



Escola Politécnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE GRADO

**TÍTULO: MODELO DE SIMULACIÓN DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE
PARA EL NUCLEO URBANO DE CANYELLES (BARCELONA)**

AUTOR: Sánchez Henarejos, Iván

DIRECTORA: Montserrat Carbonell Ventura

CO-DIRECTORA: Ruth Soto Vallespi

FECHA DE PRESENTACIÓN: 27/10/2017

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto es estudiar las características y el comportamiento actual de la red de agua potable del núcleo urbano de Canyelles con el fin de determinar posibles problemas y carencias.

Para cumplir este objetivo la siguiente metodología fue utilizada; primero recopilar datos de la cartografía de la zona, población actual del municipio, y las características de las tuberías y otros elementos; después se condujo un análisis de la red de agua, seguido de un planteamiento de los problemas identificados con posibles soluciones, y finalmente una simulación con las soluciones propuestas.

Una vez aplicada esta metodología se observan los siguientes inconvenientes: problemas de presión en ciertos puntos particulares, y también se comprueba que el mayor problema es debido al estado de algunas tuberías.

Una vez detectados estos problemas, se propone la sustitución de dichas tuberías por otras con otras características más adecuadas a su función, y se comprueba que la simulación es correcta. Otras áreas investigadas para este proyecto son:

- Normativa para la red de agua de potable y otras Normas relevantes de interés.
- Conceptos y componentes de un sistema de red de agua potable.
- Inventario y función de los elementos de la red de agua potable de Canyelles.
- Modelo de la red de agua potable del núcleo urbano de Canyelles en régimen permanente y transitorio mediante EPANET.
- Un presupuesto para las nuevas soluciones.

Palabras clave:

Abastecimiento	Agua potable	Canyelles	EPANET
Depósito ATLL	Simulación hidráulica	Modulación	Hidrantes

ABSTRACT

The objective of this Project is to study the characteristics and the functionality of the drinking water network of Canyelles town centre at present in order to determine potential problems and shortages.

The following methodology was used to achieve this objective: -Firstly, data was compiled from the cartography of the area, the town's population and the characteristics of the water pipes and other network elements. Afterwards an analysis of the water network system was carried out to identify potential problems which are followed by possible solutions. Finally, a simulation of the process is presented to reflect the proposed solutions.

Through the applied methodology, some pressure problems were identified in particular points, with the major problem being the estate of some of the current pipes along the network. Once these problems have been identified, we propose to substitute such pipes for others with more suitable characteristics for their function, and to carry out another simulation to check that the system then works correctly. Other aspects also researched within this project are:

- Relevant Legislation and Regulations for drinking water public networks
- Concepts and components of a drinking water network system
- Inventory and function of the network of drinking water elements of Canyelles
- Getting fixed ad transitory simulations for the drinking water network for Canyelles town centre using the EPANET program.
- Presentation of a Budget for the proposed solutions.

Keywords:

Supply	Drinking water	Canyelles	EPANET
Deposit	Hydraulic simulation	Modulation	Hydrants

ÍNDICE GENERAL

1. Objetivos	12
2. Metodología	14
3. Antecedentes	15
3.1. Localización geográfica	15
3.2 Población	16
3.3 Ámbito y alcance	18
4. Normativa	19
5. Conceptos de un sistema de distribución de agua potable urbana	21
5.1. Componentes de un sistema de distribución de agua potable urbana	21
5.1.1. Fuentes de abastecimiento	21
5.1.2. Captación	22
5.1.3. Aducción o impulsión	23
5.1.4. Tratamiento del agua	23
5.1.5. Almacenamiento del agua tratada	24
5.1.6. Red de distribución	24
5.1.6.1 Caudal de distribución	25
5.1.6.2. Caudal punta	26
5.1.7. Acometidas	27
5.1.7.1. Partes de la acometida	28
5.1.8. Mediciones	28
5.1.9. Esquema de abastecimiento de agua potable	29
6. Inventario de la instalación a simular	30
6.1. Introducción	30
6.2. Elementos	30
6.2.1. Tuberías	30
6.2.1.1. Inventario de las diferentes tuberías para el núcleo urbano de Canyelles	35
6.2.2. Válvulas de seccionamiento	36
6.2.2.1. Válvulas de compuerta	37
6.2.2.2. Válvulas mariposa	38
6.2.3. Válvulas de control	39
6.2.4. Ventosas	41
6.2.5. Descargas	41
6.2.6. Zanjas, arquetas y registros	42
6.2.7. Hidrantes	44
6.2.8. Telecontrol	46

6.2.9. Inventario de los elementos.....	47
7. Análisis de la demanda.....	48
7.1. Dotación	48
7.2. Rendimiento.....	48
7.3. Curva de modulación	50
7.4. Coeficientes punta	52
8. Modelo hidráulico	53
8.1. Introducción	53
8.2. Software utilizado	53
8.2.1. Sistema de información geográfica (GIS)	53
8.2.2. EPANET	54
8.2.2.1. Definiciones.....	56
8.2.2.2. Hipótesis simplificadoras.....	59
8.2.2.3. Ecuaciones fundamentales	60
8.2.2.4. Ecuaciones de comportamiento de los elementos de la red.....	63
8.2.2.4.1. Tuberías.....	63
8.2.2.4.2. Pérdidas menores o pérdidas por accesorios	65
8.2.2.4.3. Emisores	66
8.2.2.4.4. Bombas.....	66
8.2.2.4.5. Parámetros necesarios y resultados de EPANET.....	67
8.2.3. Metodología utilizada	68
9. Modelo de red de abastecimiento de agua potable de Canyelles.....	69
9.1. Modelo original de la red de abastecimiento de agua potable de Canyelles.....	69
9.2. Modelo de la red de suministro de agua potable actual para el núcleo urbano de Canyelles mediante el programa EPANET.....	70
9.3. Esquema de abastecimiento	74
9.3.1. Depósito de ATLL.....	77
9.4. Presentación de la red de agua potable del núcleo urbano de Canyelles en la interfaz de EPANET	78
10. Simulación con EPANET.....	79
10.1. Resultados de la primera simulación	79
10.1.1. En condiciones de caudal medio.....	79
10.1.2. Calibración del modelo.....	83
10.1.3. Comprobación de hidrantes en régimen permanente	85
10.2 Resultados de la red en régimen dinámico.....	87
10.2.1 Primer análisis en régimen dinámico	88

10.2.2. Análisis definitivo en régimen dinámico.....	91
10.2.3 Comprobación de hidrantes en régimen dinámico.....	93
10.2.4 Comprobación con todos los hidrantes en funcionamiento.....	95
11. Problemas en la red	104
12. Posibles soluciones.....	105
13. Modelo de red de agua potable del núcleo urbano de Canyelles aplicando las soluciones propuestas.....	106
14. Presupuesto	108
15. Conclusiones.....	111
16. Agradecimientos.	113
17. Referencias.....	114

ANEXOS

ANEXO 1. Régimen permanente

1.1 Presiones y otros factores

1.2 Caudales y otros factores

1.3 Presiones y otros factores una vez calibrado

1.4. Caudales y otros factores una vez calibrado

1.5 Presiones y otros factores con los hidrantes en funcionamiento

1.6 Caudales y otros factores con los hidrantes en funcionamiento

ANEXO 2. Régimen dinámico

2.1 Justificación de los valores de presión y caudal

2.2 Justificación de los valores de presión y caudal comprobando los dos hidrantes

2.3 Justificación de los valores con todos los hidrantes en funcionamiento

2.4 Justificación de los valores con todos los hidrantes añadiendo los dos correspondientes.

ANEXO 3. Régimen dinámico con las tuberías propuestas.

3.1 Justificación de los valores de presión y caudal con las nuevas tuberías.

3.2 Justificación de los valores de presión y caudal con todos los hidrantes y las tuberías nuevas.

ANEXO 4. Presupuesto detallado.

ANEXO 5. Planos.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Fotografía aérea del núcleo urbano de Canyelles. [Fuente: googlemaps.es]	15
Figura 3.2. Fotografía aérea del municipio de Canyelles. [Fuente: googleearth.com]	16
Figura 5.1. Ejemplo de toma de agua superficial. [Fuente: es.slideshare.net]	22
Figura 5.2. Ejemplo de explotación de un acuífero. [Fuente: www.fing.edu.uy]	22
Figura 5.3. Ejemplo de red de distribución abierta.[Fuente: propia].....	25
Figura 5.4. Ejemplo de red de distribución cerrada.[Fuente: propia].....	25
Figura 5.5. Detalle de una acometida [Fuente: SOREA, SAU]	28
Figura 5.6. Ejemplo de contador. [Fuente: http://www.consumer.es]	29
Figura 5.7. Esquema de un sistema de abastecimiento. [Fuente: http://www.bvsde.paho.org]	29
Figura 6.1. Clasificación según UNE-EN 12201 para las tuberías de polietileno. [Fuente: www.blogplastics.com].	33
Figura 6.2. Presión admisible según diámetro de la tubería de polietileno y RMS. [Fuente: www.blogplastics.com].	33
Figura 6.3 Cálculo de presiones para las tuberías de fundición dúctil.[Fuente: www.interempresas.net].	34
Figura 6.4 clases de presión según UNE-EN 545:2011. [Fuente: www.interempresas.net] .	34
Figura 6.5. Válvula de compuerta de doble disco. [Fuente: es.rexvalves.com]	37
Figura 6.6. Válvula de compuerta de cuña maciza y asiento resistente. [Fuente: watersealvave.com]	37
Figura 6.7. Válvula de compuerta de guillotina. [Fuente: http://www.directindustry.es]	38
Figura 6.8. Válvula mariposa [Fuente: http://www.directindustry.es].....	38
Figura 6.9. Válvula reductora de presión. [Fuente: http://www.genebre.es]	39
Figura 6.10. Válvula sostenedora de presión. [Fuente: http://www.aguamarket.com]	40
Figura 6.11. Válvula de control de caudal. [Fuente: http://catalog.alerton.com]	40
Figura 6.12. Válvula de altura manual. [Fuente: http://www.cojali.com].....	40
Figura 6.13. Válvula de presión de seguridad. [Fuente: http://www.directindustry.es].....	41
Figura 6.14. Ventosa. [Fuente: http://www.arivalves.com]	41
Figura 6.15. Zanja tipo pavimento asfáltico (dimensiones en metros). [Fuente: SOREA, SAU]	42
Figura 6.16. Zanja tipo en tierras (dimensiones en metros). [Fuente: SOREA, SAU]	43

