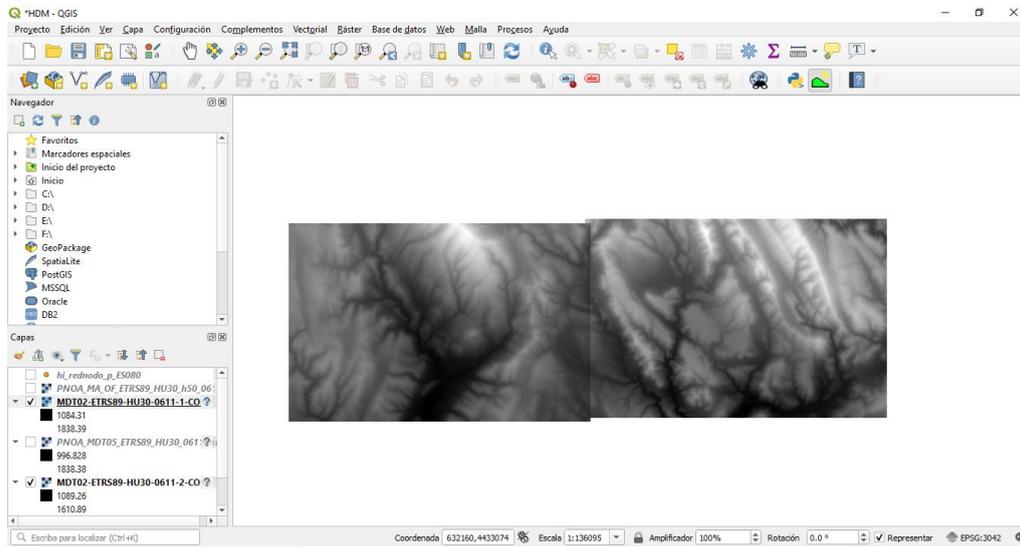


Figura 23: Visionado del modelo digital MDT02 en QGIS

Los mapas introducidos ya incluyen las alturas de toda la zona deseada pero como se puede comprobar en la imagen anterior, el mapa solo muestra los relieves, no muestra localizaciones ni elementos físicos de ningún tipo por lo que para complementar el modelo digital ya obtenido y poder localizar las instalaciones o elementos de la red, se descarga también el mapa aéreo o ortofoto de la cuadrícula entera 0611 la cual es PNOA_MA_OF_ETRS89_HU30_h50_0611 (ya que no hay de dimensiones más pequeñas). Sobreponiendo la ortofoto a los modelos digitales, el resultado es el siguiente:

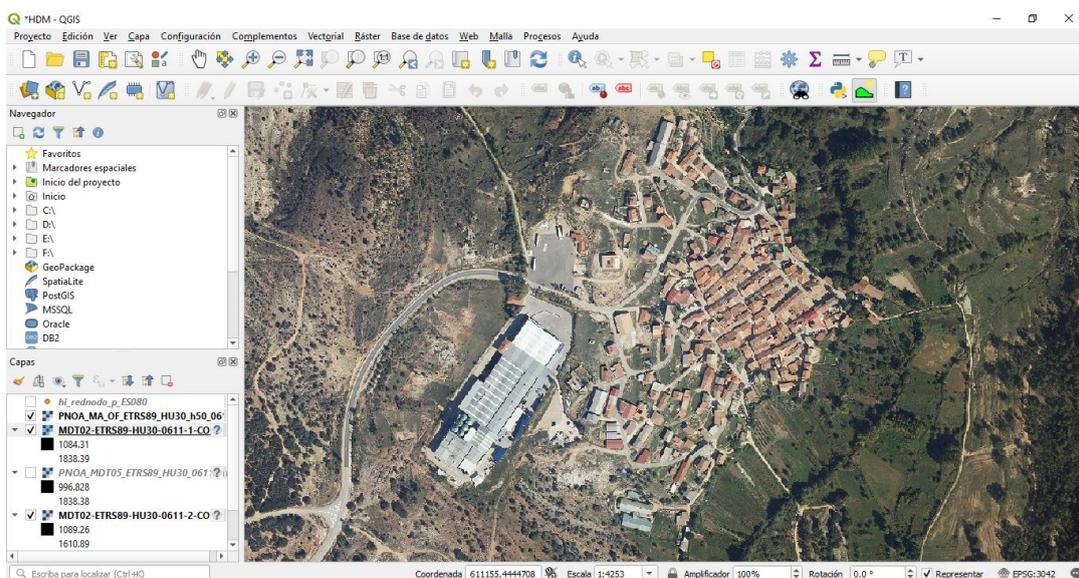


Figura 24: Visionado del modelo digital MDT02 junto a la ortofoto

Finalmente, mediante la herramienta de QGIS "terrain profile", se puede unir dos puntos del mapa y el programa nos muestra la altitud de cada uno de los puntos y la distancia entre ellos con lo que ya se podrá obtener la altura de todos los nodos de la red. A continuación se muestra una tabla con todos los nodos ya vistos anteriormente y la altitud de cada uno.

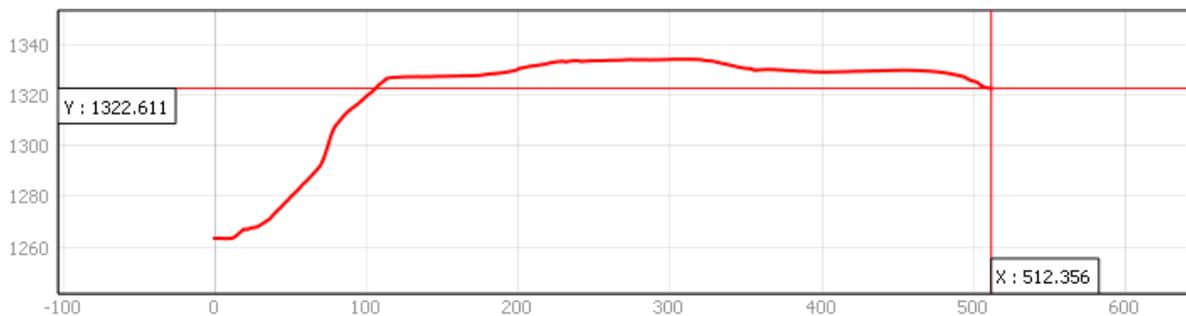
NODOS	COTA (m)
Manantial	1263.293
Nodos alrededor de la bomba	1263.293
Deposito	1322.563
1	1285.735
2	1284.783
3	1277.349
4	1273.505
5	1271.77
6	1267.722
7	1264.511
8	1265.364
9	1263.311
10	1287.331
11	1283.095
12	1279.223
13	1275.87
14	1275.118
15	1271.889
16	1268.729
17	1269.694
18	1266.453
19	1265.621
20	1264.072
21	1263.988
22	1261.749
23	1260.493
24	1259.178
25	1253.327
26	1254.98
27	1254.754
28	1254.01
29	1260.671
30	1266.758
31	1272.401
32	1277.71
33	1277.854
34	1256.335

35	1283.789
36	1280.8
37	1275.678
38	1278.767
39	1269.515
40	1269.038
41	1268.897
42	1266.14
43	1277.777
44	1268.302
45	1269.099
46	1268.477
47	1272.668
48	1271.648
49	1278.868
50	1267.07
51	1268.232
52	1266.842
53	1267.585
54	1262.998
55	1262.411
56	1259.142
57	1259.227
58	1258.778
59	1257.638
60	1260.174
61	1260.837
62	1261.491
63	1258.359
64	1257.774
65	1256.57
66	1263.745
67	1266.357
68	1267.947
69	1270.155
70	1268.702
71	1265.782
72	1272.462
73	1261.371
74	1259.726
75	1268.809
76	1270.005
77	1276.065

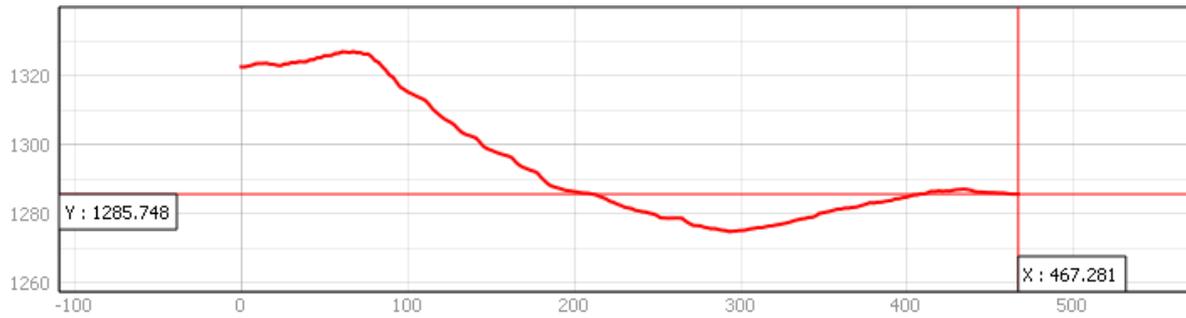
78	1276.427
79	1259.17
80	1257.108
81	1254.61
82	1254.082
83	1255.769
84	1256.639
85	1258.218
86	1257.846
87	1258.944
88	1254.496
89	1253.775
90	1252.191
91	1252.609
92	1253.487
93	1248.593
94	1259.517
95	1253.283
96	1253.713
97	1253.57
98	1249.411
99	1246.899
100	1250.814
101	1251.055
102	1247.581
103	1249.426

Tabla 3: Nodos con sus respectivas cotas

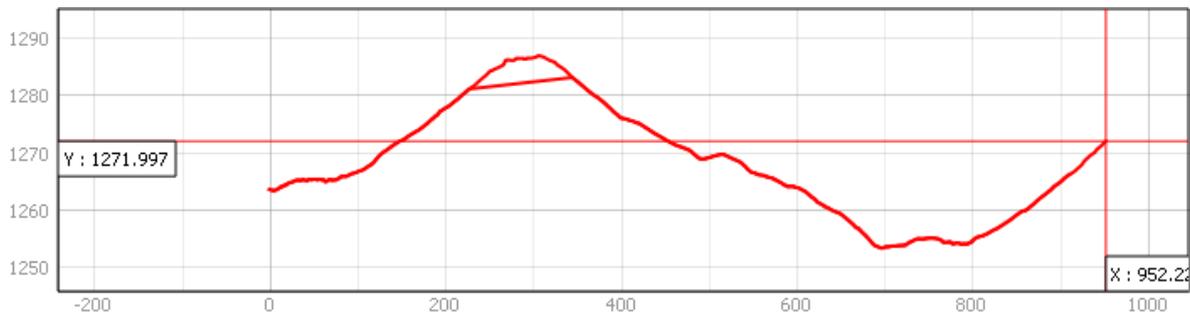
Como se puede observar, Huerta del Marquesado tiene un desnivel máximo de 40.43 metros (entre el nodo 11 y el 100, sin tener en cuenta los puntos situados fuera del municipio como el depósito o el nacimiento). Además, la herramienta también puede mostrar el perfil de dos nodos cualesquiera. A continuación se puede observar los perfiles más importantes de la instalación.



Gráfica 2: Perfil desde el manantial pasando por las bombas hasta el depósito



Gráfica 3: Perfil desde el depósito hasta el primer nodo de la red



Gráfica 4: Perfil correspondiente a la conducción principal

4.2. Cálculo de la rugosidad

A medida que pasa el tiempo de servicio de una instalación, las tuberías de esta van perdiendo la rugosidad que tenían inicialmente debido al desgaste por el paso del tiempo y a pequeñas incrustaciones debidas al funcionamiento habitual de la instalación. Esta pérdida de rugosidad respecto a la inicial provocará la disminución de la velocidad del agua al pasar por la tubería lo que disminuirá el rendimiento de la instalación. Es por ello que antes de proseguir con la introducción de datos se debe calcular la rugosidad actual de las tuberías que conforman el sistema.

Despreciando reparaciones o cambios puntuales de algunas tuberías, la red de agua de Huerta del Marquesado fue diseñada y puesta en activo alrededor de los años 70. Las tuberías introducidas eran de fibrocemento con amianto(dicho coloquialmente "uralita"), material el cual no es peligroso para la salud de las personas en su formato original pero que ya no se utiliza para este tipo de instalaciones debido a que con el paso del tiempo el material se puede deteriorar y se pueden dispersar fibras de amianto que inhaladas por un ser humano puede tener consecuencias muy dañinas para la salud.

Para el cálculo de la rugosidad utilizaremos la fórmula de Genijew (G Sotelo A. 1982) con la que se puede calcular la rugosidad aproximada de una tubería hoy en día: [5]

$$\varepsilon_t = \varepsilon_0 + \alpha * t$$

Donde:

ε_t : rugosidad del conducto después de t años en servicio (mm).

ϵ_0 : Rugosidad de la tubería (mm).

α : coeficiente dependiente del grupo en el que se clasifique el agua que se va a conducir.

t : número de años de servicio de la tubería.

La rugosidad inicial depende directamente del material del que está hecho la tubería y en este caso utilizaremos la tabla de rugosidades iniciales de Global Omnium.

MATERIAL	ϵ_0
Fundición gris	0.5
Fundición dúctil	0.06
Acero	0.03
Fibrocemento	0.025
Hierro galvanizado	0.1
Hormigón con camisa chapa	0.1
Hormigón sin camisa chapa	0.1
Hormigón pretensado	0.1
Plomo	0.0015
Polietileno	0.002
PVC no plastificado	0.02
Sin determinar	0.1

Tabla 4: Rugosidad según el material

En cuanto al coeficiente α , este dependerá del tipo de material pero también de la calidad del agua transportada. Utilizaremos la tabla que hay a continuación:

MATERIAL	α
Fundición gris	0.07
Fundición dúctil	0.04
Acero	0.02
Fibrocemento	0.03
Hierro galvanizado	0.03
Hormigón con camisa chapa	0.03
Hormigón sin camisa chapa	0.03
Hormigón pretensado	0.03
Plomo	0.03
Polietileno	0.01
PVC no plastificado	0.01
Sin determinar	0.01

Tabla 5: Coeficiente según el material

Aplicando la fórmula y seleccionando los valores marcados en azul, se obtiene el valor de 1.525 mm de rugosidad final. Este valor se introduce en epanet, de igual manera que con los valores de cota, y se aplica a todas las tuberías de la instalación.

4.3. Introducción de las longitudes y diámetros

En primera estancia, la manera más fácil de introducir las longitudes de las tuberías de toda la instalación era proceder como se había hecho con las cotas de los nodos. Mediante la herramienta "terrain profile " de QGIS, esta puede proporcionarnos la distancia entre los dos nodos con los que conecta la tubería seleccionada.



Figura 25: Icono de la herramienta "terrain profile"

Por el contrario y para poder trabajar de manera más rápida y eficaz se procedió de la siguiente manera. En primer lugar, QGIS permite la opción de exportar imágenes de los mapas con lo que se está trabajando. De esta manera se puede conseguir una imagen de Huerta del Marquesado de alta calidad (en formato .bmp) ya que el programa también te permite cambiar esta característica. A continuación, se introduce la imagen en Epanet junto a las dimensiones que representa está realmente (la cantidad de metros reales que representa la fotografía seleccionada). Mediante estos datos el programa es capaz de generar la longitud de las tuberías que se introduzcan automáticamente activando la herramienta Long-Auto.

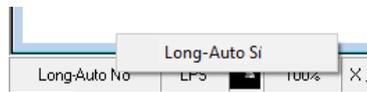


Figura 26: Herramienta Long-Auto

Finalmente, a cada tubería se le asigna el diámetro correspondiente que dependerá de su representación en el mapa de la red recibido por parte del ayuntamiento. El resultado es el siguiente:

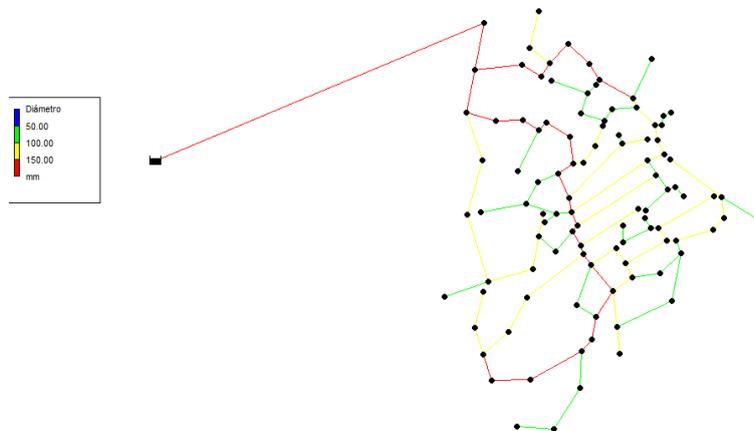


Figura 27: Esquema de la red representando los diferentes diámetros

4.4. Cálculo de las demandas base

Para poder reproducir el funcionamiento de la instalación a un nivel lo más realista posible, es necesario determinar la demanda base de agua diaria de Huerta del Marquesado. Esta demanda dependerá de múltiples y diferentes fuentes de consumo que se localizan a lo largo del municipio y las cuales tendrán su acometida propia. A continuación analizaremos los diferentes tipos de consumo para poder contabilizarlos de manera más exacta y así conseguir aplicar estos consumos a cada uno de los nudos del diseño realizado. En los planos se adjunta mapa representativo de los diferentes tipos de consumo y su localización. La fórmula que utilizaremos para los siguientes cálculos será:

$$Q(L/s) = \frac{\text{dotación} \left(\frac{L}{\text{día} * \text{cuantificación}} \right) * \text{cuantificación} (\text{dependerá de la dotación})}{24 * 3600}$$

4.4.1. Selección de las dotaciones y cuantificación de los elementos de consumo

4.4.1.1. Domicilios particulares

La demanda de agua de los domicilios particulares del municipio se calculará teniendo en cuenta la dotación aconsejada por el MOP (Ministerio de Obras Públicas) en el texto "Normas para la redacción de proyectos de Abastecimiento de Agua y Saneamiento de Poblaciones" [14].

Núcleos de población con un número de habitantes	Dotación (L/hab*día)
Menor de 1.000	100
Entre 1.000 y 6.000	150
Entre 6.000 y 12.000	200
Entre 12.000 y 50.000	250
Entre 50.000 y 250.000	300
Mayor de 250.000	400

Tabla 6: Dotación por habitante según el número de habitantes

Teniendo en cuenta que la Huerta cuenta con una población de 194 habitantes, se selecciona la dotación de 100 L/hab*día. El municipio además consta con 286 domicilios particulares en lo que tendremos en cuenta que hay 3 habitantes por cada domicilio de media, ya que como se ha comentado, el municipio ha sufrido una progresiva despoblación a lo largo del presente siglo por lo que esta consideración será suficiente para los cálculos necesarios.



Figura 28: Domicilios particulares

Por lo tanto, realizando el cálculo comentado podremos averiguar el caudal medio diario necesario para los domicilios:

$$Q = \frac{100 * 286 * 3}{24 * 3600} = 0.99306 \frac{L}{s}$$

4.4.1.2. Casas rurales

Huerta del Marquesado ha desarrollado su infraestructura turística en torno a alojamientos rurales (casas rurales y cabañas), en respuesta a un turismo minimalista que busca apartarse de circuitos trillados y del tópico turístico. Este tipo de viviendas turísticas son un gran activo para la economía de la Huerta ya que el turismo de montaña está muy solicitado en la zona tanto en invierno como en verano.

Como podemos ver en la fotografías, Huerta del Marquesado cuenta con cuatro casas rurales y un conjunto de cabañas.



Figura 29: Casas rurales "El Telar del Tío Josete" y "la Casa del Tío Perejil"



Figura 30: Casas rurales "de la Era" y "el bujedal"



Figura 31: Cabañas rurales "Aires Serranos"

A continuación se muestra un listado con todas las casas rurales y cabañas y su capacidad disponible.

Conjunto de apartamentos	Números de habitantes posible
Casa Rural "La Casa del Tío Perejil"	8
Casa Rural "El Telar del Tío Josete"	11
Casa Rural "el Bujedal"	6
Casa Rural "de la Era"	5
Cabañas rurales "Aires Serranos"	6
TOTAL	36

Tabla 7: Número de habitantes posibles de los distintos apartamentos

Para calcular la dotación de agua de este tipo de habitáculos se ha recurrido a la dotación media en alojamientos turísticos recomendada por HIDRAQUA, empresa del sector del agua y del medio ambiente que desarrolla su actividad (captación, potabilización, distribución, depuración y reutilización) en la Comunidad Valenciana. HIDRAQUA recomienda una serie de dotaciones variando según el tipo de alojamiento. [21]

Consumos medios de agua en alojamientos turísticos	
Tipo Alojamiento	Consumo medio (L/plaza*día)
Hotel 1 estrella	105
Hotel 2 estrellas	167
Hotel 3 estrellas	253
Hotel 4 y 5 estrellas	289
Apartamentos	163
Campamentos	84
Alojamientos Rurales	30

Tabla 8: Consumo medio según el tipo de alojamiento

Finalmente y teniendo en cuenta todos los aspectos comentados, se selecciona la opción más coherente con la realidad y se procede al cálculo del caudal medio diario necesario para los apartamentos rurales:

$$Q = \frac{30 * 36}{24 * 3600} = 0.01250 \frac{L}{s}$$

4.4.1.3. Oficinas

Huerta del Marquesado cuenta tan solo con un conjunto de oficinas, las que se encuentran en el interior del ayuntamiento de la localidad. Para la dotación de agua de estas utilizaremos el dato recomendado por el colegio territorial de arquitectos de Valencia [2] y por la Universidad Católica Boliviana [4] que sitúa en 50 L/hab*día la cantidad de agua necesaria.



Figura 32: Ayuntamiento

Gracias a la información obtenida del ayuntamiento, se ha podido comprobar que en las oficinas trabajan un número de 6 personas. Mediante los datos obtenidos, ya se puede calcular el caudal medio diario necesario.

$$Q = \frac{50 * 6}{24 * 3600} = 0.00347 \frac{L}{s}$$

4.4.1.4. Bares

A pesar de su menor tamaño comparado con otras localidades, Huerta del Marquesado dispone de 5 bares o establecimientos donde poder disfrutar de la sencilla y a la vez contundente gastronomía de la comarca. La mayoría de estos bares se mantienen abiertos todo el año a pesar de la reducción obvia de clientela en la época invernal que contrasta con el aumento considerable de esta en verano.

La dotación de agua que se gastará para este tipo de establecimientos será, como ya se había comentado anteriormente, la recomendada por la Universidad católica Boliviana [4], que ha diseñado una tabla en la que la dotación variará respecto a la superficie que ocupe el establecimiento.

Bares, fuentes de soda y cafeterías	
Área del local	Dotación diaria
Hasta 30 m	1,500 L
de 31 a 60 m	60 L/m ²
de 61 a 100 m	50 L/m ²
más de 100 m	40 L/m ²

Tabla 9: Dotación de bares según su superficie

Por lo tanto, se necesitará la superficie de cada uno de los bares para así realizar el cálculo con la dotación que más se adecue al local. Para ello se procede a la utilización de la sede electrónica oficial del catastro donde se permite el acceso a toda información catastral y a la edición de parcelario y donde podremos obtener las dimensiones de los bares locales [18].



Figura 33: Parcelas mostradas en el mapa catastral

Mediante el buscador de inmuebles e introduciendo el nombre del municipio, rápidamente nos aparece la separación parcelaria de toda la zona.

A continuación, se selecciona la parcela conveniente y se muestra la dimensión de la parcela separando el local de la zona de almacén o vivienda si la hay. En el caso visto ahora mismo, se puede decir que el bar seleccionado tiene 78 m^2 .

Localización	CR CARRETERA 8 16316 HUERTA DEL MARQUESADO (CUENCA)
Clase	Urbano
Uso principal	Residencial
Superficie construida	291 m ²
Año construcción	1982

PARCELA CATASTRAL	
	Parcela construida sin división horizontal
Localización	CR CARRETERA 8 HUERTA DEL MARQUESADO (CUENCA)
Superficie gráfica	164 m ²

CONSTRUCCIÓN						
Uso principal	Escalera	Planta	Puerta	Superficie m ²	Tipo Reforma	Fecha Reforma
OCIO HOSTEL.	E	00	01	63	E Reforma media	1.997
ALMACEN	E	00	02	70		
OCIO HOSTEL.	E	00	03	15		
VIVIENDA	E	01	01	128		
VIVIENDA	E	01	01	15		

Figura 34: Deconstrucción de la parcela

Por lo tanto, ya podremos obtener las dimensiones de todos los establecimientos.

Bares	Superficie (m ²)
Bar Restaurante Fuentel Gato	153
Bar Mesón Bora Bora	99
Bar Restaurante Casa del Tío Migué	167
Bar Blasmar	78
Bar de Pedro	98

Tabla 10: Superficie de cada bar



Figura 35: Bares "Fuentel Gato" y "Bora Bora"



Figura 36: Bares "Casa del Tío Migué" y "Blasmar"



Figura 37: Bar "de Pedro"

Como se puede comprobar, las dimensiones de los bares varían entre ellas por lo que cada establecimiento utilizará una dotación diferente. La dotación será de 50 L/m^2 para el bar Mesón Bora Bora, blasmar y de Pedro mientras que será de 40 L/m^2 para el bar Fuentel Gato y Casa del Tío Migué.

Teniendo en cuenta todos estos datos, ya se puede proceder al cálculo del caudal medio que necesitarán los bares.

$$Q = \frac{50 * (99 + 78 + 98) + 40 * (153 + 167)}{24 * 3600} = 0.30729 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

4.4.1.5. Fuentes públicas

Huerta del Marquesado cuenta con la posesión de cinco fuentes públicas distribuidas a lo largo de todo el municipio. Estas fuentes funcionan con una disponibilidad de 24 horas al día y la mayoría con flujo continuo (no es necesario pulsar un interruptor o botón para el funcionamiento de la fuente).



Figura 38: Fuentes del bar y del ayuntamiento



Figura 39: Fuentes de la pared y de las afueras



Figura 40: Fuente del parque

Para el cálculo de la dotación de las fuentes se ha procedido a la realización de un experimento manual para así poder obtener los datos con mayor exactitud y facilidad. Para ello se ha necesitado una garrafa de agua de 5L, un cronómetro y un embudo (para asegurar que todo el volumen de agua es introducido en la botella). Mediante estos objetos se procede a llenar el recipiente de agua y ver cuánto tarda en llenarse. Estos son los resultados:



Figura 41: Embudo y garrafa utilizadas para el experimento

Fuentes públicas	Tiempo que tarda en llenar 5L (s)
Fuente de la pared	59.475
Fuente del ayuntamiento	57.225
Fuente del parque	49.475
Fuente del bar	62.3
Fuente de las afueras	66.325

Tabla 11: Tiempo de llenado por cada fuente

Para continuar, dividiremos el volumen de 5L, constante para todas las fuentes, entre los diferentes tiempos para así poder obtener directamente la dotación de cada una de las fuentes que, obviamente, serán diferentes entre sí.

Fuentes públicas	Dotación (L/s)
Fuente de la pared	0.08407
Fuente del ayuntamiento	0.08737
Fuente del parque	0.10106
Fuente del bar	0.08026
Fuente de las afueras	0.07539

Tabla 12: Dotación calculada de cada fuente

Teniendo en cuenta los datos obtenidos gracias al experimento manual, podremos obtener el caudal necesario para abastecer las fuentes públicas.

$$Q = 0.08407 + 0.08737 + 0.10106 + 0.08026 + 0.07539 = 0.42815 \frac{L}{s}$$

4.4.1.6. Consumo animal

Huerta del Marquesado dispone también de una gran variedad de animales que ayudan a su economía local mediante la comercialización de productos como leche, queso, algodón y carne animal entre otras. En la localidad se pueden encontrar los que verás a continuación.

Animales	Cantidad
Caballos	6
Gallinas	12
Ovejas	20
Conejos	3500

Tabla 13: Cantidad de animales según la especie



Figura 42: Caballos y ovejas



Figura 43: Granja de conejos

Obviamente, estos animales tendrán diferentes necesidades y por lo tanto necesitarán diferentes cantidades de agua entre sí, lo que hará que las dotaciones varíen dependiendo del animal en cuestión. Continuando con apartados anteriores, para las dotaciones seguiremos las recomendaciones de la Universidad Católica Boliviana que nos propone las siguientes consideraciones [4]:

Animales	Dotación
Caballos	40 L/día*caballo
Gallinas	20L/día por cada 100 gallinas
Ovejas	10 L/día*oveja
Conejos	1L/día*conejo

Tabla 14: Dotación de los animales según la especie

Utilizando la información obtenida, se procede al cálculo del caudal medio necesario de agua para el consumo animal.

$$Q = \frac{40 * 6 + 12 * 0.2 + 20 * 10 + 1 * 3500}{24 * 3600} = 0.04563 \frac{L}{s}$$

4.4.1.7. Piscinas

Finalmente falta por hablar de uno de los consumos más importantes, sino el que más, de la red. Como ya es conocido, Huerta del Marquesado se localiza en el interior de la serranía de Cuenca, zona con multitud de ríos cercanos en los que está permitido el baño. Este hecho ha derivado en que a lo largo de los años no ha sido habitual la construcción de piscinas (ni municipales ni privadas) ni en Huerta del Marquesado ni en los municipios cercanos debido a que no era rentable económicamente.

Pero los tiempos cambian y la sociedad tiende a modernizarse gracias a los avances tecnológicos. Es por ello que el ayuntamiento de la Huerta cree que es la hora de dar un paso adelante y ofrecer un servicio de piscina municipal a su población.



Figura 44: Futura localización de la piscina municipal

Por otro lado, actualmente en Huerta del Marquesado hay tan solo una piscina privada, situada en el jardín de uno de los domicilios particulares del municipio y de muchas menos dimensiones que la municipal.



Figura 45: Piscina privada

Para la obtención de la dotación de las dos piscinas continuaremos siguiendo las recomendaciones de la Universidad Católica de Bolivia que nos sugiere las siguientes consideraciones [4].

Piscinas (de recirculación y de flujo continuo)	
Con recirculación de las aguas de rebose	10 L/día*m ² de proyección horizontal de la piscina
Sin recirculación de las aguas de rebose	25 L/día*m ²
Con flujo continuo de agua	125 L/h*m ²

Tabla 15: Dotación de piscinas según la recirculación de sus aguas

Además se adjunta una nota en la que se informa de que la dotación de agua para los servicios sanitarios en los desvestideros y cuartos de aseo anexos a las piscinas, se calculará a razón de 30L/día por cada m² de proyección horizontal de piscina. Esta consideración solo se tendrá en cuenta para la piscina municipal ya que la privada no tiene instalaciones de aseo debido a la proximidad a la residencia. Tanto la piscina municipal como la privada son piscinas con recirculación de las aguas por lo que se selecciona la primera opción de la tabla anterior como dotación de agua.

Finalmente, es necesario disponer de las dimensiones de cada una de las piscinas para realizar el cálculo final.

Piscinas	Longitud (m)	Amplitud (m)	Proyección horizontal (m²)
Municipal	18	8	144
Privada	5.57	2.87	16

Tabla 16: Dimensiones de las piscinas

Teniendo en cuenta estos datos, procederemos al cálculo del Q medio necesario para cada piscina. En este caso realizaremos el cálculo por separado para cada piscina ya que las dos no tienen las mismas características (la privada no dispone de servicios sanitarios) además de que las piscinas serán el único consumo que se aplicará directamente a un nudo debido a la magnitud e importancia del consumo de estas.

$$Q_{MUNICIPAL} = \frac{(30 + 10) * 144}{24 * 3600} = 0.06667 \frac{L}{s}$$

$$Q_{PRIVADA} = \frac{10 * 16}{24 * 3600} = 0.00185 \frac{L}{s}$$

4.4.2. Cálculo del $Q_{MEDIO POBLACIONAL}$ y del $Q_{MEDIO DIARIO /m}$

Después de haber realizado el cálculo de todos los caudales medios de los distintos consumos diferentes del municipio mediante las distintas dotaciones y cuantificaciones, el siguiente paso en el proceso es el de calcular el caudal medio poblacional que será la suma de todos los caudales medios calculados anteriormente excepto el de las piscinas que, como ya se ha comentado, se aplicará directamente al nodo. En la tabla siguiente podemos ver los distintos caudales calculados y el resultado buscado.