Figura 6.17. Zanja tipo hormigón (dimensiones en metros). [Fuente: SOREA, SAU].....	43
Figura 6.18. Arqueta de contadores. [Fuente: https://www.tecnologia-informatica.es/instalacion-de-agua-en-viviendas/].....	44
Figura 6.19. Registros. [Fuente: http://www.material-electrico.com/]	44
Figura 6.20. Hidrante de columna tipo 100 mm. [Fuente: http://www.ruvaseguridad.com/contraincendios/hidrantes.html]	45
Figura 6.21. Hidrante de arqueta con dos salidas de 45 mm. [Fuente: http://www.extin-alba.com/hidrantes.html]	45
Figura 6.22. Imagen de una pantalla de un telecontrol típico. [Fuente: https://www.aiguesmataro.com/es/telecontrol].....	46
Figura 7.1. Esquema de posibles pérdidas y su origen. [Fuente: propia]	49
Figura 7.2. Gráfica de consumo del depósito ATLL de Canyelles durante un periodo de 2 semanas. [Fuente: Sorea, SAU].	51
Figura 7.3. Gráfica de consumo del depósito ATLL de Canyelles durante un periodo de 1 semana. [Fuente: Sorea, SAU].....	51
Figura 7.4. Gráfica de consumo del depósito ATLL de Canyelles durante un periodo de un día. [Fuente: Sorea, SAU].	52
Figura 8.1. Simbología de los elementos dentro del software GIS. [Fuente: SOREA, SAU] ...	54
Figura 8.2. Trazado de las tuberías según material y diámetro dentro del software GIS. [Fuente: SOREA, SAU]	54
Figura 9.1. Cartografía original de la red en la zona de Canyelles pueblo. [Fuente: SOREA, SAU]	70
Figura 9.2. Zanja realizada cerca del depósito Collado. [Fuente: propia]	71
Figura 9.3. Zanja realizada cerca del depósito Collado. [Fuente: propia]	71
Figura 9.4. Contadores de la calle Buscarró. [Fuente: propia].....	72
Figura 9.5. Reasfaltado de la calle Can Xum con Manel de Reguera. [Fuente: propia]	73
Figura 9.6. Repavimento de la calle Can Xum. [Fuente: propia].....	73
Figura 9.7. Cartografía actual de la red de Canyelles. [Fuente: SOREA, SAU].....	74
Figura 9.8. Esquema de abastecimiento de Canyelles. [Fuente: SOREA, SAU].....	76
Figura 9.9. Esquema de abastecimiento y las diferentes instalaciones de ATLL. [Fuente: www.atll.cat/]	77
Figura 9.10. Red de agua potable del núcleo de Canyelles en la interfaz de EPANET.	78
Figura 10.1. Análisis de las presiones más altas y bajas del núcleo urbano de Canyelles.[Fuente:propia]	81

Figura 10.2. Análisis de Caudal del núcleo urbano de Canyelles. [Fuente: propia]	82
Figura 10.3. Gráfica de correlación de la presión (en m.c.a.). [Fuente: propia].	83
Figura 10.4. Comparación de los valores medios de presión (en m.c.a.). [Fuente: propia] ..	84
Figura 10.5. Gráfica de correlación de la presión (en m.c.a.) del segundo calibrado.[Fuente: propia]	85
Figura 10.6. Comparación de los valores medios de presión (en m.c.a.) del segundo calibrado. [Fuente: propia].	85
Figura 10.7. Presiones con los hidrantes en funcionamiento. [Fuente: propia].	86
Figura 10.8 Patrón de consumo del núcleo urbano. [Fuente: propia]	87
Figura 10.9 Patrón de consumo de la Fábrica. [Fuente: propia]	87
Figura 10.10 Patrón de consumo del colegio. [Fuente: propia]	87
Figura 10.11 Patrón de consumo del depósito Aljub Comallarich. [Fuente: propia]	88
Figura 10.12 variación de caudal en la línea 14. [Fuente: propia].	88
Figura 10.13 presión en el nudo 764. [Fuente: propia].	89
Figura 10.14 presión en el nudo 638. [Fuente: propia]	89
Figura 10.15 presión en el nudo 579. [Fuente: propia]	90
Figura 10.16 presión en el nudo 735. [Fuente: propia]	90
Figura 10.17 presión en el nudo 482. [Fuente: propia].	91
Figura 10.18 presión en el nudo 638. [Fuente: propia].	92
Figura 10.19 presión en el nudo 579. [Fuente: propia].	92
Figura 10.20 presión en el nudo 482. [Fuente: propia].	93
Figura 10.21 presión en el nudo 12. [Fuente: propia].	93
Figura 10.22 caudal de la línea 14 con los hidrantes en funcionamiento. [Fuente: propia]..	94
Figura 10.23 presión en el nudo 638 con los hidrantes en funcionamiento. [Fuente: propia]	94
Figura 10.24 presión en el nudo 19 con los hidrantes en funcionamiento. [Fuente: propia].	95
Figura 10.25 presión en el nudo 20 con los hidrantes en funcionamiento. [Fuente: propia].	95
Figura 10.26. Localización de los hidrantes con nudos 34 y 31. [Fuente: propia].	96
Figura 10.27 Localización de los hidrantes con nudos 28 y 29. [Fuente: propia].	97
Figura 10.28 Localización de los hidrantes con nudos 27 y 24. [Fuente: propia].	98
Figura 10.29 Localización de los hidrantes con nudos 22 y 21. [Fuente: propia].	99

Figura 10.30. Localización de los hidrantes con nudos 19 y 20. [Fuente: propia].	100
Figura 10.31. Variación del caudal de la línea 14 con todos los hidrantes en funcionamiento. [Fuente: propia].	101
Figura 10.32 Variación de la presión en el nudo 764 con todos los hidrantes en funcionamiento. [Fuente: propia].	101
Figura 10.33 Variación de la presión en el nudo 638 con todos los hidrantes en funcionamiento. [Fuente: propia].	101
Figura 10.34 Variación de la presión en el nudo 12 con todos los hidrantes en funcionamiento. [Fuente: propia].	102
Figura 10.35 Variación de la presión en el nudo 579 con todos los hidrantes en funcionamiento. [Fuente: propia].	102
Figura 10.36 Localización de los nuevos hidrantes. [Fuente: propia].	103
Figura 13.1 Variación de presión en el nudo 638. [Fuente: propia].	106
Figura 13.2 Variación de presión en el nudo 579. [Fuente: propia].	106
Figura 13.3 Variación de presión en el nudo 482. [Fuente: propia].	107
Figura 13.4 Variación de presión en el nudo 12. [Fuente: propia].	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Evolución de la población total de Canyelles [Fuente: www.idescat.cat]	17
Tabla 5.1. Actuación según el tipo de contaminante. [Fuente: Calidad y tratamiento del Agua, 2002. American Water Works Association]	23
Tabla 5.2. Grados de tratamiento. [Fuente: Calidad y tratamiento del Agua, 2002. American Water Works Association]	24
Tabla 5.3. Coeficientes punta según el número de viviendas. [Fuente: http://www.habitatge.gva.es]	27
Tabla 6.1. Diámetros en función del material más utilizados. [Fuente: SOREA, SAU]	32
Tabla 6.2. Inventario de las tuberías según diámetro y material. [Fuente: SOREA, SAU]	35
Tabla 6.3. Diámetros usados en la red. [Fuente: SOREA, SAU]	36
Tabla 6.4. Elementos que forman la red. [Fuente: SOREA, SAU]	47
Tabla 8.1. Fórmulas de Pérdida de Carga para tubería en presión. [Fuente: Manual EPANET]	64
Tabla 8.2. Coeficientes de rugosidad para tubería nueva. [Fuente: Manual de EPANET]	64
Tabla 8.3. Coeficientes de pérdidas de algunos accesorios. [Fuente: Manual de EPANET]	66
Tabla 8.4. Parámetros de las conexiones. [Fuente: Manual de EPANET]	67
Tabla 8.5. Parámetros de los depósitos. [Fuente: Manual de EPANET]	67
Tabla 8.6. Parámetros de los tanques. [Fuente: Manual de EPANET]	67
Tabla 8.7. Parámetros de las tuberías. [Fuente: Manual de EPANET]	68
Tabla 8.8. Parámetros de las válvulas. [Fuente: Manual de EPANET]	68
Tabla 8.9. Parámetros de las bombas. [Fuente: Manual de EPANET]	68
Tabla 9.1. m ³ suministrados a Canyelles. [Fuente: www.atll.cat/]	77
Tabla 10.1. Estadística de calibración para los datos de presiones. [Fuente: propia]	83
Tabla 10.2. Estadística de presión del segundo calibrado. [Fuente: propia]	84
Tabla 11.1. Averías de la red de agua del núcleo urbano de Canyelles de 2017. [Fuente: Sorea, SAU]	104
Tabla 12.1 Cambios propuestos para las tuberías de fibrocemento. [Fuente: propia]	105
Tabla 14.1 Resumen del presupuesto del presente proyecto. [Fuente: propia]	108

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Evolución del número de habitantes de Canyelles. [Fuente: www.idescat.cat]. ..	17
Gráfico 6.1. Porcentaje de material empleado. [Fuente: SOREA, SAU].	35
Gráfico 6.2. Porcentaje de diámetros empleados. [Fuente: SOREA, SAU].	36

1. Objetivos

El objetivo del presente proyecto es estudiar las características y el comportamiento actual de la red de agua potable del núcleo urbano de Canyelles con el objeto de determinar posibles problemas y carencias.

Como objetivos parciales se tiene:

- Actualización de los datos disponibles de la red de distribución e identificación de puntos desconocidos.
- Generación del modelo de simulación basado en consumos reales.
- Simulación mediante el programa EPANET del estado actual de la red de agua potable.
- Identificación de puntos conflictivos y problemas derivados.
- Posibles modificaciones a realizar con objeto de subsanar los problemas detectados

La realización de este modelo de simulación de la actual red de distribución de agua potable del núcleo urbano de Canyelles, objeto del presente trabajo, se engloba en un objetivo más amplio como es la realización del Plan Director de abastecimiento del servicio de agua potable de Canyelles a realizar por la empresa suministradora; dicho documento englobará un análisis exhaustivo del servicio y de sus instalaciones, así como un estudio de proyección de futuro.

Este trabajo final de grado tiene como objetivo ayudar en la realización del análisis exhaustivo de la red y ofrecer un modelo de la misma que permita posteriormente estudiar la posibilidad y repercusión de futuras modificaciones a realizar en el servicio.

Este proyecto se ha realizado dentro del convenio de prácticas de empresa en colaboración conjunta de la EPSEVG (Escuela Politécnica Superior de Vilanova i la Geltrú –UPC-) y SOREA, SAU (Sociedad Regional de Abastecimiento de Aguas).

Como objetivos formativos pueden destacarse los siguientes:

- Utilizar software de gestión de redes hidráulicas.
- Manejar los conceptos y ecuaciones hidráulicas del movimiento del flujo en tuberías a presión.
- Adquirir conocimientos relacionados con la infraestructura de distribución de agua de consumo humano.
- Adquirir conocimientos relacionados con la gestión de redes.

- Trabajar en equipo dentro de un ámbito profesional especializado.
- Gestionar información técnica en el ámbito de la distribución de agua de consumo humano.

2. Metodología

Para realizar los objetivos marcados seguiremos las siguientes fases:

- Recopilación de información

En esta fase se hará la búsqueda de información donde la fuente principal será la empresa SOREA, SAU. A parte, se consultarán páginas webs oficiales.