Tipo de consumo	Q_{MEDIO} (L/s)
Domicilios particulares	0.99306
Apartamentos rurales	0.01250
Oficinas	0.00347
Bares	0.30729
Fuentes públicas	0.42815
Consumo animal	0.04563
$Q_{MEDIO POBLACIONAL}$	1.79010

Tabla 17: Caudales medios de cada tipo de consumo y suma total

Continuando con el proceso, el siguiente paso es calcular el caudal medio diario por unidad de metro que se calculará dividiendo el caudal medio poblacional entre el sumatorio de todas las longitudes de la red. Estas longitudes se extraen de epanet una a una para su procedente suma.

$$Q_{MEDIO DIARIO/m} \left(\frac{L}{s * m} \right) = \frac{Q_{MEDIO POBLACIONAL} \left(\frac{L}{s} \right)}{\sum Longitudes de la red (m)} = \frac{1.79010}{4343.02} = 0.00041218 \frac{L}{s * m}$$

4.4.3. Cálculo del $Q_{MEDIO\ DIARIO/tubería}$ y $Q_{MEDIO\ DIARIO/nodo}$ o demanda base

Una vez ya tenemos calculado el $Q_{MEDIO\ DIARIO/m}$, el siguiente paso será obtener el caudal medio diario por tubería el cual se calculará multiplicando el $Q_{MEDIO\ DIARIO/m}$ por la longitud de cada una de las tuberías diferentes de la red.

$$Q_{MEDIO\ DIARIO/tubería} \left(\frac{L}{s}\right) = Q_{MEDIO\ DIARIO/m} \left(\frac{L}{s * m}\right) * Longitud_{tubería\ i}(m)$$

Finalmente, procederemos al cálculo del caudal medio diario por nodo que consistirá en dividir el $Q_{MEDIO\ DIARIO/tubería}$ de cada tubería entre los dos nodos a los cuales está unida. De esta manera, cada nodo tendrá como demanda base la suma de la mitad de los $Q_{MEDIO\ DIARIO/tubería}$ de todas las tuberías a las cuales esté conectado. La suma de todos los $Q_{MEDIO\ DIARIO/nodo}$ deberá ser igual al $Q_{MEDIO\ POBLACIONAL}$. A continuación podemos ver dos tablas, una con los $Q_{MEDIO\ DIARIO/tubería}$ y otra con $Q_{MEDIO\ DIARIO/nodo}$ o mejor dicho, las demandas base de cada nodo.

Tuberías	Longitud (m)	$Q_{MEDIO\ DIARIO/tubería}$ (L/s)	Nodos	$Q_{MEDIO\ DIARIO/nodo}$ (L/s)
1	61.98	0.02555	1	0.01277
2	61.74	0.02545	2	0.03719
3	29.26	0.01206	3	0.01875
4	20.24	0.00834	4	0.01020
5	34.95	0.01441	5	0.01825
6	38.42	0.01584	6	0.01512
7	24.37	0.01004	7	0.01294
8	50.36	0.02076	8	0.01540
9	56.76	0.02340	9	0.02462
10	39.57	0.01631	10	0.03355
11	35.12	0.01448	11	0.01539
12	24.75	0.01020	12	0.01234
13	13.97	0.00576	13	0.02027
14	36.18	0.01491	14	0.01034
15	35.93	0.01481	15	0.01486
16	23.67	0.00976	16	0.01456
17	35.2	0.01451	17	0.01791
18	19.28	0.00795	18	0.03173
19	17.99	0.00742	19	0.03698
20	9.95	0.00410	20	0.03092
21	21.91	0.00903	21	0.01377
22	11.46	0.00472	22	0.02529
23	16.9	0.00697	23	0.02486
24	44.75	0.01844	24	0.03229
25	40.94	0.01687	25	0.03374
26	29.7	0.01224	26	0.02091
27	20.31	0.00837	27	0.01031

28	76.36	0.03147	28	0.02950
29	51.03	0.02103	29	0.02625
30	35.22	0.01452	30	0.01778
31	33.36	0.01375	31	0.02404
32	49.51	0.02041	32	0.01708
33	56.35	0.02323	33	0.01020
34	66.45	0.02739	34	0.01161
35	73.93	0.03047	35	0.02893
36	91.99	0.03792	36	0.03419
37	59.86	0.02467	37	0.11055
38	61.08	0.02518	38	0.01234
39	44.21	0.01822	39	0.02170
40	29.91	0.01233	40	0.02153
41	30.37	0.01252	41	0.00616
42	34.94	0.01440	42	0.01346
43	59.62	0.02457	43	0.01229
44	11.04	0.00455	44	0.00824
45	28.94	0.01193	45	0.01161
46	27.38	0.01129	46	0.00564
47	28.02	0.01155	47	0.01248
48	32.53	0.01341	48	0.02784
49	60.42	0.02490	49	0.01245
50	42.16	0.01738	50	0.01678
51	19.44	0.00801	51	0.00401
52	19.84	0.00818	52	0.02954
53	99.48	0.04100	53	0.00221
54	10.72	0.00442	54	0.00869
55	33.16	0.01367	55	0.03932
56	122.34	0.05043	56	0.02005
57	47.63	0.01963	57	0.00841
58	40.82	0.01683	58	0.00527
59	8.85	0.00365	59	0.00345
60	16.72	0.00689	60	0.00869
61	20.82	0.00858	61	0.00845
62	21.35	0.00880	62	0.01300
63	19.63	0.00809	63	0.00433
64	9.08	0.00374	64	0.00472
65	11.95	0.00493	65	0.00226
66	10.97	0.00452	66	0.01625
67	34.36	0.01416	67	0.01020
68	12.77	0.00526	68	0.01029
69	31.74	0.01308	69	0.01232
70	17.74	0.00731	70	0.01903

71	32.19	0.01327	71	0.00312
72	27.59	0.01137	72	0.01023
73	15.13	0.00624	73	0.02516
74	49.62	0.02045	74	0.01841
75	122.08	0.05032	75	0.02960
76	89.33	0.03682	76	0.01978
77	92.29	0.03804	77	0.01765
78	51.32	0.02115	78	0.01007
79	44.65	0.01840	79	0.01778
80	36.79	0.01516	80	0.01287
81	48.87	0.02014	81	0.02179
82	55.45	0.02286	82	0.01944
83	30.82	0.01270	83	0.02329
84	39.56	0.01631	84	0.01347
85	22.91	0.00944	85	0.00314
86	61.48	0.02534	86	0.01285
87	20.74	0.00855	87	0.00441
88	9.13	0.00376	88	0.01714
89	15.24	0.00628	89	0.01653
90	40.97	0.01689	90	0.01466
91	21.4	0.00882	91	0.00991
92	83.16	0.03428	92	0.03522
93	12.1	0.00499	93	0.01253
94	50.11	0.02065	94	0.01712
95	21.01	0.00866	95	0.01824
96	27.08	0.01116	96	0.01557
97	60.78	0.02505	97	0.02488
98	83.06	0.03424	98	0.03335
99	29.98	0.01236	99	0.00727
100	21.36	0.00880	100	0.02944
101	37.16	0.01532	101	0.02251
102	38.41	0.01583	102	0.02285
103	17.98	0.00741	103	0.00991
104	48.04	0.01980	TOTAL	1.79010
105	35.27	0.01454		
106	78.52	0.03236		
107	64.34	0.02652		
108	46.48	0.01916		
109	62.76	0.02587		
110	48.11	0.01983		
TOTAL	4343.02	1.79010		

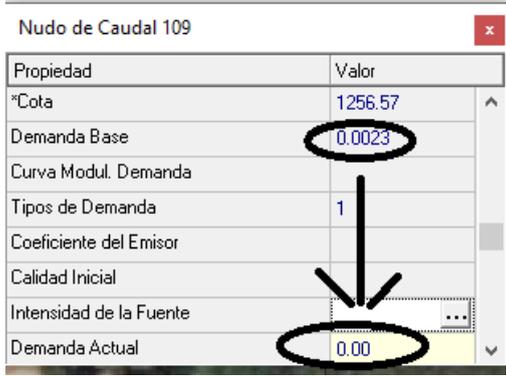
Tabla 19: Caudales medios
por nodo de cada nodo

Tabla 18: Caudales medios por tubería de cada tubería

Para finalizar, cabe recordar que a las demandas base de los nudos 37 y 54 se les ha añadido el consumo de las dos piscinas, la municipal y privada respectivamente.

4.4.4. Cambio de unidades de las demandas base

Analizando las demandas base de todos los nodos se puede observar que hay algunas realmente reducidas, ya que pueden estar unidas a solo una tubería y además esta puede ser relativamente pequeña por lo que no es de extrañar este suceso. El problema surge cuando epanet trabaja con un número limitado de decimales, número que no es suficiente para reflejar la magnitud de la demanda base en algunos casos puntuales. Ocurre que epanet considera el número tan pequeño que directamente trunca y lo convierte en 0.



Propiedad	Valor
*Cota	1256.57
Demanda Base	0.0023
Curva Modul. Demanda	
Tipos de Demanda	1
Coefficiente del Emisor	
Calidad Inicial	
Intensidad de la Fuente	..
Demanda Actual	0.00

Figura 46: Demostración del error por unidades

Es por esto que para poder trabajar de una manera adecuada y más exacta, se procede al cambio de unidades del caudal predeterminadas por epanet. Al cambiar L/s a L/min, las cifras aumentaron su tamaño y ya no hubo ningún problema.

4.5. Introducción de la válvula reductora

Hasta ahora, el diseño realizado no ha tenido en cuenta ningún elemento que no fuera un nodo o una tubería pero cabe recordar que los mapas iniciales otorgados por el ayuntamiento nos posicionaban también una válvula reductora de caudal que se situaba casi al principio de la red.

Antes de introducirla en la red, se procede a simular el modelo y como se puede comprobar, la introducción de esta válvula es totalmente necesaria ya que las presiones en el conjunto de la red y más específicamente, en los puntos más bajos, son excesivamente altas.

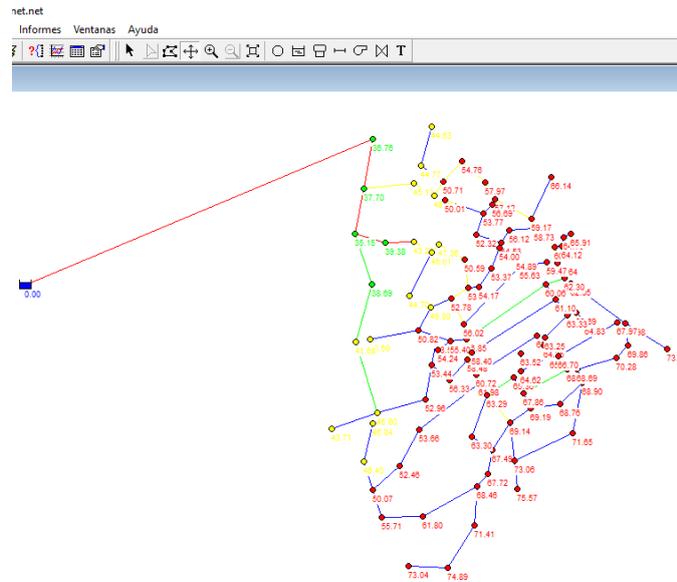


Figura 47: Mapa de la red antes de colocar la válvula reductora de presión

Finalmente, introducimos la válvula reductora con los valores de consigna establecidos

Válvula reductora	
Diámetro	50 mm
Presión aguas abajo de la válvula	2 bar
	20.4 mca

Tabla 20: Características de la válvula reductora

4.6. Asignación de la curva de modulación

Una de las principales características de las poblaciones es la variabilidad de los consumos, no solo en agua, sino también en otro tipo de necesidades como comida, sueño... Un domicilio particular no tiene un consumo de agua constante a lo largo del día. Este consumo variara dependiendo las horas a las que los habitantes se duchen, rieguen, frieguen, laven la ropa, etc. Los consumos medios diarios, en este punto del estudio son constantes, eso supondría que un abonado de la red consume la misma cantidad de agua tanto a las 4 de la mañana como a las 6 de la tarde, cosa que se desvía de la realidad.

Es por ello que, para asemejar la red lo máximo posible a un punto de funcionamiento habitual, es necesaria una curva de modulación que pueda establecer esa variabilidad de consumo de agua a lo largo del día. Esta curva tendrá en consideración la fluctuación de los consumos alrededor de un valor medio (la demanda base) y reducirá o aumentará la demanda de agua en función de las horas del día mediante la utilización de una serie de coeficientes.

Para nuestro estudio tan solo utilizaremos una curva de modulación ya que esta está pensada para la época estival la cual es la situación más desfavorable por motivos asociados al calor de la época y la aglomeración de gente.

Para realizar la suposición de los coeficientes para la curva de modulación nos apoyaremos en la Norma UNE EN 805-2000 [20] la cual establece que, cuando no se disponga de mejor información, se puede estimar que el factor multiplicador para la hora punta sea más de dos veces la demanda diaria media para una población inferior a 2.000 habitantes. Teniendo en cuenta esta consideración y suponiendo coherentemente el factor del resto de horas que no son punta, se diseña esta curva de modulación la cual se introduce en epanet para todos los nodos de la red.



Figura 48: Curva de modulación

4.7. Introducción del depósito de compensación

Como ya se había comentado anteriormente, hasta este punto del diseño la red ha estado funcionando con un embalse en el lugar donde debería estar el depósito. Llegados a este punto en el que la instalación ya funciona perfectamente es hora de introducir el depósito de compensación.

Se introduce el depósito en epanet en el lugar donde estaba el embalse ficticio junto a los datos necesarios que son los que se ven a continuación (la altura total y el volumen se han añadido a la tabla a pesar de no ser necesarios para epanet).

Depósito de compensación	
Características principales	Valores
Altura inicial	0.6 metros
Altura mínima	0.5 metros
Altura máxima	3.9 metros
Altura total	4 metros
Diámetro	8.754 metros
Volumen	240.748 m ³
Cota	1322.563 metros

Tabla 21: Características del depósito

4.8. Introducción de la bomba

Continuando con el proceso, es hora de introducir otro de los elementos más importantes de la instalación. La bomba consigue impulsar el caudal suficiente a la altura necesaria desde el manantial hasta llegar al depósito de compensación. Además esta se encuentra en una caseta a tan solo 10 metros del manantial y a la misma cota que este. El ayuntamiento informó de que esta trabaja 6h al día, de 00:00 a 06:00 para así aprovechar las horas valle de consumo eléctrico más barato.

Desgraciadamente, ha sido imposible obtener más información de la bomba por lo que para poder reflejar el funcionamiento de esta se ha tenido que suponer su curva motriz además de algunas consideraciones necesarias que se explican a continuación.

En primer lugar, es conocido que Huerta del Marquesado consume diariamente 170.165 m^3 , por lo tanto, se calcula el caudal necesario para abastecer ese volumen en el tiempo de funcionamiento de la bomba.

$$Q_{BOMBA} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = \frac{V(\text{m}^3)}{t(\text{s})} = \frac{170.165}{6 * 3600} = 0.00788 \text{ m}^3/\text{s}$$

Teniendo en cuenta este dato y para facilitar la búsqueda de la curva de la bomba, supondremos que $Q_{bomba} = 0.01 \text{ m}^3/\text{s}$. A continuación, se debe calcular la altura resistente (H_r) que tendrá que superar la bomba y para la cual es necesario el caudal calculado. Se utilizará la siguiente fórmula [12].

$$H_r = H_g(m) + h(m) + \frac{8 * f * L(m)}{\pi^2 * g \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right) * D^5(m)} * Q_{BOMBA}^2 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

Donde:

H_g : Desnivel geométrico (diferencia de cotas entre el manantial y el depósito)

h : Profundidad de la bomba dentro del pozo (en este caso es 0)

f : Factor de fricción (se utilizará $f=0.02$)

L : Longitud de la tubería que une el manantial y el depósito

g : Aceleración de la gravedad

D : Diámetro de la tubería

Sustituyendo las variables:

$$H_r = (1322.563 - 1263.293) + \frac{8 * 0.02 * 516.008}{\pi^2 * 9.81 * 0.15^5} * 0.01^2 = 60.393 \text{ metros}$$

Teniendo ya la H_r y Q_{BOMBA} , el siguiente paso es acudir a un catálogo de bombas para así seleccionar la más conveniente (en este caso, tan solo se necesita la curva ya que la bomba ya existe realmente solo que se desconocen sus características). En este caso utilizaremos el configurador GRUNDFOS [19].

Dimension. rápido | Dimension. avanzado por aplicación | Guía de selec.

Introduzca punto de trabajo:

Caudal (Q)*: 36 m³/h

Altura (H)*: 60.39 m

Número de bombas: 1

De las cuales: número de bombas en reposo: 0

Selec. dimensionam. por:

Dimension. por aplicación

Aumento de presión: [dropdown]

Diseño preferido: Bombas [dropdown]

Dimension. por diseño bomba

Dimension. por familia bomba

EMPEZAR DIMENSIONAM.