La información que se requiere es:

- Cartografía de la zona.
 - Población actual del municipio.
 - Estado, material, dimensiones y trazado de las tuberías de distribución.
 - Situación y características de las válvulas reguladoras y otros elementos.
 - Funcionamiento del servicio: consumos, presiones, puntos débiles,...
-
- Análisis de la red de agua potable

En base a los datos de la fase anterior y mediante el software EPANET se realizarán los siguientes puntos para llegar a cumplir el objetivo principal:

- Realización del modelo de la red.
 - Calibración de la red actual.
 - Simulación de la red actual (estado transitorio y permanente)
 - Definición de puntos o zonas problemáticas.
-
- Planteamiento de posibles soluciones a los problemas detectados.
 - Simulación de las soluciones propuestas.

3. Antecedentes

3.1. Localización geográfica

El municipio de Canyelles se encuentra en el norte de la comarca del Garraf, en la provincia de Barcelona, al límite de l'Alt Penedès. Delimita con los municipios de Olivella, San Pedro de Ribas, Vilanova i la Geltrú que pertenecen a la comarca del Garraf. Y, delimita con los municipios de Castellet i la Gornal, i d'Olèrdola de la comarca de l'Alt Penedès.

Canyelles tiene una superficie de 14,2 km² y a una altitud aproximada de 142 metros respecto al nivel del mar. El municipio ha tenido un importante crecimiento residencial en los últimos años. En el año 2016 se registró la cifra de 4407 habitantes que se reparten entre el núcleo urbano (Figura 3.2) y las urbanizaciones de Daltmar, Las Cogullades, Vora Sitges, Can Roca, Las Américas, Nou Canyelles, California, Selva Maravillas, Las Palmeras y Montaña del mar (Figura 3.3). El municipio está rodeado por espacios naturales protegidos como el Parque de Olèrdola y el Parque del Garraf.



Figura 3.1. Fotografía aérea del núcleo urbano de Canyelles. [Fuente: googlemaps.es]



Figura 3.2. Fotografía aérea del municipio de Canyelles. [Fuente: googleearth.com]

3.2 Población

Según los datos proporcionados por el Instituto de Estadística de Cataluña (IDESCAT) el número de población en Canyelles en el año 2016 era de 4407 habitantes. En la tabla 1 se muestra la evolución del número de habitantes total del municipio y del núcleo urbano de Canyelles, desde el año 2000 hasta 2016. En el gráfico 1 se visualiza dicha evolución. Como se puede observar el crecimiento demográfico del municipio de Canyelles se debe fundamentalmente al crecimiento en 2.111 habitantes de las zonas periféricas (urbanizaciones), mientras que el crecimiento del núcleo urbano ha sido mucho más moderado estando en casi una sexta parte del total (458 habitantes).

Tabla3.1 Evolución de la población total de Canyelles [Fuente: www.idescat.cat]

Año	Total	Núcleo urbano
2016	4.407	1.287
2015	4.375	1.307
2014	4.345	1.307
2013	4.319	1.285
2012	4.275	1.297
2011	4.282	1.285
2010	4.196	1.284
2009	4.104	1.279
2008	4.005	1.271
2007	3.783	1.247
2006	3.440	1.183
2005	3.127	1.148
2004	2.808	1.075
2003	2.485	993
2002	2.268	921
2001	2.008	868
2000	1.838	829

En el gráfico 1 se puede ver de forma visual la evolución de la población respecto al año. Como se ha comentado anteriormente, se puede comprobar que la recta de la población total tiene una pendiente considerable desde el 2000 hasta el 2008 y después tiende a estabilizarse. Mientras que la gráfica de crecimiento de población del núcleo urbano es bastante estable, observándose una cierta estabilización desde el año 2008 hasta la actualidad.

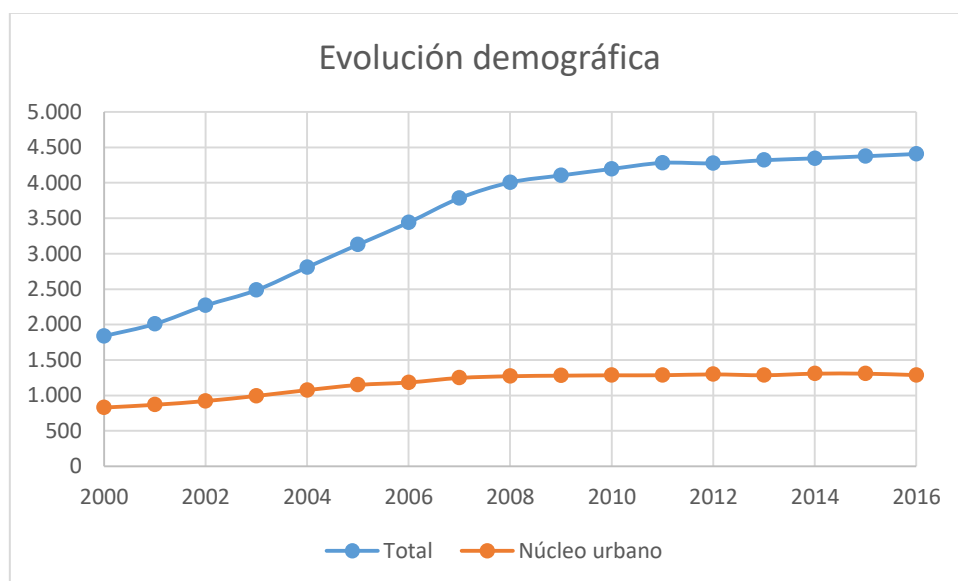


Gráfico 1. Evolución del número de habitantes de Canyelles. [Fuente: www.idescat.cat].

3.3 Ámbito y alcance

El ámbito de este proyecto es todo el sistema de abastecimiento de agua potable del núcleo urbano del municipio de Canyelles incluyendo todos los elementos que lo conforman.

Dentro del alcance de este proyecto se han considerado todos los elementos que componen el sistema de abastecimiento y distribución de agua potable al núcleo urbano de Canyelles. Se ha de remarcar que en ningún momento se ha simplificado la red, es decir, se han tenido en cuenta todas las tuberías independientemente de su diámetro. Esta metodología permite tener un conocimiento más profundo y con gran detalle de toda la red a estudiar. Sin embargo, se ha respetado en la medida de lo posible la distribución de la red aunque hay zonas en las que se han tenido que realizar alguna hipótesis por falta de información. En el desarrollo del proyecto se explicara cómo se ha llegado a la conclusión de dichas hipótesis y porque se pueden considerar bastante fiables.

4. Normativa

El presente trabajo se apoya en las siguientes normativas:

Abastecimiento de agua potable

- **Calidad del agua de consumo**

R.D. 140/2003 del 7 de Febrero de 2003, donde “se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano”.

- Real Decreto 314/2016 de 29 de julio (BOE 183 de 30.07.16), por el que se modifica el Real Decreto 140/2003 por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad de agua de consumo humano.

- **Instalaciones interiores**

Real decreto 314/2006 por el cual se aprueba el Código técnico de la edificación.

- Código Técnico de la Edificación (CTE) HS4 “Suministro de agua”
- Pliego de prescripciones técnicas para tuberías de abastecimiento de agua (MOPU) 1974
- Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión (CEDEX)

- **Normativa UNE**

UNE-EN 805: 2000.“Abastecimiento de agua. Especificaciones de redes exteriores a los edificios y sus componentes”

UNE-EN 14801:2007. Condiciones para la clasificación de productos para tuberías de agua y de aguas residuales en función de la presión.

UNE-EN 545:2011. Tubos, racores y accesorios de fundición dúctil y sus uniones para canalizaciones de agua. Requisitos y métodos de ensayo.

UNE-EN 12201-5:2012. Sistemas de canalización en materiales plásticos para conducción de agua y saneamiento con presión. Polietileno (PE). Parte 5: Aptitud al uso del sistema.

UNE-EN 545:2011. Tubos, racores y accesorios de fundición dúctil y sus uniones para canalizaciones de agua. Requisitos y métodos de ensayo.

UNE 127340:2006. Bordillos prefabricados de hormigón. Especificaciones y métodos de ensayo. Complemento nacional a la Norma UNE-EN 1340.

UNE-EN 1340:2004. Bordillos prefabricados de hormigón. Especificaciones y métodos de ensayo.

Normas Tecnológicas NTE. (MOPU) 1976

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

Protección contra incendios

Real decreto 314/2006 por el cual se aprueba el Código técnico de la edificación.

- Código Técnico de la Edificación (CTE) DB-SI Seguridad en caso de incendio.

Ley 3/2010, de 18 de febrero, de prevención de incendios.

Real Decreto 513/2017, de 22 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.

5. Conceptos de un sistema de distribución de agua potable urbana

Un sistema de distribución de agua consta de tres componentes principales: bombas, almacenaje para distribución y red de tuberías de distribución. La mayoría de los sistemas requieren bombas para suministrar presión con objeto de vencer las diferencias de altura y pérdidas de energía causadas en la red. Los tanques de almacenaje se incluyen en los sistemas para suministro de emergencia o para nivelación para reducir costes de energía. Las tuberías pueden llevar dispositivos de control de caudal, como válvulas reguladoras o reductoras de presión.

5.1. Componentes de un sistema de distribución de agua potable urbana

Los principales componentes son: fuentes de abastecimiento, captación, aducción o impulsión, tratamiento del agua, almacenamiento de agua tratada, red de distribución, acometidas y medición.

5.1.1. Fuentes de abastecimiento

Las fuentes de abastecimiento de agua pueden ser: subterráneas, superficiales o meteorológicas.

- Las fuentes subterráneas tienen su procedencia de manantiales, galerías filtrantes y pozos.

Las fuentes subterráneas protegidas generalmente están libres de microorganismos patógenos y presentan una calidad compatible con los requisitos para consumo humano. Sin embargo, previamente a su utilización es fundamental conocer las características del agua, para lo cual se requiere realizar los análisis físico-químicos y bacteriológicos correspondientes.

- Las fuentes superficiales tienen su procedencia en lagos, ríos, embalses, arroyos, etc.

En caso de utilizar aguas superficiales para abastecimiento, además de conocer las características físico-químicas y bacteriológicas será preciso definir el tratamiento requerido en caso de que no atiendan a los requerimientos de calidad para el consumo humano.

5.1.3. Aducción o impulsión

Se denomina aducción o impulsión a la acción de transportar el agua desde la captación hasta la planta potabilizadora de agua o depósito regulador, o bien, transportar agua entre depósitos. Para ello se utilizan tuberías de transporte. Estas tuberías tienen la característica de que no suministran agua a ningún abonado, sino que sirven para unir diferentes instalaciones del servicio.

5.1.4. Tratamiento del agua

El tratamiento del agua es un proceso mediante el cual se eliminan microorganismos y sustancias que implican riesgo para la salud.

Los tratamientos se clasifican según tres parámetros: los componentes o impurezas a eliminar, los parámetros de calidad y los grados de tratamientos de agua.

- Según los componentes o impurezas a eliminar (Tabla 5.1)

Tabla 5.1. Actuación según el tipo de contaminante. [Fuente: Calidad y tratamiento del Agua, 2002. American Water Works Association]

Tipo de contaminante	Operación Unitaria
Sólidos gruesos	Desbaste
Partículas coloidales	Coagulación+Floculación+Decantación
Sólidos en suspensión	Filtración
Materia Orgánica	Afino con Carbón Activo
Amoniaco	Cloración al Breakpoint
Gérmes Patógenos	Desinfección
Metales no deseados (Fe, Mn)	Precipitación por Oxidación
Sólidos disueltos (Cl ⁻ , Na ⁺ , K ⁺)	Ósmosis Inversa

- Según parámetros de calidad. Se especifican tres tipos:

TIPO A1: Tratamiento físico simple y desinfección.

TIPO A2: Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección.

TIPO A3: Tratamiento físico y químico intensivo, afino y desinfección.

- Según grados de tratamiento (Tabla 5.2)

Tabla 5.2. Grados de tratamiento. [Fuente: Calidad y tratamiento del Agua, 2002. American Water Works Association]

Grado	Composición del tratamiento	Descripción
Tipo A1	Tratamiento físico simple y desinfección	Filtración rápida y desinfección
Tipo A2	Tratamiento físico normal y tratamiento químico	Pre cloración
		Coagulación / Flocculación
		Decantación
		Filtración
		Desinfección
Tipo A3	Tratamiento físico y químicos intensos	Cloración al Breakpoint
		Coagulación / Flocculación
		Decantación
		Filtración
		Afino con Carbón activo

5.1.5. Almacenamiento del agua tratada

Se utiliza una estructura destinada a almacenar parte de los volúmenes requeridos por la población a fin de garantizar su entrega de manera continua y permanente. Además el depósito de almacenamiento tiene como objetivo garantizar las presiones requeridas en los aparatos sanitarios de las viviendas.

5.1.6. Red de distribución

La red de distribución es todo el conjunto de tuberías y elementos que permiten la distribución del agua potable desde el almacenamiento de agua tratada hasta los usuarios del agua.

Existen tres tipos de redes de distribución: redes abiertas, redes cerradas y redes mixtas, clasificadas de acuerdo con la disposición de las tuberías principales.

En las redes abiertas (Figura 5.3), las tuberías principales derivan de un conducto central. Este tipo es muy usado en pequeñas poblaciones y urbanizaciones, en las cuales hay una vía principal a la cual convergen las demás vías públicas. Sus inconvenientes son una distribución de presión deficiente en los puntos de consumo más alejados del de almacenamiento y las averías que afecten a conducciones principales.

La circulación del agua solo tiene un sentido en las redes abiertas. Sin embargo, en las cerradas (Figura 5.4), las tuberías principales forman circuitos o anillos, que semejan la disposición de

una malla. Este tipo de red generalmente aporta mayor eficiencia que la abierta, porque la circulación del agua en los conductos se puede efectuar en ambos sentidos y ofrece una mayor uniformidad de presiones.



Figura 5.3. Ejemplo de red de distribución abierta. [Fuente: propia]

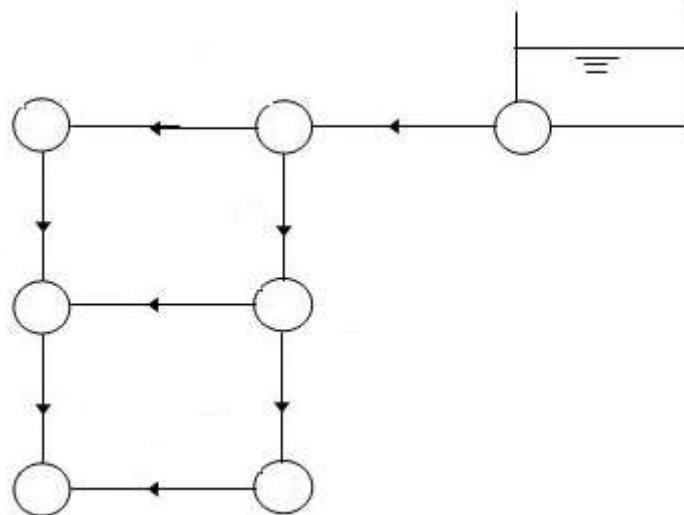


Figura 5.4. Ejemplo de red de distribución cerrada. [Fuente: propia]

5.1.6.1 Caudal de distribución

En las redes abiertas, el caudal por metro lineal de conductos se considera:

$$q_m = \frac{K \cdot Q \cdot P}{86400 \cdot L} \text{ [L/s} \cdot \text{m]}$$

Donde:

q_m = caudal de distribución en el trayecto en L/s por metro de conducto.

P = población que se abastecerá con el trayecto.

K = coeficiente de refuerzo.

L = longitud total de la red, en metros.

Q = cuota per cápita, en litro / día.

Para las redes cerradas, el caudal de distribución es el caudal por área que abastecerá la red:

$$q_d = \frac{K \cdot Q \cdot P}{86400 \cdot A} \text{ [L/s} \cdot \text{Ha]} \quad [1]$$

Donde:

q_d = caudal de distribución en L/s por hectárea.

P = población que se abastecerá con el trayecto.

K = coeficiente de refuerzo.

Q = cuota per cápita, en litro / día.

A = área comprendida por la red, en Ha.

5.1.6.2. Caudal punta

Los consumos de agua varían según la hora, día de la semana y con las estaciones. Los cambios son mayores en localidades pequeñas, en comparación con las grandes, y durante periodos cortos más que durante períodos largos de tiempo. Las variaciones en el consumo de agua se expresan usualmente como relaciones o ratios de la demanda media diaria, que se denominan comúnmente *coeficiente punta*. Éstos deben calcularse a partir de los datos reales de consumo de cada comunidad individual.

El coeficiente punta (KP) se define como la relación entre los caudales punta y medio según:

$$K_p = \frac{Q_{\text{punta}}}{Q_{\text{medio}}} \quad [2]$$

Caudal medio (Q_m): Volumen de agua inyectado al sistema en un período de tiempo determinado, generalmente se expresa en m³ /h.

Caudal punta (QP): es el caudal que se demanda en horas de mayor consumo, generalmente se expresa en m³ /h.

La tabla 5.3. presenta algunos factores punta típicos.

Tabla 5.3. Coeficientes punta según el número de viviendas. [Fuente:
<http://www.habitatge.gva.es>].

Número de viviendas	Kp
< 10	18,4 - 18,9
11 a 20	10,2 - 18,8
21 a 50	5,4 - 10,6
51 a 100	3,6 - 5,8
101 a 250	2,5 - 4,0
251 a 500	2,2 - 2,9
501 a 1000	2,1 - 2,6
1001 a 1500	2,0 - 2,5
> 1500	2

5.1.7. Acometidas

Las acometidas son las derivaciones individuales para cada abonado o grupo de abonados de la red de distribución. Actualmente, aproximadamente el 96% de las acometidas de los diferentes núcleos son de polietileno.

Según el CTE (HS4), una acometida debe disponer, como mínimo, de los elementos siguientes:

- a) una llave de toma o un collarín de toma en carga, sobre la tubería de distribución de la red exterior de suministro que abra el paso a la acometida;
- b) un tubo de acometida que enlace la llave de toma con la llave de corte general;
- c) una llave de corte en el exterior de la propiedad.

Además, normalmente, al final de cada acometida hay un contador para poder contabilizar el consumo de cada abonado. Lo ideal, es que estos contadores estén situados en la fachada de las viviendas protegidos dentro de un cajetín que solo puede ser manipulado por un operario. Ahora bien, la mayoría de contadores en Canyelles están situados en el suelo justo en frente de la vivienda.

5.1.7.1. Partes de la acometida

A continuación se muestra en la figura 5.5 el detalle de una acometida.

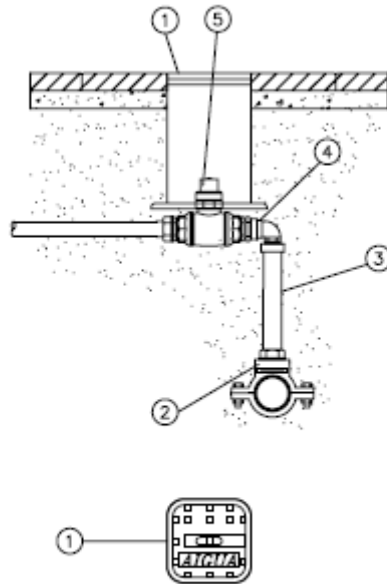


Figura 5.5. Detalle de una acometida [Fuente: SOREA, SAU]

1. Registro hidráulico B125 agua potable.
2. Collarín de presa en carga.
3. Tubo de polietileno AD PN10.
4. Accesorios de latón conexión válvula.
5. Válvula de servicio.

5.1.8. Mediciones

Consiste básicamente en registrar el consumo de los abonados. El elemento más utilizado para ello son los contadores (Figura 5.6.).



Figura 5.6. Ejemplo de contador. [Fuente: <http://www.consumer.es>]

5.1.9. Esquema de abastecimiento de agua potable

En la figura 5.7 se puede observar un esquema básico de un sistema de abastecimiento de agua potable. Entre la captación y la conducción se ha de añadir el tratamiento.

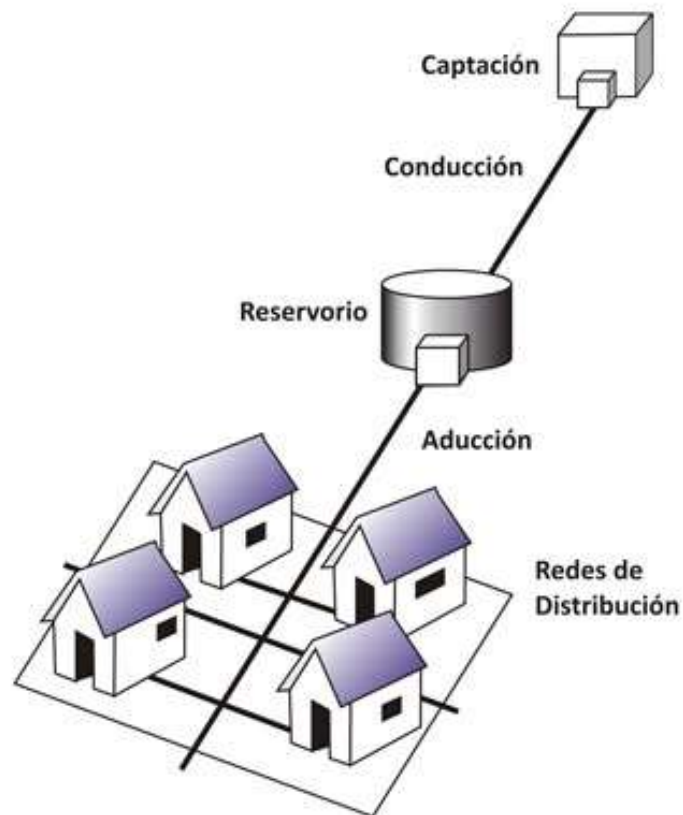


Figura 5.7. Esquema de un sistema de abastecimiento. [Fuente: <http://www.bvsde.paho.org>]

6. Inventario de la instalación a simular

Este apartado consiste en explicar cada elemento y su función. Además del propio inventario de los elementos.