Figura 49: Página de inicio de GRUNDFOS

PRODUCTOS ADECUADOS (8)

Acciones conjuntas: EXPORTAR | AÑADIR COMPARAT. | Dimension. tabla: Mostrar ancho total

	Producto n.º	Nombre de producto	Indicador de stock	Precio de venta [EUR]	MPG	Coste del ciclo de vida [EUR/10 años]	Fases	U [V]	PZ [kW]	Eficiencia IE	Tamaño de con. de salida	Funcionamiento máx. [bar]
<input type="checkbox"/>	99102486	NBE 32-200/219	Producto no disponible en stock	8.306,00	22	89237	3	380-500	11	IE5	DN 32	16
<input type="checkbox"/>	99099633	NBGE 50-32-200/219	Producto no disponible en stock	8.356,00	22	89287	3	380-500	11	IE5	DN 32	16
<input type="checkbox"/>	99099262	NKE 32-200/219	Producto no disponible en stock	9.673,00	22	90604	3	380-500	11	IE5	DN 32	16
<input type="checkbox"/>	99097168	NKGE 50-32-200/219	Producto no disponible en stock	9.673,00	22	90604	3	380-500	11	IE5	DN 32	16
<input type="checkbox"/>	99539639	NKE 32-200/219	Producto no disponible en stock	10.659,00	22	91590	3	380-500	11	IE5	DN 32	16
<input type="checkbox"/>	99102517	NBE 40-250/211	Producto no disponible en stock	8.422,00	22	97709	3	380-500	11	IE5	DN 40	16
<input type="checkbox"/>	99099693	NBGE 65-40-250/211	Producto no disponible en stock	8.545,00	22	97832	3	380-500	11	IE5	DN 40	16
<input type="checkbox"/>	99097194	NKGE 65-40-250/211	Producto no disponible en stock	10.248,00	22	99535	3	380-500	11	IE5	DN 40	16

Figura 50: Selección de la bomba del catálogo

Introduciendo los datos, se selecciona la primera opción y nos aparece su curva característica de la cual se sacan 5 puntos que se introducen en el editor de curvas de comportamiento de epanet y se aplican a nuestra bomba.

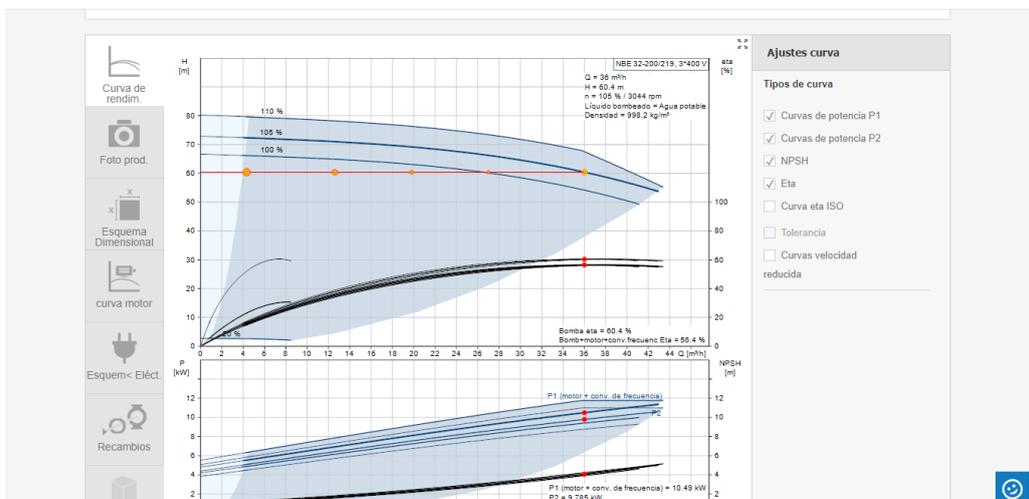


Figura 51: Curva de la bomba seleccionada

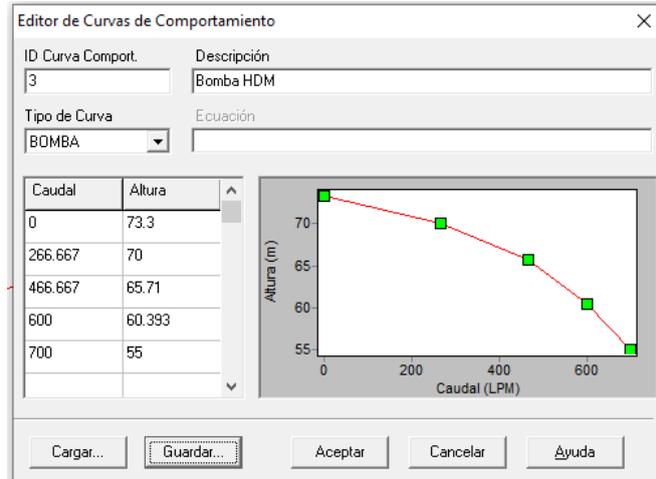


Figura 52: Curva de la bomba introducida en epanet

4.9. Introducción de los diferentes elementos de regulación externos al municipio

Para poder reflejar el funcionamiento de la instalación lo máximo posible es necesaria la introducción de distintos tipos de válvulas que aseguran el funcionamiento deseado y pueden evitar situaciones de corte de suministro [6].

4.9.1. Válvulas de corte

La instalación debe llevar válvulas de corte a los dos lados de la bomba por si fuera necesario cortar el suministro de agua por motivos de mantenimiento o directamente de cambio por otra nueva. Por otro lado también se debe colocar una válvula de corte entre la bomba y el pozo por si fuera necesario hacer reparaciones en toda la red y por lo tanto cortar el suministro desde la fuente del agua. Finalmente también se colocan válvulas de corte a los lados del depósito por la misma razón anterior.

Epanet no dispone de la opción para introducir este tipo de válvulas pero, mediante la opción "Estado inicial" de la sección de características de la tubería, se puede forzar a que la tubería este siempre cerrada lo que simularía a la perfección este tipo de válvulas.

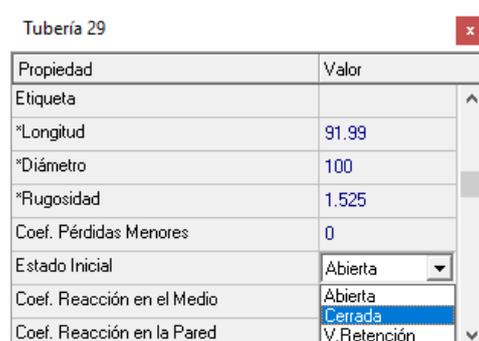


Figura 53: Tubería de estado inicial "cerrada"

4.9.2. Válvula antirretorno

La instalación debe llevar una válvula antirretorno aguas abajo de la bomba para evitar daños en ella causados por posibles golpes de ariete. Además, se debe colocar otra aguas arriba del depósito para evitar una inundación del circuito provocada por un fallo de la bomba.

Para simular este comportamiento en epanet se ha colocado una única válvula antirretorno en la tubería que une la bomba con el depósito. Para ello se debe activar la opción "Válvula de retención" en la pestaña "Estado inicial" de la tubería correspondiente (misma pestaña que la fotografía anterior).

4.9.3. Válvula reguladora de caudal

Finalmente, será conveniente colocar una válvula reguladora de caudal aguas abajo de la bomba para así poder obtener un caudal uniforme de esta en todas sus horas de funcionamiento ya que sino el caudal de la bomba puede no ser suficiente para el llenado del depósito o por el contrario ser excesivamente alto. De esta manera evitaremos fluctuaciones en el caudal y se mantendrá todo el tiempo constante.

En este caso, epanet si permite la opción de introducir este tipo de válvula. La consigna que se da es de 500 Lpm equivalente a $0.00833 \text{ m}^3/\text{s}$, superior al caudal mínimo necesario de $0.00788 \text{ m}^3/\text{s}$.

5. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LA RED

En el presente apartado se tratará de observar el comportamiento hidráulico de la red después de un ciclo de funcionamiento de 24 horas y se analizarán las variables más importantes como son los caudales que circulan por la tuberías, las presiones en los nodos, las velocidades del agua a lo largo de la instalación y la pérdida de carga.

5.1. Estudio de los caudales de la red

El análisis del caudal que circula por las diferentes conducciones de la instalación es una de las variables que más hay que valorar ya que un caudal excesivo en alguna de estas podría provocar roturas indeseadas.

Para este estudio se tendrá en cuenta las horas de mayor consumo que se tratan de, por un lado, las 9 y 10 de la mañana, y por otro lado, las 19 y 20 de la tarde. Se selecciona las 09:00. A continuación se puede observar una fotografía de la distribución de caudales diferenciada por distintos colores.

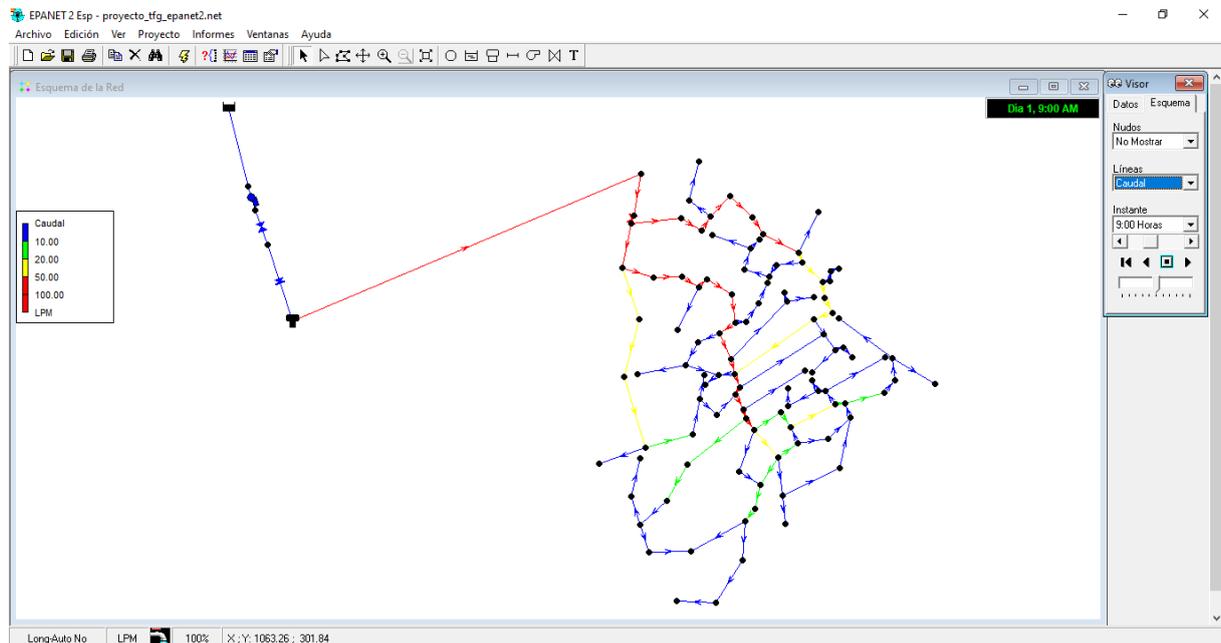
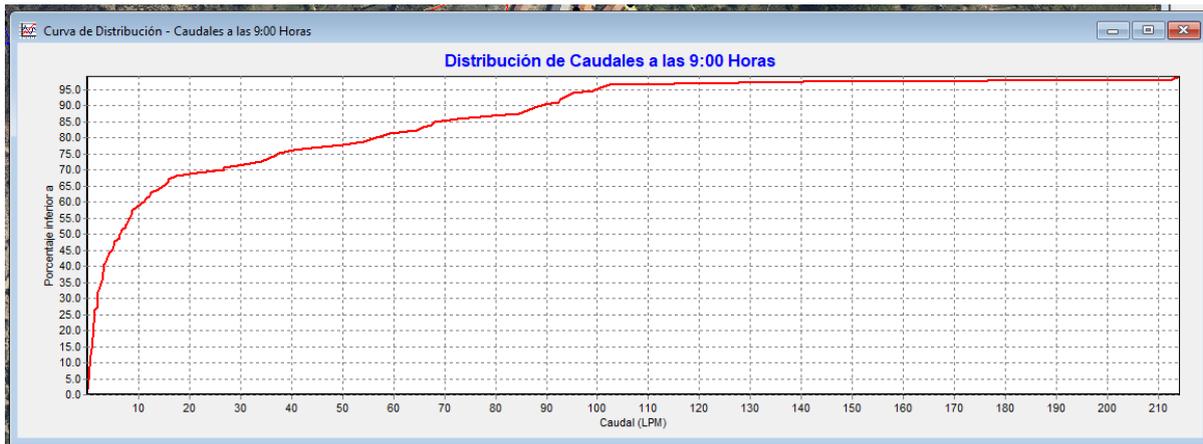
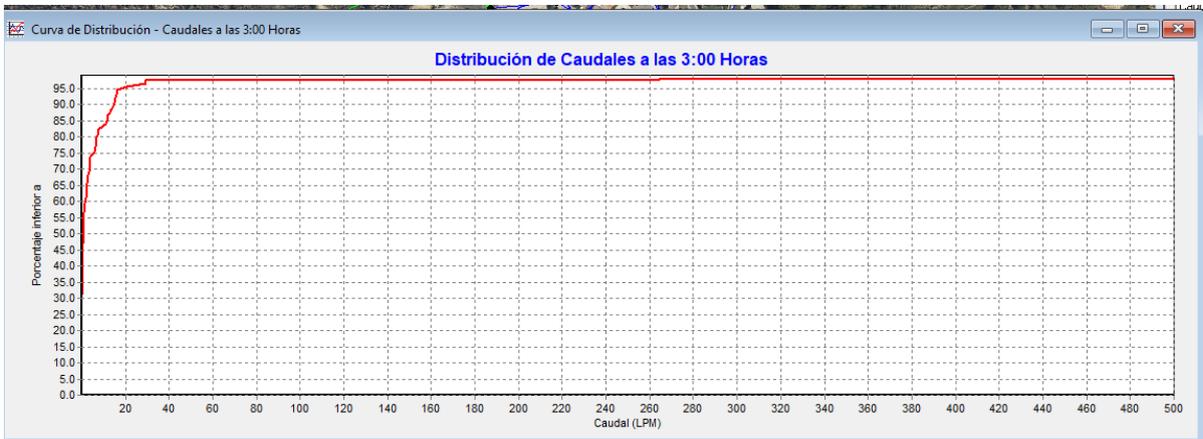


Figura 54: Distribución de caudales a la hora de mayor consumo

Como se puede observar, la mayor cantidad de agua circula por la conducción principal, hecho totalmente normal ya que esta es la de mayor diámetro y además, atraviesa toda la población. A continuación se muestra la distribución de caudales a la hora de mayor (09:00) y menor consumo (03:00).

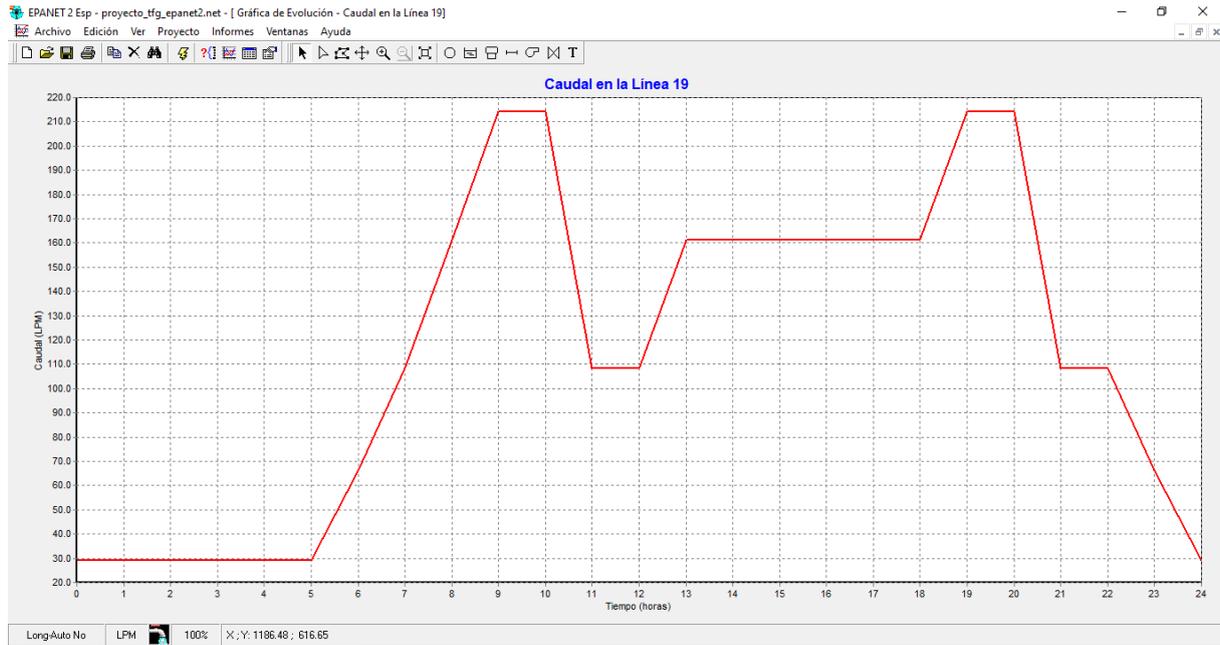


Gráfica 5: Distribución de caudales a las 09:00



Gráfica 6: Distribución de caudales a las 03:00

En la hora de mayor consumo el 90% de las conducciones transportan un caudal inferior a 90 L/min y un 60% menos de 10 L/min. Esto significa que solo el 10% de las tuberías transportan más de 90L/min, lo que serían unos 1.5 L/s, donde además la tubería que trasiega más caudal llega a la cifra de 212.63 L/min, alrededor de 2 L/min menos que la arteria principal (conexión del depósito con el municipio). Por otro lado, a la hora de menos consumo el 95% de las conducciones transportar un caudal inferior a 20L/min y alrededor del 85% menos de 10L/min donde la tubería con el caudal máximo transporta 29.09 L/min. Como se puede observar, la diferencia de caudales de la hora de máximo consumo frente a la de mínimo consumo es notable. Por lo general, la instalación no trasiega grandes caudales debido obviamente al tamaño del municipio y a su población.