6.1. Introducción

Después de explicar un sistema de abastecimiento de agua potable básico, se han de incluir otros elementos fundamentales en una red de agua como los que se explican a continuación.

6.2. Elementos

Los elementos principales son: tuberías; válvulas; descargas; ventosas; zanjas, arquetas y registros; hidrantes de incendio.

6.2.1. Tuberías

Las tuberías son elementos fundamentales para el transporte del agua. La norma para las redes de abastecimiento es la UNE-EN 805:2000: Abastecimiento de agua. Especificaciones para redes exteriores a los edificios y sus componentes.

Los principales materiales usados en las tuberías son:

- Tuberías de fundición dúctil: Se fabrica con una aleación de acero centrifugado y moldeado en molde de arena o metálico. Antes de 1970, la mayoría de las tuberías y accesorios de hierro fundido eran de fundición gris, un material frágil que es débil en cuanto a su resistencia. Pero en la actualidad, toda la tubería de fundición y sus accesorios, excepto el tubo enterrado (que se usa para aplicaciones sin presión en instalaciones de fontanería) está hecha de fundición dúctil. Éste se produce mediante adición de magnesio al hierro fundido con bajo contenido en sulfuros, produciendo la precipitación del grafito en forma de esferoides, haciéndolo así tan fuerte como el acero. En relación precio calidad son correlativos, es decir, tienen alta calidad pero elevado precio.

- Tuberías de polietileno (PE): el proceso de fabricación de tubos de PE puede realizarse por extrusión y sus accesorios suelen ser fabricados por inyección. Dado que se trata de un material termoplástico, su capacidad de soportar presión depende de la temperatura. A medida que la temperatura de trabajo se eleva por encima de los 23 grados, la capacidad de presión disminuye hasta un nivel por debajo de su clase de presión. En relación calidad precio es el más adecuado, ya que tiene buena calidad y un precio asequible.
- Tuberías de fibrocemento: está fabricada mezclando cemento Portland y fibra de amianto a presión, y calentando hasta producir un producto resistente y mecanizable. Este material entra en conflicto en los años setenta cuando se creía que el amianto era perjudicial para el medio ambiente y para el agua potable. Sin embargo, se realizaron estudios en los que concluían que no había relación entre el agua suministrada con ninguna enfermedad. Ahora bien, se ha demostrado que el fibrocemento puede provocar cáncer de pulmón al respirar las partículas que desprende cuando se realiza un corte. Por eso, existen trajes especiales para trabajar con esta tubería. Hoy en día todavía hay bastantes municipios usando este tipo de material para abastecer con agua potable, aunque la tendencia es ir substituyendo las tuberías de fibrocemento.

Existen tuberías con otros tipos de materiales, como las tuberías de cloruro de polivinilo (PVC), de hormigón armado o de acero. Las de PVC y hormigón armado son más frecuentemente utilizadas para saneamiento.

Según el material existen varios tipos de diámetros, en la tabla 6.1 se muestra como es esa relación.

Tabla 6.1. Diámetros en función del material más utilizados. [Fuente: SOREA, SAU]

Material	Nomenclatura	Diámetro (mm)
Poliétileno	PE 25	21
	PE32	28
	PE 40	35,2
	PE 50	44
	PE 63	55,4
	PE 75	66
	PE 90	79,2
	PE 110	97
	PE 125	110,2
	PE 140	123,4
	PE 160	141
	PE 200	176,2
Fibrocemento	FC 50	50
	FC 60	60
	FC 80	80
	FC 100	100
	FC 125	125
	FC 150	150
	FC 175	175
	FC 200	200
	FC 300	300
	FC 400	400
Fundición dúctil	FD 60	60
	FD 80	80
	FD 100	100
	FD 125	125
	FD 150	150
	FD 200	200
	FD 300	300
	FD 400	400
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	PRF 300	300
	PRF 600	600

Material	MRS (Mpa)	Denominación según UNE-EN 12201	Tensión de diseño (Mpa)	Coef. Seguridad C	Norma UNE-EN	Color
PE40	4	PE40	3.2	1.25	12201	Negro con banda azul
PE63	6.3	PE63	5	1.25	12201	
PE80	8	PE80	6.3	1.25	12201	
PE100	10	PE100	10	1.25	12201	

Figura 6.1. Clasificación según UNE-EN 12201 para las tuberías de polietileno. [Fuente: www.blogplastics.com].

(Medidas en mm)

SDR	33	26	21	17	13,6	11	9	7,4							
S	16	12,5	10	8	6,3	5	4	3,2							
Tipo	Presión Nominal (bar)														
PE 40	-	-	-	4	-	6	-	10							
PE 80	4	5	6	8	10	12,5	16	20							
PE 100	5	6	8	10	12,5	16	20	25							
SN (kN/m ²)	2	4	8	16	32	64	80	128							
DN (Dext)	Espesor Nominal (e) y Diámetro interior (Di)														Paso nominal
	e	Di	e	Di	e	Di	e	Di	e	Di	e	Di	e	Di	
20									2.0	16.0	2.3	15.4	3.0	14.0	15
25									2.0	21.0	2.3	20.4	3.0	19.0	20
32							2.0	28.0	2.4	27.2	3.0	26.0	3.6	24.8	25
40					2.0	36.0	2.4	35.2	3.0	34.0	3.7	32.6	4.5	31.0	32
50			2.0	46.0	2.4	45.2	3.0	44.0	3.7	42.6	4.6	40.8	5.6	38.4	40
63			2.5	58.0	3.0	57.0	3.8	55.4	4.7	53.6	5.8	51.4	7.1	48.8	50
75			2.9	69.2	3.5	67.8	4.5	66.0	5.6	63.8	6.8	61.4	8.4	58.2	65
90			3.5	83.0	4.3	81.4	5.4	79.2	6.7	76.6	8.2	73.6	10.1	69.8	80
110			4.2	101.8	5.3	99.4	6.6	96.8	8.1	93.8	10.0	90.0	12.3	85.4	100
125			4.8	115.4	6.0	113.0	7.4	110.2	9.2	106.6	11.4	102.2	14.0	97.0	100
140			5.4	129.2	6.7	126.6	8.3	123.4	10.3	119.4	12.7	114.6	16.7	108.6	125
160			6.2	147.6	7.7	144.6	9.5	141.0	11.8	136.4	14.6	130.8	17.9	124.2	150
180			6.9	166.2	8.5	162.8	10.7	158.6	13.3	153.4	16.4	147.2	20.1	139.8	150
200			7.7	184.6	9.6	180.8	11.9	176.2	14.7	170.6	18.2	163.6	22.4	155.2	200
225			8.6	207.8	10.8	203.4	13.4	198.2	16.6	191.8	20.5	184.0	25.2	174.6	200
250			9.6	230.8	11.9	226.2	14.8	220.4	18.4	213.2	22.7	204.6	27.9	194.2	250
280			10.7	258.6	13.4	253.2	16.6	246.8	20.6	238.8	25.4	229.2	31.3	217.4	250
315	9.7	296.6	12.1	290.8	15.0	285.0	18.7	277.6	23.2	268.6	28.6	257.8	35.2	244.6	300
355	10.9	333.2	13.6	327.8	16.9	321.2	21.1	312.8	26.1	302.8	32.2	290.6	39.7	275.6	350
400	12.3	376.4	15.3	369.4	19.1	361.8	23.7	352.6	29.4	341.2	36.3	327.4	44.7	310.6	400
450	13.8	422.4	17.2	415.6	21.5	407.0	26.7	398.6	33.1	383.8	40.9	368.2	50.3	349.4	450
500	15.3	469.4	19.1	461.8	23.9	452.2	29.7	440.6	36.8	426.4	45.4	409.2	55.8	388.4	500
560	17.2	526.6	21.4	517.2	26.7	506.6	33.2	493.6	41.2	477.6	50.8	458.4	62.5	435.0	550
630	19.3	591.4	24.1	581.8	30.0	570.0	37.4	555.2	46.3	537.4	57.2	515.6	70.3	489.4	600
710	21.6	666.4	27.2	655.6	33.9	642.2	42.1	625.6	52.2	605.6	64.5	581.0	79.3	641.4	700
800	24.5	751.0	30.6	738.8	38.1	723.8	47.4	705.2	58.8	682.4	72.6	654.8	89.3	621.4	800
900	27.6	844.8	34.4	831.2	42.9	814.2	53.3	793.4	66.1	767.8	81.7	736.6			900
1000	30.6	938.8	38.2	923.6	47.7	904.6	59.3	881.4	73.6	853.0	90.8	818.4			1000
1200	36.7	1126.6	45.9	1108.2	57.2	1085.6	71.1	1057.8	88.2	1023.6					1200
1400	42.0	1314.2	53.5	1293.0	66.7	1266.6	83.0	1234.0	102.8	1194.4					1400
1600	49.0	1502.0	61.2	1477.6	76.2	1447.6	94.8	1410.4	117.5	1365.0					1600
1800	55.1	1689.8	68.8	1662.4	85.8	1629.4	106.6	1586.8							1800
2000	61.2	1877.6	76.4	1847.2	95.3	1809.4	118.5	1763.0							2000
2250	70.0	2110.0	86.0	2078.0	107.2	2035.6									2250
2500	77.7	2344.6	95.6	2308.8	119.1	2261.8									2500

Figura 6.2. Presión admisible según diámetro de la tubería de polietileno y RMS. [Fuente: www.blogplastics.com].

Según la normativa UNE – EN 12201 que clasifica las tuberías de polietileno según la figura 6.1. La clasificación es en base a su MRS (tensión mínima requerida) que es el valor del límite inferior de confianza. En la figura 6.2 se especifica la presión admisible según el diámetro o el espesor de la tubería y su MRS. En la tabla 6.1 se muestra la clasificación que utiliza la empresa SOREA, SAU para los materiales que más utilizan.

PMA, presión máxima considerando el golpe de ariete	$PMA = 1,2 \times PFA$
PEA, presión máxima de prueba en zanja	$PEA = PMA + 5$

Figura 6.3 Cálculo de presiones para las tuberías de fundición dúctil. [Fuente: www.interempresas.net].

Clases de Presión PREFERENTE según UNE-EN 545:2011	
C40	DN 60-300
C30	DN 350-600
C25	DN 700-2000

Figura 6.4 clases de presión según UNE-EN 545:2011. [Fuente: www.interempresas.net].

Según la norma UNE-EN 545:2011 define las presiones. El número adimensional que acompaña a la “C” corresponde con la presión de funcionamiento admisible (PFA) del tubo. La presión máxima admisible (PMA, presión máxima considerando el golpe de ariete) y la presión de ensayo admisible (PEA, presión máxima de prueba en zanja) no cambian su definición. En la figura 6.3 se puede ver las fórmulas para el cálculo de PMA, PFA y PEA. En la figura 6.4 se puede ver las diferentes PFA de la tubería de fundición dúctil. De la misma manera que en el polietileno, en la tabla 6.1 se muestra la clasificación que utiliza la empresa SOREA, SAU para los materiales que más utilizan.

6.2.1.1. Inventario de las diferentes tuberías para el núcleo urbano de Canyelles

Como se observa en la Tabla 6.2 y se visualiza en el gráfico 6.1, más del 60% de las tuberías del núcleo urbano son de polietileno, seguidas de las de fibrocemento con casi un 24%, siendo éstas las del máximo diámetro (350 mm). El resto de tuberías son de fundición dúctil.

Tabla 6.2. Inventario de las tuberías según diámetro y material. [Fuente: SOREA, SAU]

Diámetro (mm)	Polietileno (m)	Fibrocemento (m)	Fundición Dúctil (m)	TOTAL (m)
<60	2.240,04	1.264,80	0,00	3.504,85
60>D≥80	4.078,39	923,35	0,00	5.001,74
90	16,18	0,00	0,00	16,18
100	0,00	551,77	32,60	584,37
110	2.814,47	0,00	0,00	2.814,47
125	79,89	0,00	0,00	79,89
150	0,00	383,72	0,00	383,72
160	144,81	0,00	0,00	144,81
200	0,00	60,28	2.172,46	2.232,73
350	0,00	433,86	0,00	433,86
Total	9.373,78	3.617,78	2.205,06	15.196,61
Porcentaje	61,68%	23,81%	14,51%	100,00%

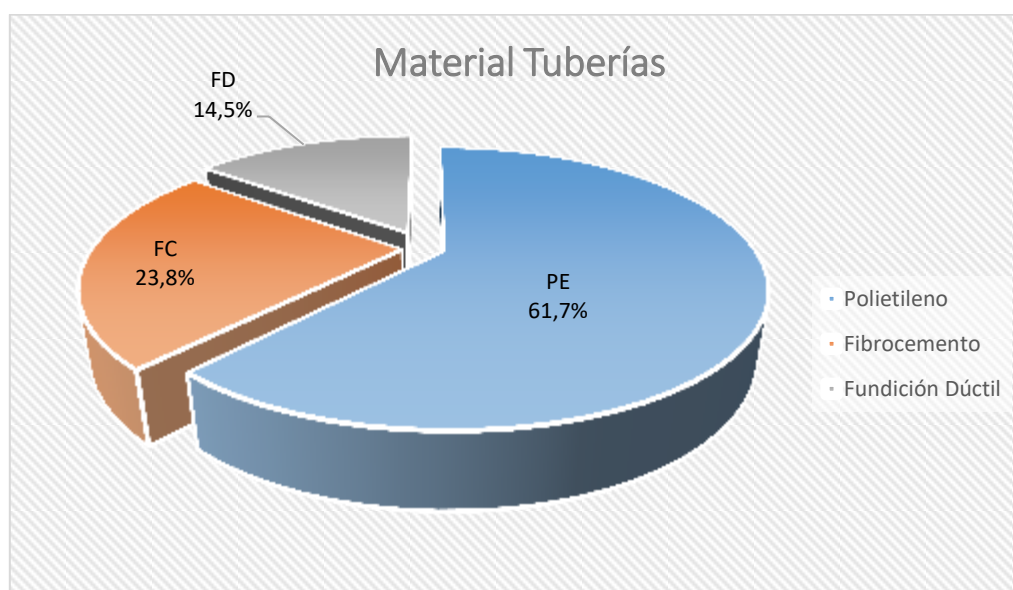


Gráfico 6.1. Porcentaje de material empleado. [Fuente: SOREA, SAU].

Como se puede ver en la tabla 6.3 y en el gráfico 6.2, más del 55% de las tuberías son de menos de 90 mm, seguidas, como diámetros principales, por un 22% de un diámetro entre 90 y 110 mm.

Tabla 6.3. Diámetros usados en la red. [Fuente: SOREA, SAU]

Diámetro (mm)	Metros	Porcentaje
≤ 90	8.522,76	56,08%
$90 < D \leq 110$	3.398,84	22,37%
$110 < D \leq 150$	463,61	3,05%
$150 < D \leq 200$	2.377,54	15,65%
$200 < D \leq 300$	433,86	2,85%
Total	15.196,61	100,00%

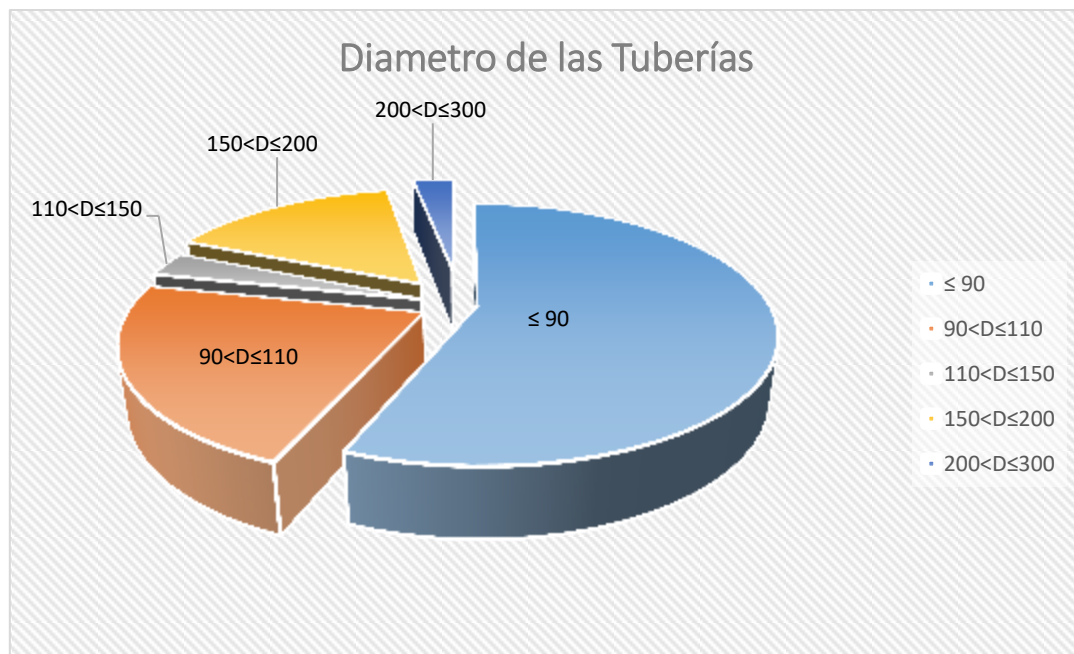


Gráfico 6.2. Porcentaje de diámetros empleados. [Fuente: SOREA, SAU].

6.2.2. Válvulas de seccionamiento

Las válvulas de seccionamiento, como su nombre indica, son para aislar una parte de la red por diversos motivos como, por ejemplo, para hacer una reparación, inspección, mantenimiento, etc. Se ha de tener en consideración que las válvulas que queden en una posición fija durante largos períodos de tiempo se vuelven difíciles de operar, por eso se debe operar al menos una vez al año (o más si el agua está sucia o es corrosiva).

6.2.2.1. Válvulas de compuerta

Las válvulas de compuerta son más frecuentemente usadas para sistemas de distribución donde los tamaños de las tuberías están comprendidos entre 150 y 400mm. Éstas tienen un disco deslizante dentro de una cúpula en un ángulo normal a la dirección del caudal. Los subtipos más usados son:

- De doble disco (Figura 6.5): es uno de los tipos más populares en sistemas municipales de distribución. Aguantan una presión de hasta 1700 KPa.



Figura 6.5. Válvula de compuerta de doble disco. [Fuente: es.rexvalves.com]

- De cuña y asiento resistente (Figura 6.6): son adecuadas cuando el agua contiene pequeñas cantidades de arena o sedimento. En la figura 6.2, hay una vista de cómo es el interior de la válvula.



Figura 6.6. Válvula de compuerta de cuña maciza y asiento resistente. [Fuente: watersealvave.com]

- De guillotina (Figura 6.7): es más ligera que los otros tipos de válvula de compuerta; pero no cierra tan efectivamente y está sujeta a fugas alrededor de la empaquetadura

del eje. Ésta válvula solo es apropiada cuando se puede tolerar una fuga y la presión máxima está alrededor de 170-350 KPa.



Figura 6.7. Válvula de compuerta de guillotina. [Fuente: <http://www.directindustry.es>]

6.2.2.2. Válvulas mariposa

Una válvula de mariposa es una válvula de cuarto de vuelta en la que el disco gira sobre el eje de forma que el disco asiente sobre un anillo situado en el cuerpo de la válvula (Figura 6.8). El asiento es normalmente elastómero, pegado o abrochado bien al disco o bien al cuerpo. Estas válvulas se emplean en tuberías con diámetros de 300 mm y superiores.



Figura 6.8. Válvula mariposa [Fuente: <http://www.directindustry.es>]

6.2.3. Válvulas de control

Las válvulas especiales de control se utilizan para modular caudal o presión operando en una posición parcialmente abierta, creando una pérdida de carga o presión diferencial entre las posiciones aguas arriba y aguas abajo. Algunas se operan manualmente y otras están automatizadas, se operan automáticamente mediante automatismos programados. Los principales tipos de válvulas de control son:

- Válvula reductora de presión (Figura 6.9): se usan para establecer presiones menores en sistemas con más de una zona de presión. A medida que la presión aguas arriba aumenta, la válvula cerrará, creando más pérdida de carga a través de la válvula, hasta que se obtenga la presión de consigna. Por otra parte, si la presión agua arriba disminuye, la válvula se abrirá. Si la presión aguas arriba disminuye hasta un punto inferior al deseado, la válvula estaría totalmente abierta.



Figura 6.9. Válvula reductora de presión. [Fuente: <http://www.genebre.es>]

- Válvulas mantenedoras de presión (Figura 6.10): operan para mantener un mínimo de presión aguas arriba, cerrando a medida que la presión aguas arriba disminuye, y abriendo a medida que aumenta la presión aguas arriba.



Figura 6.10. Válvula sostenedora de presión. [Fuente: <http://www.aguamarket.com>]

- Válvula de control de caudal (Figura 6.11): modulan para mantener un caudal de agua fijado. A medida que la presión varía aguas arriba, la válvula de control de caudal abrirá o cerrará para entregar el caudal preseleccionado.



Figura 6.11. Válvula de control de caudal. [Fuente: <http://catalog.alerton.com>]

- Válvulas de altura (Figura 6.12): se usan para añadir agua a depósitos.