Gráfica 7: Evolución del caudal en la tubería que más caudal trasiega

5.2. Estudio de las presiones de la red

En un estudio de la red de abastecimiento de una población no puede faltar el análisis de la presión, la variable más importante de la instalación. La presión es el factor que puede decantar el buen funcionamiento o el mal funcionamiento de cualquier red. Presiones de funcionamiento excesivas pueden causar golpes de ariete o roturas, lo que puede desencadenar una serie de fugas que reducirían considerablemente el rendimiento de la instalación y podrían ocasionar inundaciones o demás situaciones desaconsejables. Por otro lado, una presión excesivamente baja puede ocasionar el incumplimiento de los consumos con su consiguiente no garantía de suministro a los abonados. Tener el control de la presión a lo largo de toda la red es una necesidad vital para el buen funcionamiento de esta.

En Huerta del Marquesado, la diferencia de cota del punto más alto al más bajo es realmente notable por lo que el desnivel existente será el principal factor que condicionará los valores de presión en los nudos. Es por ello que como se puede observar a continuación, las presiones a la hora de máximo caudal y mínimo caudal son prácticamente iguales.

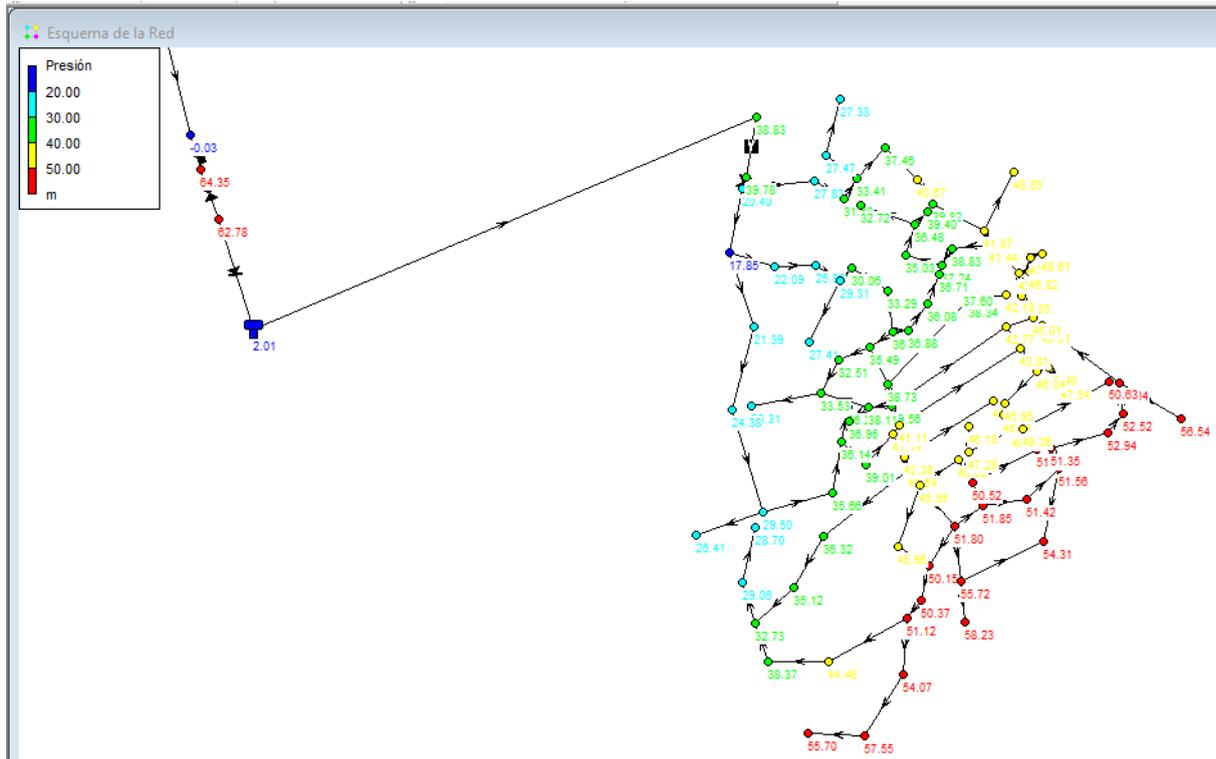


Figura 55: Esquema de presiones a la hora de menor consumo

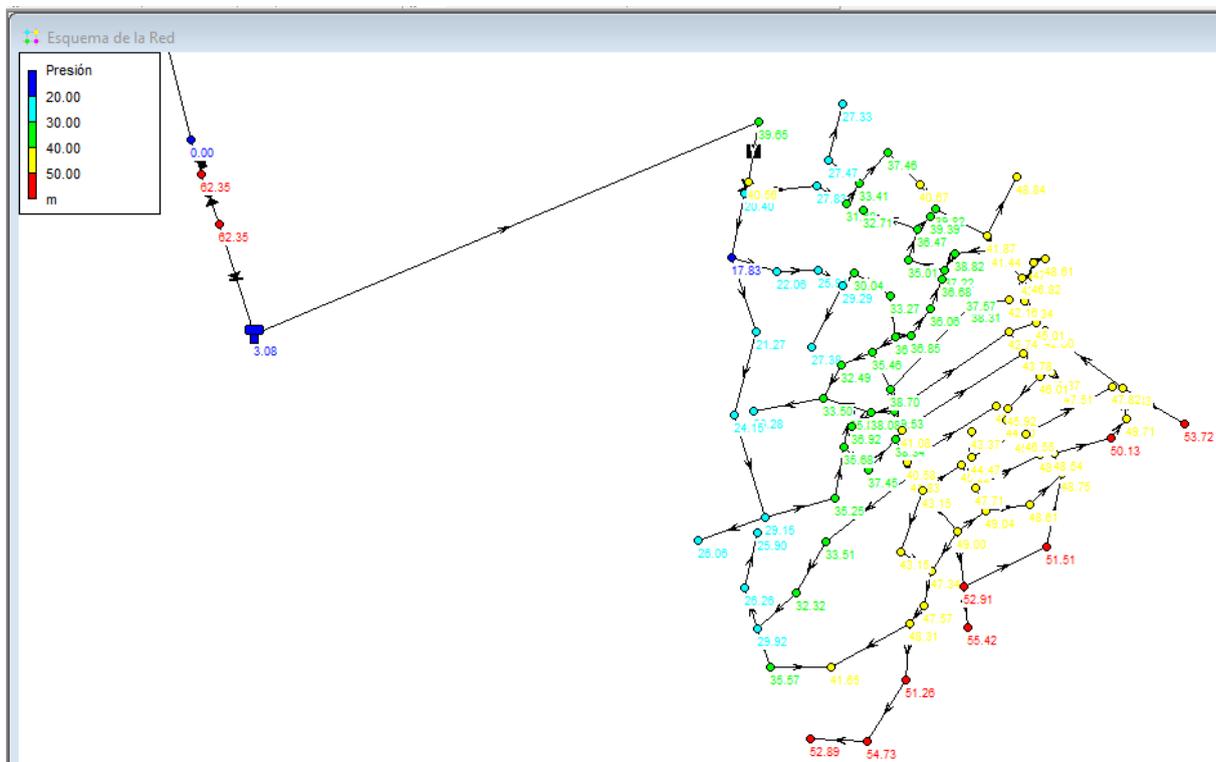
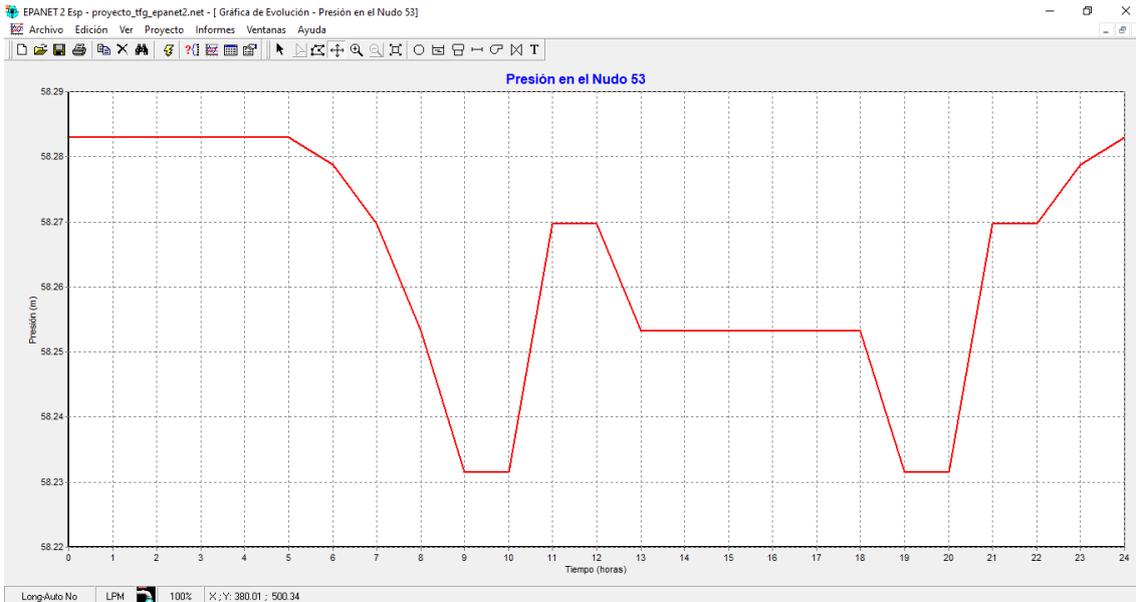


Figura 56: Esquema de presiones a la hora de mayor consumo

Como se puede observar, las presiones mínimas aparecen en las horas de máximo consumo e y viceversa. La mínima presión se encuentra en el nudo 11, aguas abajo de la válvula reductora, con un valor de 17,83 mca, ligeramente superior a la presión de servicio mínima establecida por el Real Decreto 314/2006 [17] la cual es de 15 mca. Por lo tanto en principio, la presión en referencia a los valores mínimos es adecuada. Por otro lado, la máxima presión se localiza en el nudo 99 con un valor de 58.23 mca, ligeramente por encima del valor establecido por el Real Decreto 314/2006 como máximo que corresponde con 50 mca. En este caso, son hasta 21 los nodos que sobrepasan la presión mínima ya que son los nodos que están en la parte más baja de la localidad. Por lo tanto, como veremos más adelante, sería aconsejable la instalación de una válvula reductora de presión.

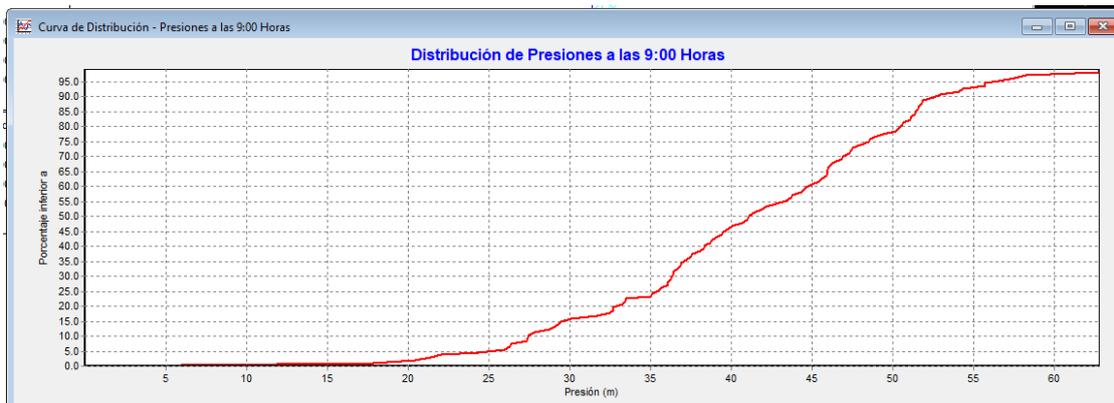
Nodos	Presión (mca)
25	51.8
26	50.15
27	50.37
28	51.12
81	50.52
82	51.05
88	50.63
89	51.35
90	52.94
91	52.52
92	51.64
93	56.64
95	51.85
96	51.42
97	51.56
98	55.72
99	58.23
100	54.31
101	54.07
102	57.55
103	55.7

Tabla 22: Nodos que sobrepasan la presión máxima

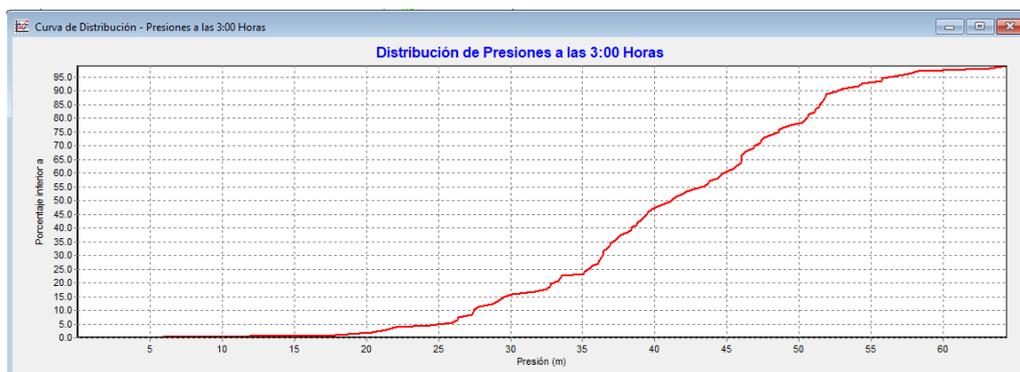


Gráfica 8: Evolución de la presión en el nodo que mayores presiones soporta

A continuación se pueden observar las gráficas de la distribución de presiones a las horas de máximo y mínimo consumo.



Gráfica 9: Distribución de presiones a las 09:00



Gráfica 10: Distribución de presiones a las 03:00

Como se puede observar, las diferencias entre las dos gráficas son escasas. Generalmente, el 60% de las conducciones están por debajo de los 45 mca y tan solo el 5% está debajo de 25 mca.

5.3. Estudio de las velocidades de la red

Otra de las variables que tendremos en cuenta en este estudio es la velocidad la cual tiene relación directa con el caudal que trasiega la tubería y el diámetro de esta. Una tubería por la que circule un alto caudal o que posea un diámetro demasiado pequeño puede generar velocidades excesivamente altas que podrían provocar cuellos de botella o demás fallos estructurales. En la siguiente fotografía podemos ver un esquema de velocidades de la instalación.

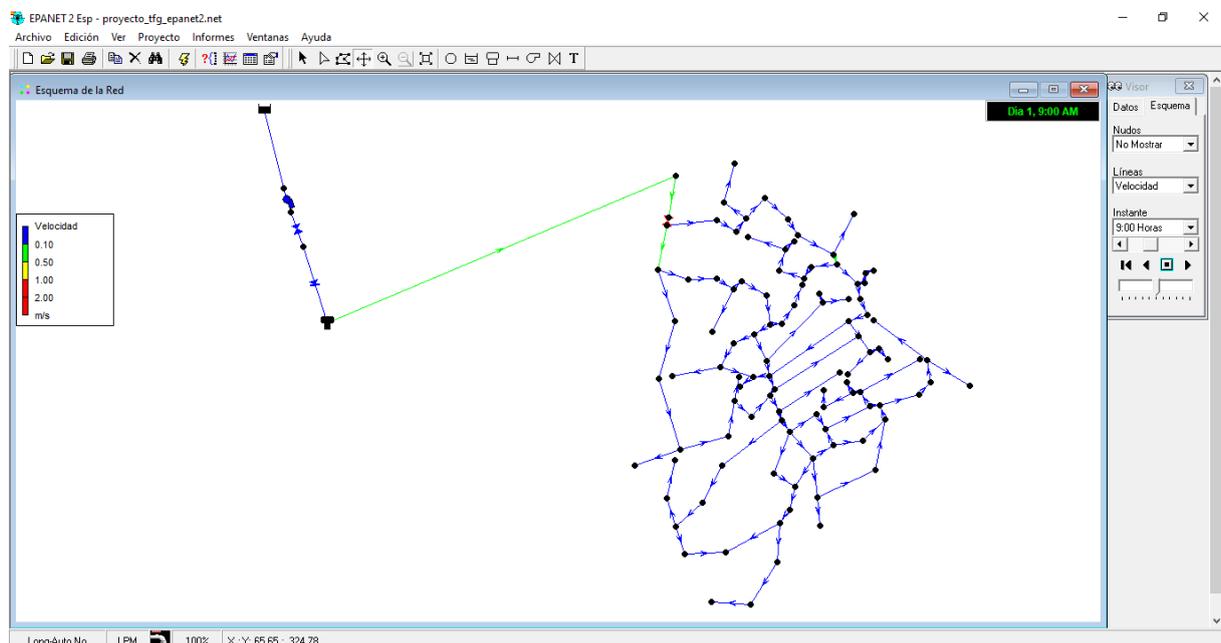


Figura 57: Esquema de velocidades a la hora de mayor consumo

Como se puede observar, la mayor parte de la instalación cuenta con velocidades menores a 0.5 m/s mientras que el punto de velocidad más alta se sitúa en la válvula reductora de caudal registrándose una velocidad de 1.80 m/s, valor que sigue siendo bastante reducido y no supone ningún peligro para la red.

5.4. Análisis de la pérdida de carga

La pérdida de carga en una tubería refleja la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce [15]. Esta variable se mide en mca/km y tiene mucha relación con la velocidad y la rugosidad de la canalización.

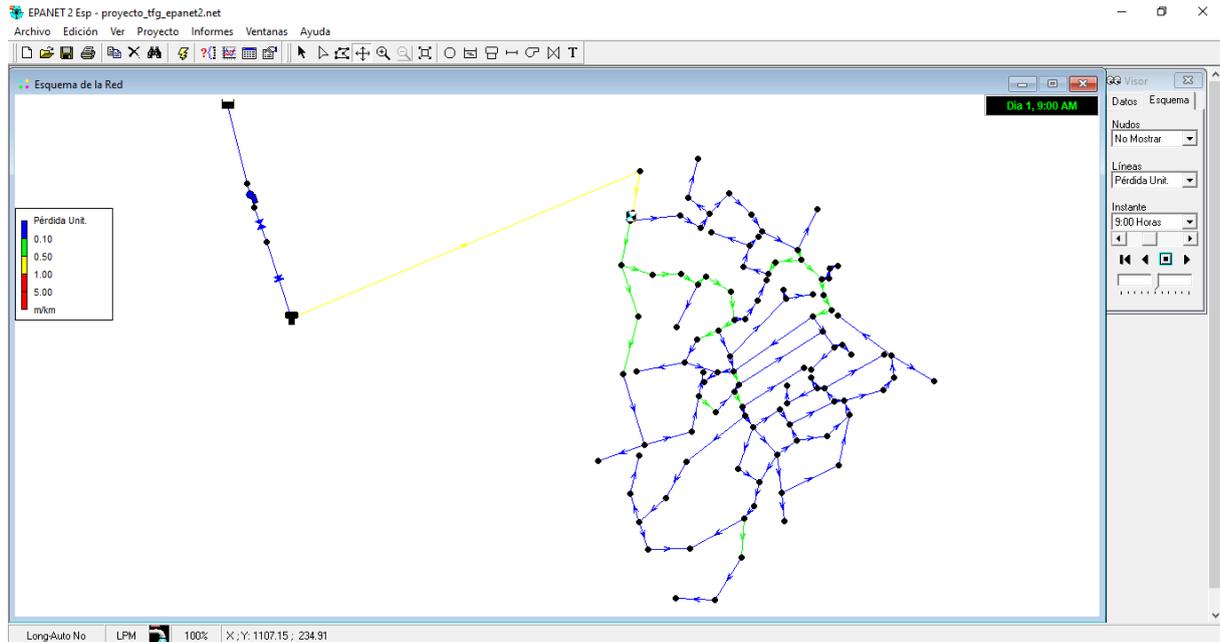


Figura 58: Esquema de pérdida unitaria a la hora de mayor consumo

Como se puede ver en la fotografía, la instalación de Huerta del Marquesado apenas cuenta con un par de conducciones que superan los 0.55 mca/km, muy alejada de los 5 mca/km que ya representarían una pérdida excesiva. Las canalizaciones con pérdidas mayores se deben a la alta rugosidad de las tuberías debido a su ya comentada antigüedad.

5.5. Propuestas de mejora

A continuación se procede a explicar las mejoras que se han propuesto a partir de los resultados obtenidos por el análisis de la red de Huerta del Marquesado.

5.5.1. Caudalímetros

Una de las principales dificultades para la realización de este proyecto ha sido sin duda la falta de datos en referencia a los consumos. Estos datos se han sustituido de manera exhaustiva mediante el cálculo de las dotaciones de todos los diferentes consumos que había en la localidad pero, a pesar de ello, no se puede negar que la precisión de los datos hubiera sido mayor si se hubiera podido contabilizar el volumen consumido por la red en un periodo de tiempo designado.

Es por ello que como mejora para la red se ha pensado en la colocación de diversos caudalímetros para que de esta manera se pueda contabilizar el volumen de entrada a los diferentes sectores de la red y así, poder localizar rápidamente posibles fugas y llevar a cabo la reparación en un intervalo de tiempo menor que evite problemas serios de abastecimiento.

En primer lugar, es necesario realizar una sectorización de la red ya que actualmente está representaría una red mallada en la que la colocación de caudalímetros no aportaría ningún dato relevante. Para ello se ha decidido cerrar las dos tuberías que se pueden ver a continuación.

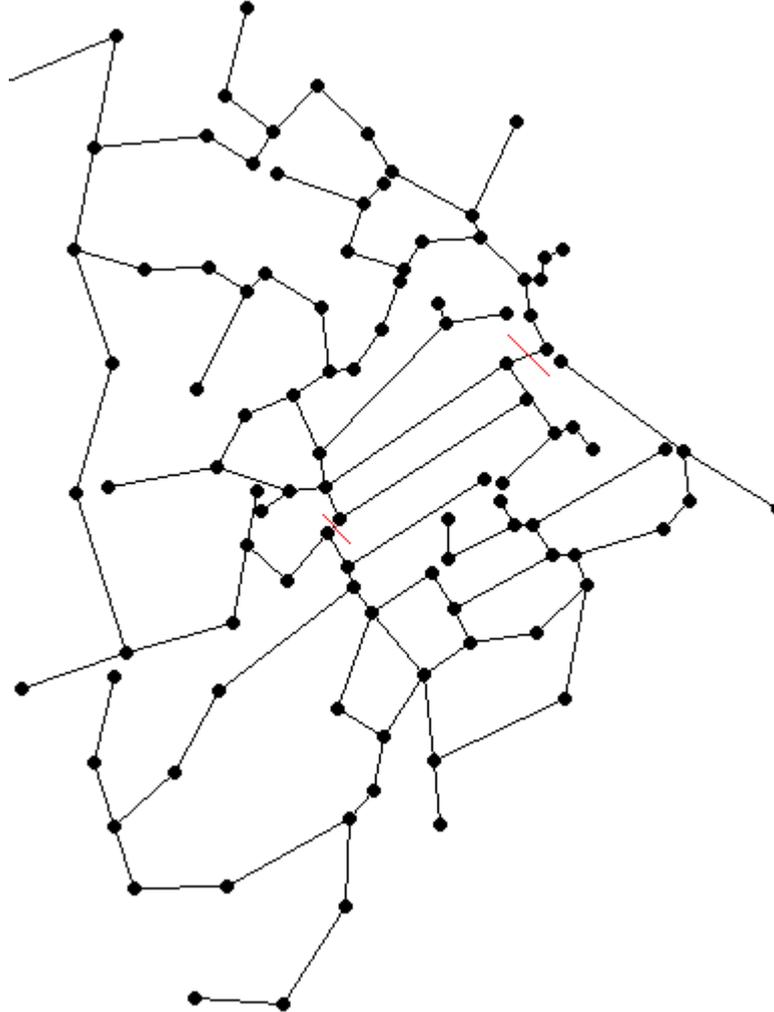


Figura 59: Tuberías cortadas para la sectorización

De esta manera, la red pasa a estar claramente dividida en tres sectores con una única entrada de caudal para cada uno. Estas entradas de caudal se localizan en la parte inicial de la instalación donde las cotas son mayores que en el resto de la red. Con la inserción de estos caudalímetros, se podrá obtener la información exacta del consumo de cada sector.

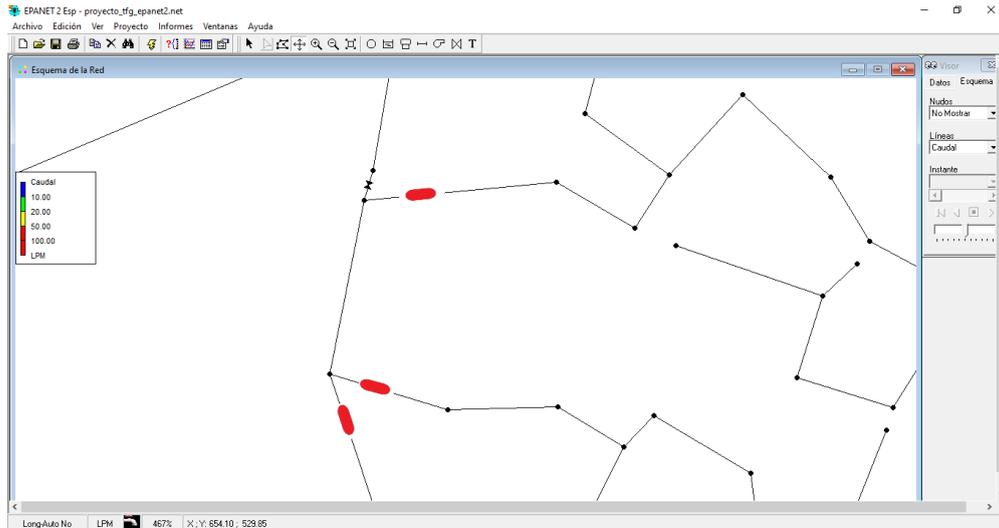


Figura 60: Posición de los caudalímetros

5.5.2. Válvulas reductoras de presión

Teniendo en cuenta que en hasta 21 nodos de la instalación se superan los 50 mca, se procede a la instalación de una válvula reductora que permita la disminución de estas presiones hasta valores adecuados de presión de servicio.

En primer lugar, se debe decidir en qué tubería colocar la válvula. La conducción asignada debe estar aguas arriba de los nodos de presiones altas. Teniendo en cuenta la disposición se decide colocar la válvula en conducción señalada en la fotografía

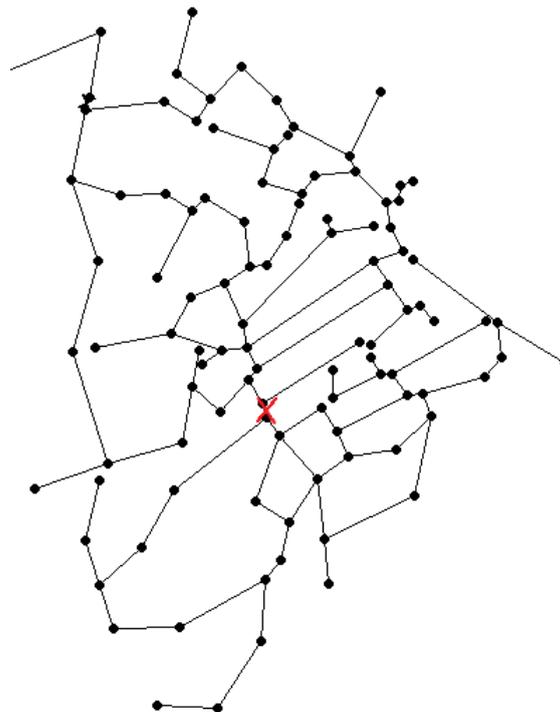


Figura 61: Ubicación nueva válvula reductora

Analizando la localización de la válvula y la conducción en la que ha sido colocada, se procede a la estimación de la presión con la que deberá trabajar.

Válvula reductora	
Presión aguas abajo	30.6 mca (3 bar)
Presión aguas arriba	43.38 mca (4,253 bar)
Caudal mínimo	11,27 L/min
Caudal máximo	84.67 L/min

Tabla 23: Datos de trabajo de la nueva válvula reductora

La presión de salida de la válvula no es excesivamente pequeña ya que aguas abajo de la conducción donde se ha colocado la bomba se encuentran un par de nudos a cota más alta y en los cuales la presión tenía valores bajos. En el caso de que la presión se redujera demasiado podría provocar que en estos nudos la presión de servicio fuera insuficiente por lo que se ha decidido que esta sea de 3 bares.

A continuación, se procede a la selección de la válvula adecuada para las necesidades de la red vistas en la tabla anterior. Para ello se ha utilizado el catálogo de válvulas de la empresa WATTS, fabricante líder mundial de productos que contribuyen al confort y la seguridad en el ámbito de la calidad del agua para aplicaciones domésticas, comerciales e industriales [22].

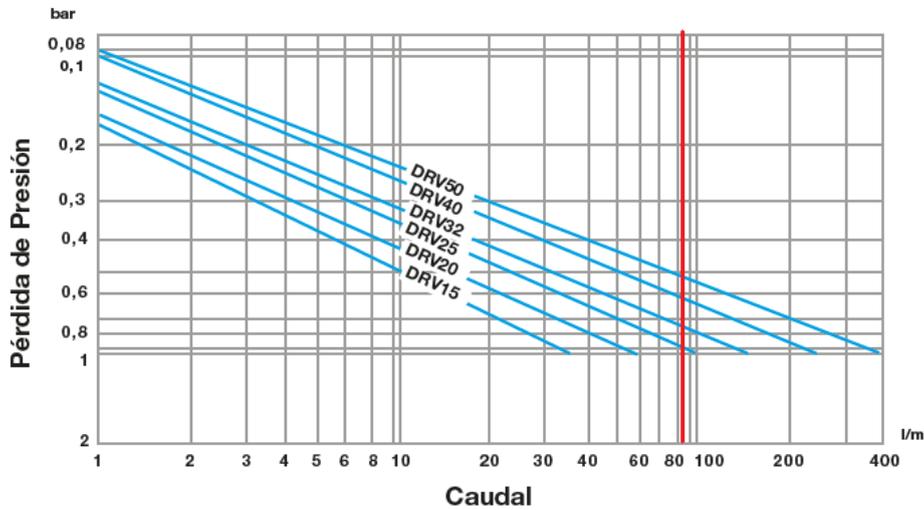
Analizando el catálogo ofertado y las características buscadas, se decide por una válvula reductora de presión DRV como la que tenemos a continuación.



Figura 62: Válvula reductora de presión DRV

A continuación se procede a la selección del diámetro más adecuado mediante las tablas del fabricante y los datos obtenidos gracias a epanet. La válvula dispone de diámetros nominales desde 15 hasta 50 milímetros. La tabla está diseñada para introducir el caudal máximo que circula por la conducción.

DRV

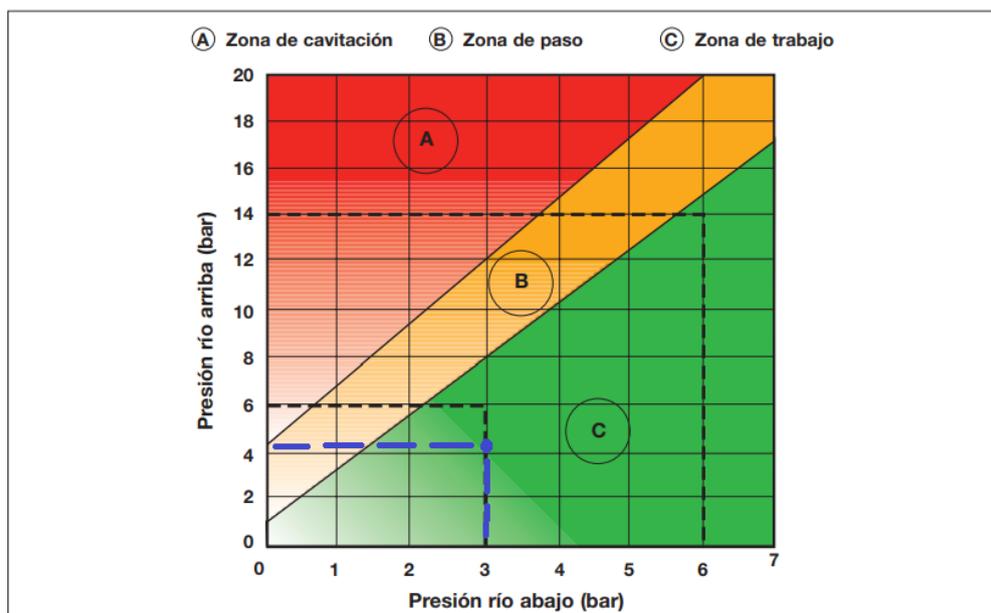


Gráfica 11: Diámetros nominales de la válvula reductora de presión DRV

Como se puede observar, los diámetros nominales disponibles serían 25, 32, 40 y 50 milímetros. Se selecciona la opción de 50 mm ya que es la que mejor se adecua a las dimensiones de la instalación.