Figura 6.12. Válvula de altura manual. [Fuente: <http://www.cojali.com>]

- Válvulas de presión de seguridad (Figura 6.13): sirven para descargar fluido en un sistema presurizado antes de que pueda desarrollarse una sobrepresión y sobre tensionar la tubería y la valvulería. Están ajustadas para abrir a una presión de consigna alta. Normalmente, ventean a la atmosfera.



Figura 6.13. Válvula de presión de seguridad. [Fuente: <http://www.directindustry.es>]

6.2.4. Ventosas

Las ventosas (Figura 6.14) son dispositivos mecánicos cuya finalidad es regular la cantidad de aire dentro de la red de abastecimiento. Se suelen colocar en puntos geométricos altos.



Figura 6.14. Ventosa. [Fuente: <http://www.arivalves.com>]

6.2.5. Descargas

Las descargas son componentes de la red cuya finalidad es vaciar la red en un momento determinado. Se controlan mediante una válvula de seccionamiento de compuerta o mariposa,

según su diámetro. Normalmente suelen colocarse en el punto bajo de la red de abastecimiento y el agua suele dirigirse a la red de alcantarillado o a un punto de desagüe apropiado.

6.2.6. Zanjas, arquetas y registros

Las **zanjas** son excavaciones que permiten el alojamiento de las tuberías, se extenderán a lo largo de la red. Existe una gran dependencia entre la profundidad de la zanja y el diámetro de la tubería. La anchura de la zanja depende exclusivamente de la calidad del terreno, es decir de la compactación de la arena que la rodea. En las figuras 6.15, 6.16 y 6.17, se pueden observar diferentes tipos de zanja en función de tipo de terreno.

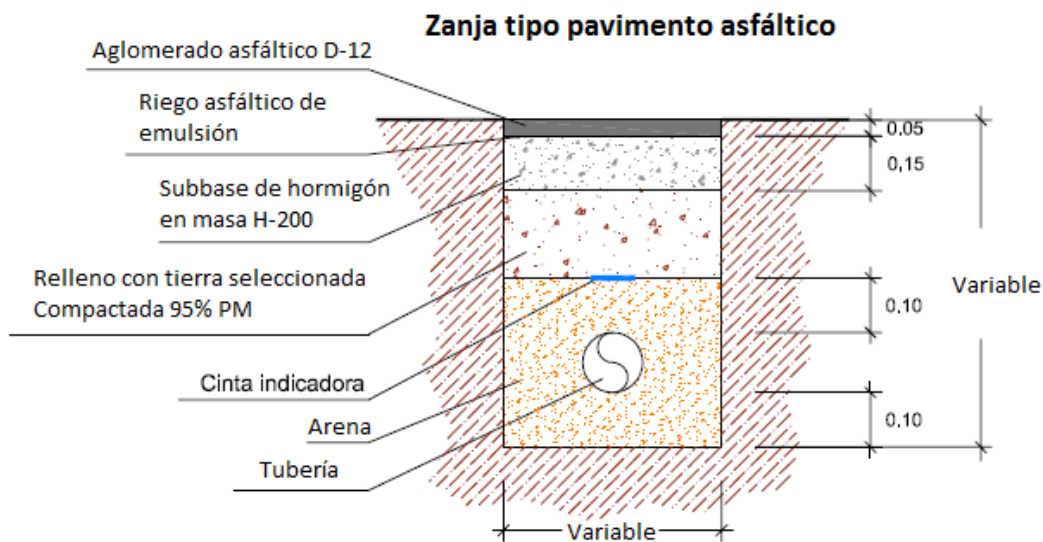


Figura 6.15. Zanja tipo pavimento asfáltico (dimensiones en metros). [Fuente: SOREA, SAU]

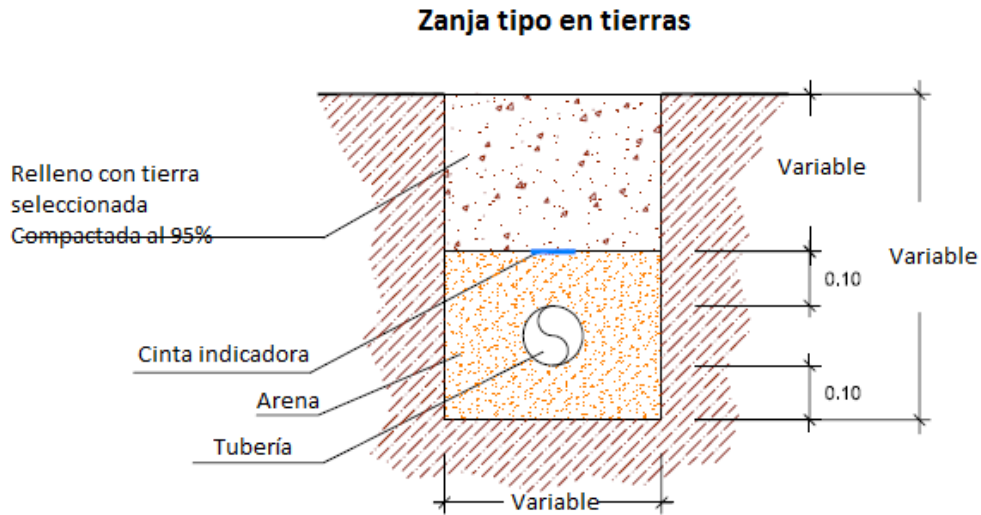


Figura 6.16. Zanja tipo en tierras (dimensiones en metros). [Fuente: SOREA, SAU]

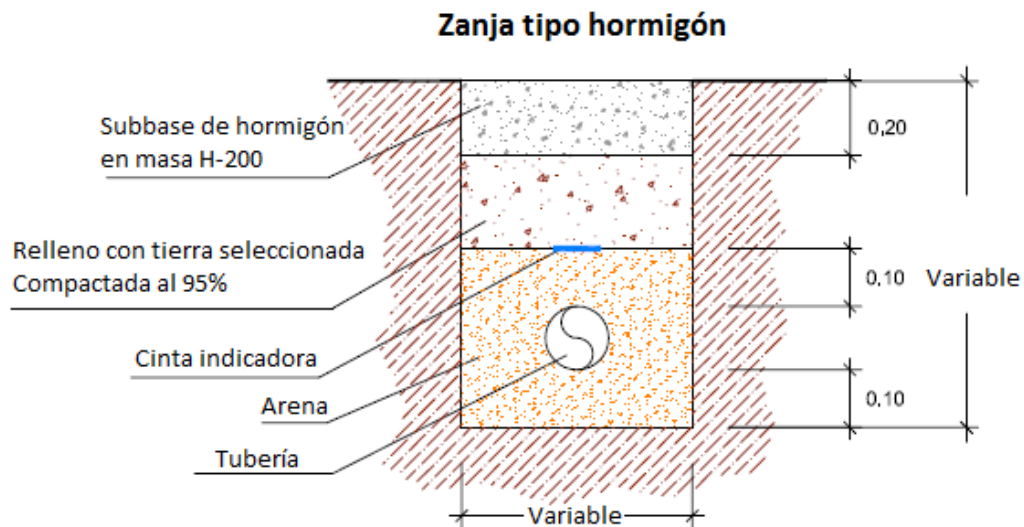


Figura 6.17. Zanja tipo hormigón (dimensiones en metros). [Fuente: SOREA, SAU].

Las **arquetas** (Figura 6.18) son pequeños cofres donde en su interior suelen ir los elementos que conforman una red. Normalmente, están enterradas y diseñadas para poder acceder a dichos elementos para así hacer las acciones necesarias sin tener que hacer zanjas para ello. Excepto para los contadores donde es preferible colocar las arquetas en un muro, a pesar de que hay muchas enterradas.



Figura 6.18. Arqueta de contadores. [Fuente: <https://www.tecnologia-informatica.es/instalacion-de-agua-en-viviendas/>]

Los **registros** (Figura 6.19) se colocan en las arquetas haciendo la función de tapas para cubrir y acceder fácilmente a los elementos.

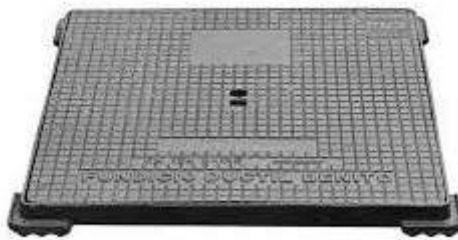


Figura 6.19. Registros. [Fuente: <http://www.material-electrico.com/>]

6.2.7. Hidrantes

El hidrante es un elemento cuya función es proporcionar un caudal de agua con una presión razonable para llenar la cisterna de los bomberos. Existen dos clases de hidrantes como se puede ver en las figuras 6.16 y 6.17. Hidrantes de columna (fig.6.16.) e hidrantes bajo tierra o de arqueta (fig. 6.17.). La diferencia es que los hidrantes de columna son diseñados para instalaciones con riesgo de heladas y peligro de rotura por impacto y los hidrantes de arqueta son diseñados para problemas de espacios. Al permanecer bajo tierra, el riesgo de daños por heladas es mínimo.

Existen dos tipos de hidrantes según su diámetro: tipo 80 mm y tipo 100 mm.

En cualquier caso los hidrantes podrán estar enterrados cada uno en una arqueta con una única salida o terminados en una columna provista de tres salidas, cuyos diámetros, en función

del de la columna, serán los siguientes: Tipo 80 mm, una salida de 70 mm., y dos de 45 mm., y Tipo 100 mm., una salida de 100 mm., y dos de 70 mm.

Independientemente de que tipo de hidrante sea (arqueta o columna) el caudal y presión de salida dependerán de qué tipo sea:

- Tipo 80 mm: el caudal ha de ser de 500 l/min (8,33 l/s) y la presión ha de ser de 10 m.c.a. con una duración mínima de dos horas.
- Tipo 100 mm: el caudal ha de ser de 1000 l/min (16,66 l/s) con una presión de 10 m.c.a con una duración mínima de dos horas.



Figura 6.20. Hidrante de columna tipo 100 mm. [Fuente: <http://www.ruvaseguridad.com/contraincendios/hidrantes.html>]



Figura 6.21. Hidrante de arqueta con dos salidas de 45 mm. [Fuente: <http://www.extin-alba.com/hidrantes.html>]

6.2.8. Telecontrol

Es un elemento que permite tener un control del estado de funcionamiento de todos los elementos que conforman el servicio de abastecimiento de agua en tiempo real y desde un punto de control, como por ejemplo, el nivel de los depósitos, el caudal que se suministra, etc.

Todo este sistema de comunicación está conectado mediante un centro de telecontrol remoto, que transmite los datos de las estaciones y permite visualizarlos en el centro de control. De esta manera se puede consultar los históricos de los consumos.

En la figura 6.18. se puede ver una imagen típica de un telecontrol que proporciona los datos de: consumos de agua, niveles de depósitos, presiones de la red, niveles de cloración y consumo eléctrico de las bombas.