Por último, se debe comprobar que la válvula reductora no sufra cavitación. Para ello, el fabricante Watts nos ofrece una gráfica en la que mediante las presiones aguas arriba y abajo, se puede comprobar este fenómeno.

Diagrama de cavitación



Gráfica 12: Diagrama de cavitación de la válvula reductora de presión DRV

Como se puede comprobar, el punto designado por la dos presiones se localiza dentro de la zona de trabajo donde no sufre cavitación. Tras esta comprobación se puede afirmar que la válvula ha sido correctamente dimensionada.

Finalmente se introduce la válvula en la red hecha por epanet y como se puede apreciar, las presiones disminuyen considerablemente y permanecen en el rango necesario para el correcto abastecimiento.

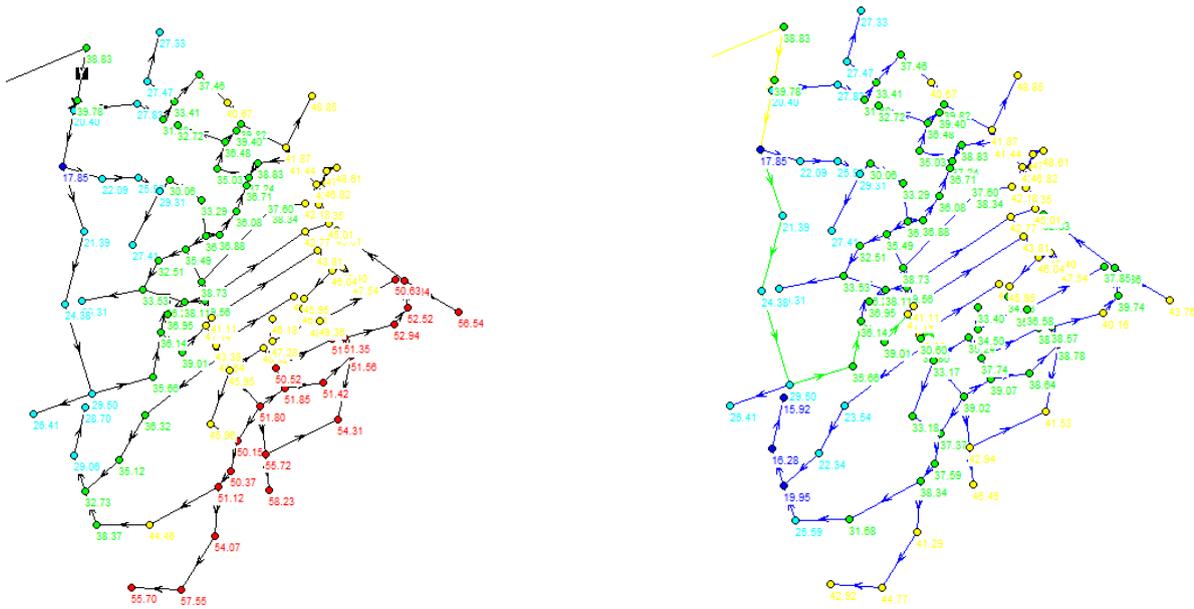


Figura 63: Mapa de la red antes y después de la introducción de la válvula reductora de presión

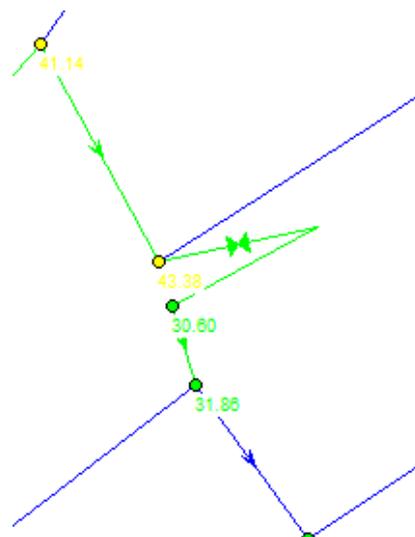


Figura 64: Válvula reductora de presión DRV funcionando en la red

6. CONCLUSIÓN

Finalmente se llega a la conclusión del proyecto y es hora de que mediante los resultados obtenidos se valoren los objetivos cumplidos:

- Se han analizado las características orográficas de la zona mediante los sistemas de información geográfica y se han extraído los correspondientes datos de cota y longitud necesarios para la definición de parámetros de la red.
- Se ha estudiado la información disponible de la red existente, tanto los elementos de transporte del agua como los de regulación de ésta. Gracias a esto, se ha procedido con una mayor precisión a la hora de reediseñar la red de abastecimiento de agua
- Se han estudiado los diferentes consumos del municipio y se ha calculado una dotación acorde a las necesidades de cada tipo de consumo.
- Se ha introducido un patrón de consumo diario, mediante la curva de modulación, acorde a las necesidades hídricas de la población.
- Se han analizado los resultados obtenidos y se han detectado puntos flacos de la instalación a mejorar.
- Se han propuesto una serie de mejoras las cuales incrementan el rendimiento de la instalación y permiten un mayor control de ésta.

En definitiva, los objetivos iniciales planteados han sido cumplidos. El análisis realizado de la red ha permitido conocer mejor la instalación ya existente y poder mejorarla mediante la introducción de, por un lado, tres caudalímetros que facilitarán el control del volumen inyectado en la red y reducirán el riesgo de nuevas fugas y, por otro lado, de una válvula reductora de presión que disminuirá las presiones excesivamente altas de la instalación y conseguirá mantener un servicio más fiable y adecuado para los abonados.

7. BIBLIOGRAFÍA

[1] Blog del agua, ¿Qué es Epanet?

Disponible en: <https://blogdelagua.com/tematica/abastecimiento/que-es-epanet/>

[2] Colegio oficial de arquitectos de la Comunidad Valenciana.

Disponible en:

[https://www.valencia.es/ayuntamiento/urbanismo.nsf/0/31280A816D5AC226C1257B2000464862/\\$FILE/MU7-ANEXO%20AGUA%20CALCULOS_F_sellado.pdf?OpenElement&lang=1](https://www.valencia.es/ayuntamiento/urbanismo.nsf/0/31280A816D5AC226C1257B2000464862/$FILE/MU7-ANEXO%20AGUA%20CALCULOS_F_sellado.pdf?OpenElement&lang=1)

[3] Definición de bomba de agua.

Disponible en: <https://definicion.de/bomba-de-agua/>

[4] Dotación de agua [Universidad Católica Boliviana].

Disponible en: <https://www.doccity.com/es/dotacion-de-agua-predimensionamiento/4158709/>

[5] Gandía Sánchez, Pedro. Modelado hidráulico de la red de agua potable a la población de Chiva (Valencia).

[6] Granero Cremades, Andrés. Diseño de una red de abastecimiento de agua potable a las trece urbanizaciones del término municipal de Chiva (Valencia)

[7] Huerta del Marquesado [Wikipedia].

Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Huerta_del_Marquesado

[8] Iagua. El ranking del agua en Europa. 3: Consumo, pérdidas, precios e inversión. (Publicado el 22 nov. 2017).

<https://www.iagua.es/noticias/locken/ranking-agua-europa-3-consumo-perdidas-precios-e-inversion>

[9] Instituto Geográfico Nacional [IGN].

Disponible en: <https://www.ign.es/web/ign/portal>

[10] Instituto Nacional de Estadística [INE].

Disponible en: <https://www.ine.es/>

[11] Instituto Valenciano de la Edificación [IVE].

Disponible en: <https://www.five.es/>

[12] Material docente de la asignatura Máquinas Hidráulicas [4º curso], Héctor Rodríguez Guzmán, 2019.

[13] Material docente de la asignatura Mecánica de Fluidos [2º curso], Enrique Cabrera, 2017.

[14] Normas Tecnológicas NTE [MOPU]. Normas para la Redacción de Proyectos de Abastecimiento de agua y Saneamiento de poblaciones.

[15] Pérdidas de carga [MOLECOR, orienting the future].

Disponible en: <http://molecor.com/es/perdidas-carga>

[16] QGIS, Descubre QGIS.

Disponible en: <https://qgis.org/es/site/about/index.html>

[17] Real Decreto 314/2006.

Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2006-5515>

[18] Sede electrónica del catastro.

Disponible en:

<https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapa.aspx?pest=rustica&from=OVCBusqueda&ZV=NO&ZR=NO&RCCompleta=&pol=&par=&DescProv=CUENCA&prov=16&muni=116&DescMuni=HUERTA%20DEL%20MARQUESADO&TipUR=R&tc=R&del=16&mun=116>

[19] Selector de bombas [GRUNDFOS].

Disponible en: https://product-selection.grundfos.com/product-detail.sizing-result.html?from_suid=1598920171593008690370115334867&pumpsystemid=1034214976&qcid=1034215039

[20] UNE-EN 805-2000 Abastecimiento de agua [AENOR].

Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0023912>

[21] Usos y demandas de agua [Hidraqua].

Disponible en:

https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/agua/planes_hidrologicos/plan_hidrologico2015_2021_top/anejo_3_usos_y_demandas_top.pdf

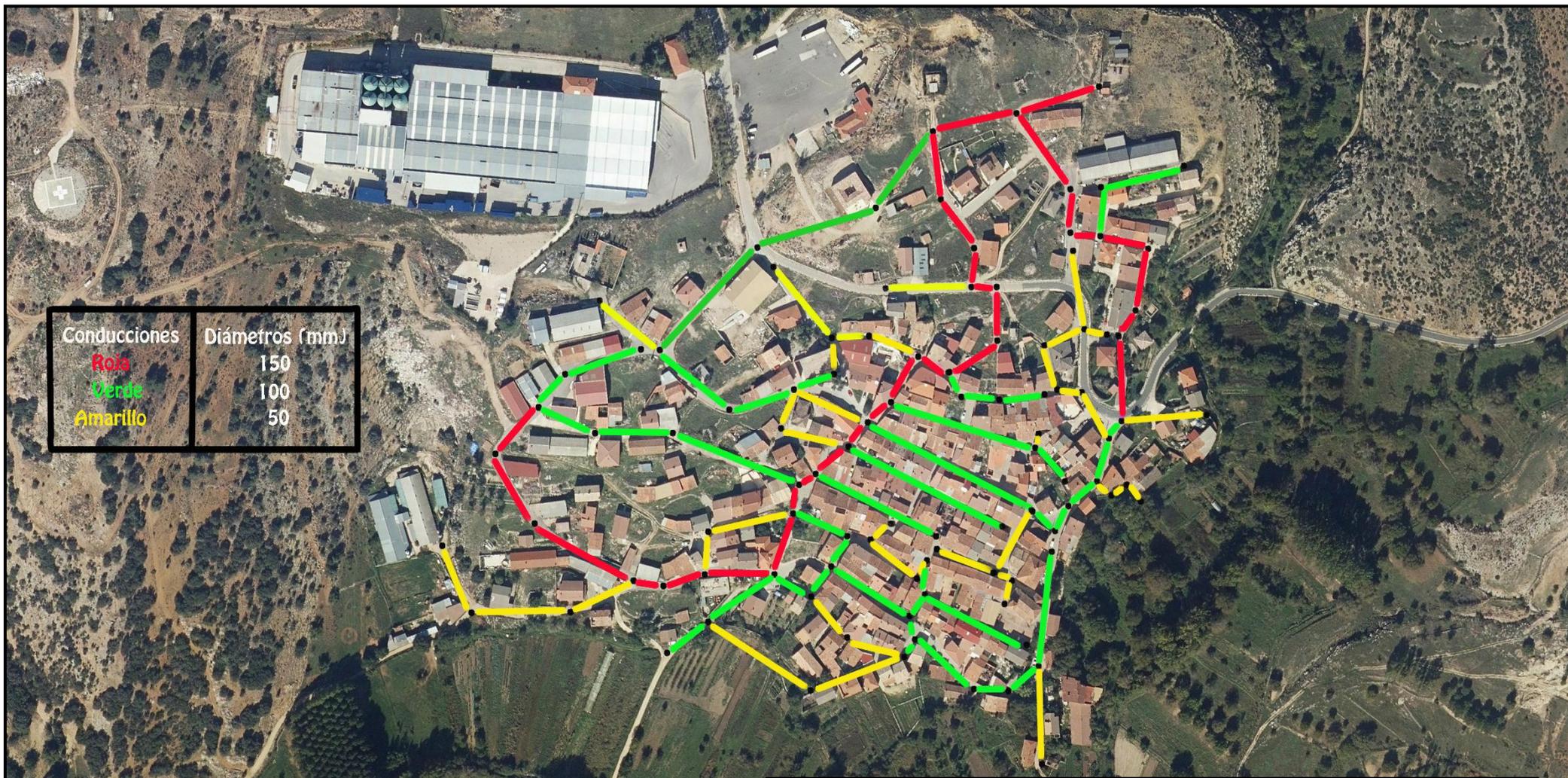
[22] Watts Industries España [DRV].

Disponible en:

<https://wattswater.es/catalog/sanitary-devices-systems/pressure-reducing-valves/diaphragm-pressure-reducing-valve-drv/>

DOCUMENTO II.

PLANOS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALÈNCIA

Proyecto:

**REEDISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE ABASTECIMIENTO
DE AGUA POR LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PISCINA
MUNICIPAL EN LA LOCALIDAD DE HUERTA DEL
MARQUESADO**

Nombre del documento:

PLANO DE LA RED

Creado por:

SANTIAGO PÉREZ MARTÍNEZ

Escala:

1:3419

Fecha:

Agosto 2020

Hoja:

1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALÈNCIA

Proyecto:

**REEDISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE ABASTECIMIENTO
DE AGUA POR LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PISCINA
MUNICIPAL EN LA LOCALIDAD DE HUERTA DEL
MARQUESADO**

Nombre del documento:

**PLANO DE LA LOCALIZACIÓN DE
CONSUMOS**

Creado por:

SANTIAGO PÉREZ MARTÍNEZ

Escala:

1:3419

Fecha:

Agosto 2020

Hoja:

2



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Proyecto:

REEDISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POR LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PISCINA MUNICIPAL EN LA LOCALIDAD DE HUERTA DEL MARQUESADO

Nombre del documento:

PLANO DE LOS ELEMENTOS EXTERNOS DE LA RED

Creado por:

SANTIAGO PÉREZ MARTÍNEZ

Escala:

1:5677

Fecha:

Agosto 2020

Hoja:

3

DOCUMENTO III. PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN

A continuación se presenta la valoración económica del proyecto. El presupuesto contendrá el precio de la instalación de los tres caudalímetros (dos de DN 150 mm y uno de DN 100 mm) y de la válvula reductora de presión de DN 50 mm. Los precios unitarios utilizados se han extraído en su mayor parte del Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) [11]. Los costes de elaboración del proyecto por el alumno serán incluidos tan solo en una unidad de obra para evitar la repetición y el sobrepago. Los presupuestos se dividirán en los siguientes apartados:

1. Obra civil
2. Materiales y montaje
3. Otros
4. Control de obra
5. Seguridad y salud

2. MEDICIONES

INSTALACIÓN DE LOS DOS CAUDALÍMETROS DE DN 150 mm

CÓDIGO	UDS	RESUMEN	CANTIDAD	LONGITUD (m)	ANCHURA (m)	ALTURA (m)	CANTIDAD TOTAL
1_OC	1	OBRA CIVIL					
1OC1	m3	OBRA PARA LA INSTALACIÓN DE CAUDALÍMETRO DN 150 BAJO TERRENO CON DEMOLICIÓN DE PAVIMENTO, EXCAVACIÓN DEL TERRENO A MÁQUINA Y A MANO, TAPADO CON ARENA Y ZAHORRAS Y RECOMPOSICIÓN DEL PAVIMENTO.	2	4,00	2,00	1,50	24,00
1OC2	ud	REGISTRO PARA CAUDALIMETRO O VÁLVULA , INCLUSO COLOCACIÓN DE TRAPA DE 40X40	6				6,00
1OC3	ud	EJECUCIÓN DE LA ARQUETA	6				6,00
1_MM	2	MATERIALES Y MONTAJE					
1MM1	ud	CABO EXTREMO UNIVERSAL DN 150 mm	4				4,00
1MM2	ud	CARRETE DE HºFDO B-B DE 150X500 mm	4				4,00
1MM3	ud	VÁLVULA COMPUERTA DE DN 150 mm Y CONTRAPEZÓN	4				4,00
1MM4	ud	CAUDALÍMETRO DE 150 mm	2				2,00
1MM5	ud	TORNILLO MÉTRICA 20X80	98				98,00
1MM6	ud	JUNTA PLANA DE GOMA DE DN 150 mm	12				12,00
1MM7	ud	EMISOR DE IMPULSOS TIPO OD 01, O SIMILAR	2				2,00
1_OT	3	OTROS					
1OT1	ud	COMUNICACIÓN DE LA CERRADA Y MANIOBRA DE LAS VÁLVULAS NECESARIAS PARA AISLAR LA ZONA	2				2,00
1OT2	ud	LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE LA TUBERÍA AFECTADA	2				2,00
1OT3	ud	PUESTA EN SERVICIO, LLENADO DE TUBERÍA, APERTURA VÁLVULAS, CORRECCIÓN DE PRESIONES Y RESTITUCIÓN DE SERVICIO.	2				2,00
1_CO	4	CONTROL DE OBRA					
1CO1	h	TÉCNICO OPERATIVO	20				20,00
1CO2	H	INGENIERO TÉCNICO	300				300,00
1_SS	5	SEGURIDAD Y SALUD					
1SS1	PA	PARTIDA ALZADA INCLUIDA LA MANO DE OBRA Y ELEMENTOS NECESARIOS PARA REALIZAR LAS DISPOSICIONES DEL ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD	2				2,00

INSTALACIÓN DEL CAUDALÍMETRO DE DN 100 mm

CÓDIGO	UDS	RESUMEN	CANTIDAD	LONGITUD (m)	ANCHURA (m)	ALTURA (m)	CANTIDAD TOTAL
1_OC	1	OBRA CIVIL					
1OC1	m3	OBRA PARA LA INSTALACIÓN DE CAUDALÍMETRO DN 100 BAJO TERRENO CON DEMOLICIÓN DE PAVIMENTO, EXCAVACIÓN DEL TERRENO A MÁQUINA Y A MANO, TAPADO CON ARENA Y ZAHORRAS Y RECOMPOSICIÓN DEL PAVIMENTO.	1	4,00	2,00	1,50	12,00
1OC2	ud	REGISTRO PARA CAUDALIMETRO O VÁLVULA , INCLUSO COLOCACIÓN DE TRAPA DE 40X40	3				3,00
1OC3	ud	EJECUCIÓN DE LA ARQUETA	3				3,00
1_MM	2	MATERIALES Y MONTAJE					
1MM1	ud	CABO EXTREMO UNIVERSAL DN 100 mm	2				2,00
1MM2	ud	CARRETE DE HºFDO B-B DE 100X500 mm	2				2,00
1MM3	ud	VÁLVULA COMPUERTA DE DN 100 mm Y CONTRAPEZÓN	2				2,00
1MM4	ud	CAUDALÍMETRO DE 100 mm	1				1,00
1MM5	ud	TORNILLO MÉTRICA 20X80	48				48,00
1MM6	ud	JUNTA PLANA DE GOMA DE DN 100 mm	6				6,00
1MM7	ud	EMISOR DE IMPULSOS TIPO OD 01, O SIMILAR	1				1,00
1_OT	3	OTROS					
1OT1	ud	COMUNICACIÓN DE LA CERRADA Y MANIOBRA DE LAS VÁLVULAS NECESARIAS PARA AISLAR LA ZONA	1				1,00
1OT2	ud	LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE LA TUBERÍA AFECTADA	1				1,00
1OT3	ud	PUESTA EN SERVICIO, LLENADO DE TUBERÍA, APERTURA VÁLVULAS, CORRECCIÓN DE PRESIONES Y RESTITUCIÓN DE SERVICIO.	1				1,00
1_CO	4	CONTROL DE OBRA					
1CO1	h	TÉCNICO OPERATIVO	10				10,00
1_SS	5	SEGURIDAD Y SALUD					
1SS1	PA	PARTIDA ALZADA INCLUIDA LA MANO DE OBRA Y ELEMENTOS NECESARIOS PARA REALIZAR LAS DISPOSICIONES DEL ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD	1				1,00

INSTALACIÓN VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN DE DN 50 mm

CÓDIGO	UDS	RESUMEN	CANTIDAD	LONGITUD (m)	ANCHURA (m)	ALTURA (m)	CANTIDAD TOTAL
2_OC	1	OBRA CIVIL					
2OC1	m3	OBRA PARA LA INSTALACIÓN DE VÁLVULA REDUCTORA DN 50 mm BAJO TERRENO CON DEMOLICIÓN DE PAVIMENTO, EXCAVACIÓN DEL TERRENO A MÁQUINA Y A MANO, TAPADO CON ARENA Y ZAHORRAS Y RECOMPOSICIÓN DEL PAVIMENTO.	1	4,00	2,00	1,50	12.00
2OC2	ud	REGISTRO PARA VÁLVULA , INCLUSO COLOCACIÓN DE TRAPA DE 40X40	3				3.00
2OC3	ud	EJECUCIÓN DE LA ARQUETA	3				3.00
2_MM	2	MATERIALES Y MONTAJE					
2MM1	ud	CABO EXTREMO UNIVERSAL DN 50 mm	2				2.00
2MM2	ud	CARRETE DE HºFDO B-B DE 150X500 mm	2				2.00
2MM3	ud	REDUCCIÓN H. FUND B-B DE 0150X50	2				2.00
2MM4	ud	VÁLVULA COMPUERTA DE DN 150 mm Y CONTRAPEZÓN	2				2.00
2MM5	ud	VÁLVULA HIDRÁULICA DE DN 50 mm	1				1.00
2MM6	ud	TORNILLO MÉTRICA 20X80	48				48.00
2MM7	ud	JUNTA PLANA DE GOMA DE DN 150 mm	6				6.00
2_OT	3	OTROS					
2OT1	ud	COMUNICACIÓN DE LA CERRADA Y MANIOBRA DE LAS VÁLVULAS NECESARIAS PARA AISLAR LA ZONA	1				1.00
2OT2	ud	LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE LA TUBERÍA AFECTADA	1				1.00
2OT3	ud	PUESTA EN SERVICIO, LLENADO DE TUBERÍA, APERTURA VÁLVULAS, CORRECCIÓN DE PRESIONES Y RESTITUCIÓN DE SERVICIO.	1				1.00
2_CO	4	CONTROL DE OBRA					
2CO1	h	TÉCNICO OPERATIVO	10				10.00
2_SS	5	SEGURIDAD Y SALUD					
2SS1	PA	PARTIDA ALZADA INCLUIDA LA MANO DE OBRA Y ELEMENTOS NECESARIOS PARA REALIZAR LAS DISPOSICIONES DEL ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD	1				1.00

3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)

INSTALACIÓN DE LOS DOS CAUDALÍMETROS DE DN 150 mm

CÓDIGO	UDS	RESUMEN	CANTIDAD TOTAL	PRECIO UNITARIO (€/ud)	IMPORTE (€)
1_OC	1	OBRA CIVIL			
10C1	m3	OBRA PARA LA INSTALACIÓN DE CAUDALÍMETRO DN 150 BAJO TERRENO CON DEMOLICIÓN DE PAVIMENTO, EXCAVACIÓN DEL TERRENO A MÁQUINA Y A MANO TAPADO CON ARENA Y ZAHORRAS Y RECOMPOSICIÓN DEL PAVIMENTO.	24.00	117.76	2826.24
10C2	ud	REGISTRO PARA CAUDALIMETRO , INSERCIÓN DE PORTILLA DE 40X40	6.00	105.06	630.36
10C3	ud	EJECUCIÓN DE LA ARQUETA	6.00	2329.76	13978.56
1_MM	2	MATERIALES Y MONTAJE			
1MM1	ud	CABO EXTREMO UNIVERSAL DN 150 mm	4.00	68.29	273.16
1MM2	ud	CARRETE DE HºFDO B-B DE 150X500 mm	4.00	253.13	1012.52
1MM3	ud	VÁLVULA COMPUERTA DE DN 150 mm Y CONTRAPEZÓN	4.00	270.07	1080.28
1MM4	ud	CAUDALÍMETRO DE 150 mm	2.00	1423.77	2847.54
1MM5	ud	TORNILLO MÉTRICA 20X80	98.00	0.68	66.64
1MM6	ud	JUNTA PLANA DE GOMA DE DN 150 mm	12.00	1.50	18.00
1MM7	ud	EMISOR DE IMPULSOS TIPO OD 01, O SIMILAR	2.00	88.49	176.98
1_VR	3	VARIOS			
1VR1	ud	COMUNICACIÓN DE LA CERRADA Y MANIOBRA DE LAS VÁLVULAS NECESARIAS PARA AISLAR LA ZONA	2.00	184.35	368.70
1VR2	ud	LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE LA TUBERÍA AFECTADA	2.00	7.00	14.00
1VR3	ud	PUESTA EN SERVICIO, LLENADO DE TUBERÍA, APERTURA VÁLVULAS, CORRECCIÓN DE PRESIONES Y RESTITUCIÓN DE SERVICIO.	2.00	591.60	1183.20
1_CO	4	CONTROL DE OBRA			
1CO1	h	TÉCNICO OPERATIVO	20.00	25.68	513.60
1CO2	h	INGENIERO TÉCNICO	300.00	25.70	7710.00
1_SS	5	SEGURIDAD Y SALUD			
1SS1	PA	PARTIDA ALZADA INCLUIDA LA MANO DE OBRA Y ELEMENTOS NECESARIOS PARA REALIZAR LAS DISPOSICIONES DEL ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD	2.00	700.00	1400.00
PRECIO INSTALACIÓN DE LOS DOS CAUDALÍMETROS DE DN 150 mm					34,099.78 €

INSTALACIÓN DEL CAUDALÍMETRO DE DN 100 mm

CÓDIGO	UDS	RESUMEN	CANTIDAD TOTAL	PRECIO UNITARIO (€/ud)	IMPORTE (€)
1_OC	1	OBRA CIVIL			
10C1	m3	OBRA PARA LA INSTALACIÓN DE CAUDALÍMETRO DN 100 BAJO TERRENO CON DEMOLICIÓN DE PAVIMENTO, EXCAVACIÓN DEL TERRENO A MÁQUINA Y A MANO TAPADO CON ARENA Y ZAHORRAS Y RECOMPOSICIÓN DEL PAVIMENTO.	12.00	117.76	1413.12
10C2	ud	REGISTRO PARA CAUDALIMETRO , INSERCIÓN DE PORTILLA DE 40X40	3.00	105.06	315.18
10C3	ud	EJECUCIÓN DE LA ARQUETA	3.00	2329.76	6989.28
1_MM	2	MATERIALES Y MONTAJE			
1MM1	ud	CABO EXTREMO UNIVERSAL DN 100 mm	2.00	50.64	101.28
1MM2	ud	CARRETE DE HºFDO B-B DE 100X500 mm	4.00	219.38	877.52
1MM3	ud	VÁLVULA COMPUERTA DE DN 100 mm Y CONTRAPEZÓN	2.00	156.80	313.60
1MM4	ud	CAUDALÍMETRO DE 150 mm	1.00	997.04	997.04
1MM5	ud	TORNILLO MÉTRICA 20X80	48.00	0.68	32.64
1MM6	ud	JUNTA PLANA DE GOMA DE DN 100 mm	6.00	1.30	7.80
1MM7	ud	EMISOR DE IMPULSOS TIPO OD 01, O SIMILAR	1.00	88.49	88.49
1_OT	3	OTROS			
1OT1	ud	COMUNICACIÓN DE LA CERRADA Y MANIOBRA DE LAS VÁLVULAS NECESARIAS PARA AISLAR LA ZONA	1.00	184.35	184.35
1OT2	ud	LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE LA TUBERÍA AFECTADA	1.00	7.00	7.00
1OT3	ud	PUESTA EN SERVICIO, LLENADO DE TUBERÍA, APERTURA VÁLVULAS, CORRECCIÓN DE PRESIONES Y RESTITUCIÓN DE SERVICIO.	1.00	591.60	591.60
1_CO	4	CONTROL DE OBRA			
1CO1	h	TÉCNICO OPERATIVO	10.00	25.68	256.80
1_SS	5	SEGURIDAD Y SALUD			
1SS1	PA	PARTIDA ALZADA INCLUIDA LA MANO DE OBRA Y ELEMENTOS NECESARIOS PARA REALIZAR LAS DISPOSICIONES DEL ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD	1.00	700.00	700.00
PRECIO INSTALACIÓN DEL CAUDALIMETRO DE DN 100 mm					12,875.70 €

INSTALACIÓN VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN DE DN 50 mm

<u>CÓDIGO</u>	<u>UDS</u>	<u>RESUMEN</u>	<u>CANTIDAD TOTAL</u>	<u>PRECIO UNITARIO (€/ud)</u>	<u>IMPORTE (€)</u>
2_OC	1	OBRA CIVIL			
2OC1	m3	OBRA PARA LA INSTALACIÓN DE VÁLVULA REDUCTORA DN 40 mm BAJO TERRENO CON DEMOLICIÓN DE PAVIMENTO, EXCAVACIÓN DEL TERRENO A MÁQUINA Y A MANO, TAPADO CON ARENA Y ZAHORRAS Y RECOMPOSICIÓN DEL PAVIMENTO.	12.00	117.23	1406.76
2OC2	ud	REGISTRO PARA VÁLVULA , INCLUSO COLOCACIÓN DE TRAPA DE 40X40	3.00	105.51	316.53
2OC3	ud	EJECUCIÓN DE LA ARQUETA	3.00	2328.85	6986.55
2_MM	2	MATERIALES Y MONTAJE			
2MM1	ud	CABO EXTREMO UNIVERSAL DN 50 mm	2.00	25.26	50.52
2MM2	ud	CARRETE DE HºFDO B-B DE 150X500 mm	2.00	88.6	177.2
2MM3	ud	REDUCCIÓN H. FUND B-B DE 0150X50	2.00	61.94	123.88
2MM4	ud	VÁLVULA COMPUERTA DE DN 150 mm Y CONTRAPEZÓN	2.00	151.96	303.92
2MM5	ud	VÁLVULA HIDRÁULICA DE DN 50 mm	1.00	55.86	55.86
2MM6	ud	TORNILLO MÉTRICA 20X80	48.00	0.68	32.64
2MM7	ud	JUNTA PLANA DE GOMA DE DN150 mm	6.00	1.31	7.86
2_OT	3	OTROS			
2OT1	ud	COMUNICACIÓN DE LA CERRADA Y MANIOBRA DE LAS VÁLVULAS NECESARIAS PARA AISLAR LA ZONA	1.00	184.35	184.35
2OT2	ud	LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE LA TUBERÍA AFECTADA	1.00	7.00	7.00
2OT3	ud	PUESTA EN SERVICIO, LLENADO DE TUBERÍA, APERTURA VÁLVULAS, CORRECCIÓN DE PRESIONES Y RESTITUCIÓN DE SERVICIO.	1.00	591.60	591.6
2_CO	4	CONTROL DE OBRA			
2CO1	h	TÉCNICO OPERATIVO	10.00	25.68	256.8
2_SS	5	SEGURIDAD Y SALUD			
2SS1	PA	PARTIDA ALZADA INCLUIDA LA MANO DE OBRA Y ELEMENTOS NECESARIOS PARA REALIZAR LAS DISPOSICIONES DEL ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD	1.00	700.00	700.00

PRECIO INSTALACIÓN VÁLVULA REDUCTORA DE DN 50 mm

11,201.47 €

4. COSTE TOTAL DEL PROYECTO

<i>PRESUPUESTOS</i>	<i>IMPORTE</i>
PRECIO INSTALACIÓN CAUDALÍMETROS DN 150 mm	34,099.78 €
PRECIO INSTALACIÓN CAUDALÍMETROS DN 100 mm	12,875.70 €
PRECIO INSTALACIÓN VÁLVULA REDUCTORA DN 50 mm	11,201.47 €
 <i>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DEL MATERIAL</i>	 58,176.95 €
GASTOS GENERALES (13%)	7,563.00 €
BENEFICIO INDUSTRIAL (6%)	3,490.62 €
 <i>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</i>	 69,230.57 €
IVA (21%)	14,538.42 €
 <i>TOTAL PRESUPUESTO</i>	 83,768.99 €
OCHENTA Y TRES MIL SETECIENTOS SESENTA Y OCHO CON NOVENTA Y NUEVE CÉNTIMOS	