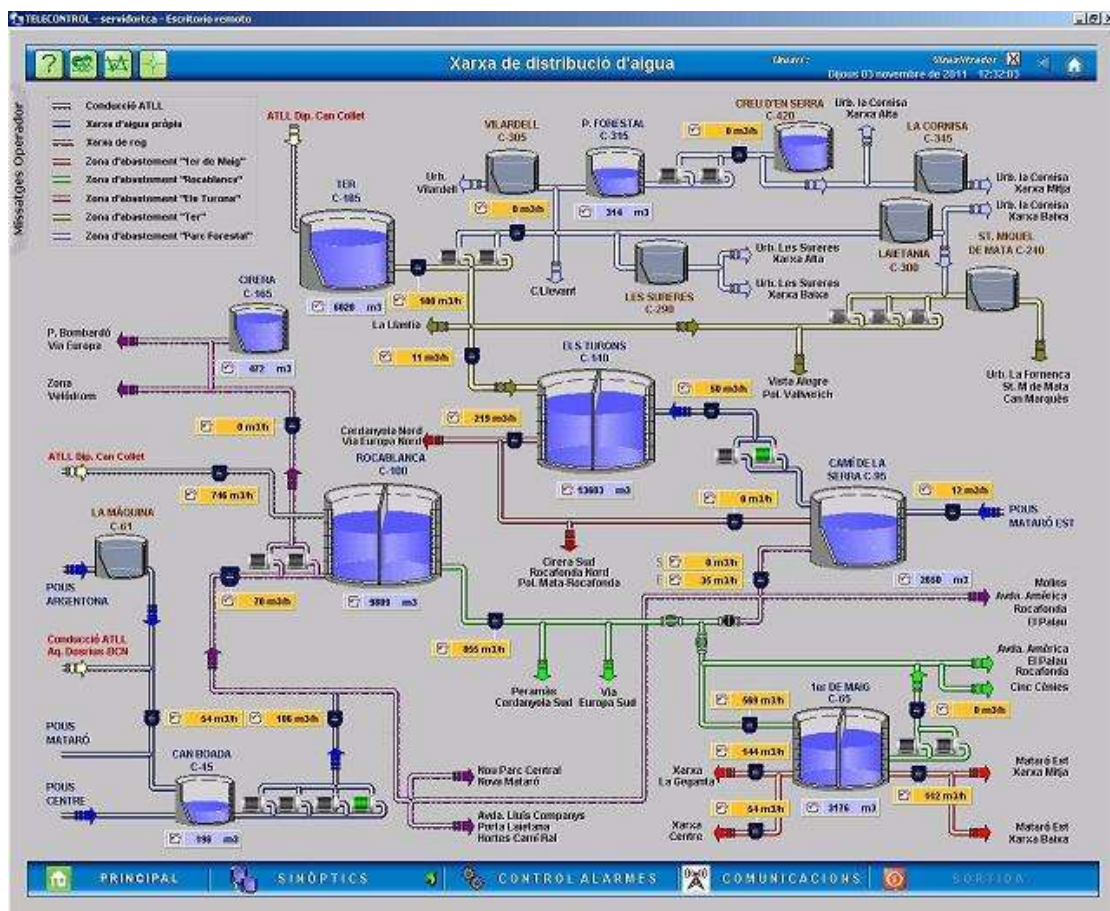


Figura 6.22. Imagen de una pantalla de un telecontrol típico. [Fuente:

<https://www.aiguesmataro.com/es/telecontrol>]

6.2.9. Inventario de los elementos

La Tabla 6.4 muestra el inventario de los elementos que conforman la red de abastecimiento de agua al núcleo urbano de Canyelles.

Tabla 6.4. Elementos que forman la red. [Fuente: SOREA, SAU]

Elementos que forman parte de la red	Número total
Contadores de acometidas	467
Contadores generales	6
Descargas	7
Depósitos	4
Estaciones de bombeo	1
Hidrantes aéreos	2
Hidrantes enterrados	8
Pozo	1
Reguladoras	2
Válvulas	66
Ventosas	5

7. Análisis de la demanda

La finalidad de este capítulo es el de definir todos aquellos conceptos que son fundamentales para poder entender perfectamente el posterior análisis del sistema de abastecimiento. Los conceptos principales son: dotación, rendimiento, y curva de demanda diaria.

7.1. Dotación

La dotación es el número de litros de agua que consume un abonado al día. La dotación puede referirse a agua registrada o suministrada. Dotación de agua registrada es realmente el número de litros de agua que consume un abonado al día, dicho consumo sería el que nos proporciona el contador instalado en la acometida. Por otra banda, dotación suministrada incluye las pérdidas de la red de distribución, bocas de riego, extinción de incendios, etc. Por norma general, la dotación se refiere a agua registrada.

La dotación es una característica de cada zona. Cada zona tiene unos factores que no suelen coincidir con otros ya que cada uno tiene un clima, nivel de vida de la población, costumbres de la población, sistema de provisión y cobranza (servicio médico o no), calidad del agua suministrada, costo del agua (tarifa), presión en la red de distribución, consumo comercial, consumo industrial, consumo público, perdidas en el sistema, existencia de red de alcantarillados y otros factores diferentes del resto.

Se define como dotación en periodo punta (o dotación punta) aquella cantidad de agua consumida diariamente por el usuario durante el periodo de máxima demanda. Esta dotación punta es diferente para cada zona. Por ejemplo, en una urbanización de segunda residencia, el periodo punta será, probablemente, los meses de Julio y Agosto. Esta dotación punta, normalmente, se mantiene constante año tras año.

Aunque está estipulado un consumo de 125 litros por habitante al día en las ciudades, en la realización de este proyecto el consumo está basado en la información de los contadores.

7.2. Rendimiento

El concepto de rendimiento se puede definir como la relación entre el volumen de agua registrado y el de agua suministrada. El rendimiento nos ayuda a saber el nivel de agua que se desperdicia. Estas pérdidas son a causa de varios factores. En la figura 7.1 se pueden ver las causas principales y su origen. Dichas pérdidas provocan que no haya un rendimiento del 100% en ninguna de las instalaciones de red de agua potable.

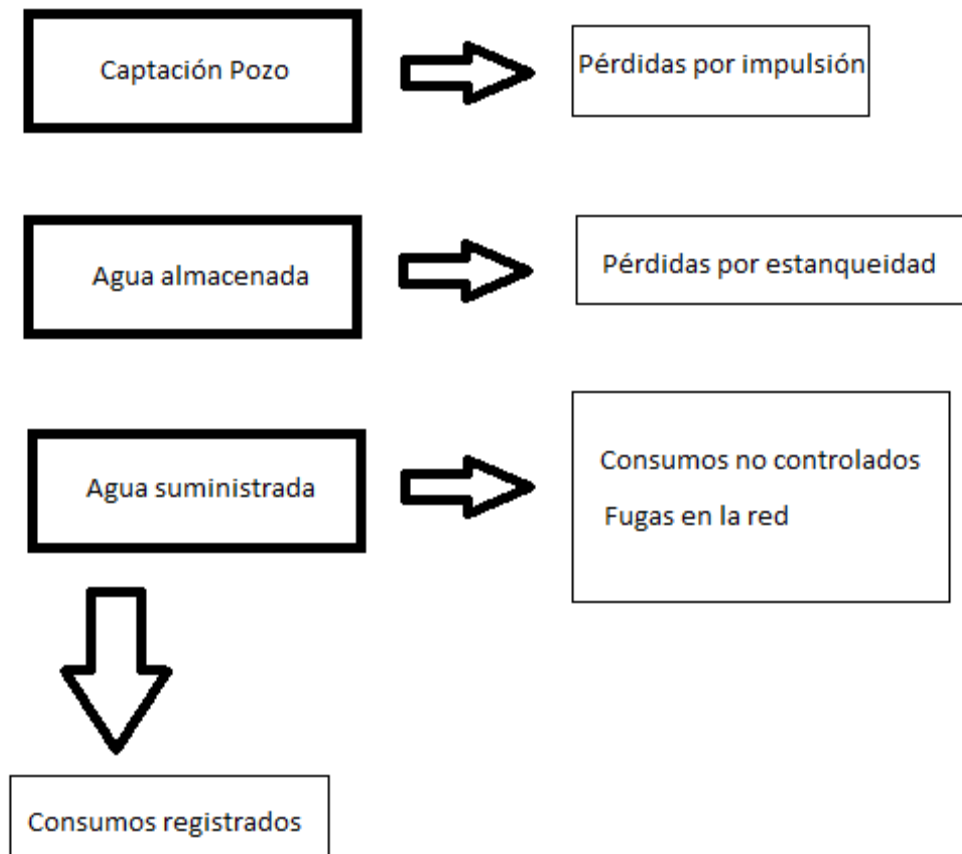


Figura 7.1. Esquema de posibles pérdidas y su origen. [Fuente: propia]

Dichas pérdidas se pueden cuantificar y analizar para así poder reducirlas al mínimo posible. Para entenderlas se hará una breve explicación para saber en qué consisten cada una de ellas:

- **Pérdidas por impulsión:** Normalmente se producen por un mal dimensionamiento de las tuberías para afrontar los golpes de ariete (se produce cuando el movimiento no es constante, es decir, la presión varía por arriba y por debajo del valor de funcionamiento normal de los conductos a presión, como consecuencia de los cambios en las velocidades del agua) en sus conexiones y en cualquier cambio de dirección. Por eso se utilizan contadores tanto al inicio como al final de la impulsión para poder detectar rápido posibles anomalías.
- **Pérdidas por estanqueidad:** Gracias a los contadores en las entradas y salidas de los depósitos se pueden cuantificar las posibles filtraciones para repararlas a tiempo.
- **Consumos no controlados:** Son aquellos como las bocas de riego de parques y jardines, instalaciones deportivas i colegios, fuentes públicas. Por eso se coloca un contador para controlar el nivel de agua que destina a esos servicios. Aunque, en el caso de

hidrantes no se aconseja colocar contadores para que no exista ningún impedimento en la salida del agua ya que se necesita lo más rápido posible.

- Fugas en la red: La gran parte se producen en las acometidas de los abonados. También pueden producirse a causa de obras públicas que pueden provocar desperfectos en la red. A parte, posibles fugas que se deriven a causa de un gran tiempo de uso de la tubería.

7.3. Curva de modulación

La curva de modulación define la variación de caudal consumido al largo de un periodo de tiempo. Normalmente se tiene en consideración la curva de demanda diaria, con caudales medios horarios. Si esta variación de la demanda se sitúa en una gráfica, se puede obtener una visualización de cuando son las horas punta de consumo. Esta curva depende de la época del año ya que cada mes tiene un hábito diferente de uso de agua.

La curva de modulación se puede obtener gracias al telecontrol. Si se observa la figura 7.2 se puede ver como es la gráfica de consumo de caudal durante dos semanas. Por otra parte, en la figura 7.3 aparece la gráfica de consumos de caudal durante una semana. Sin embargo, en la figura 7.4, dónde aparece el consumo de caudal durante un día es de más utilidad, ya que se pueden ver los picos de consumos y en qué momento del día se producen.

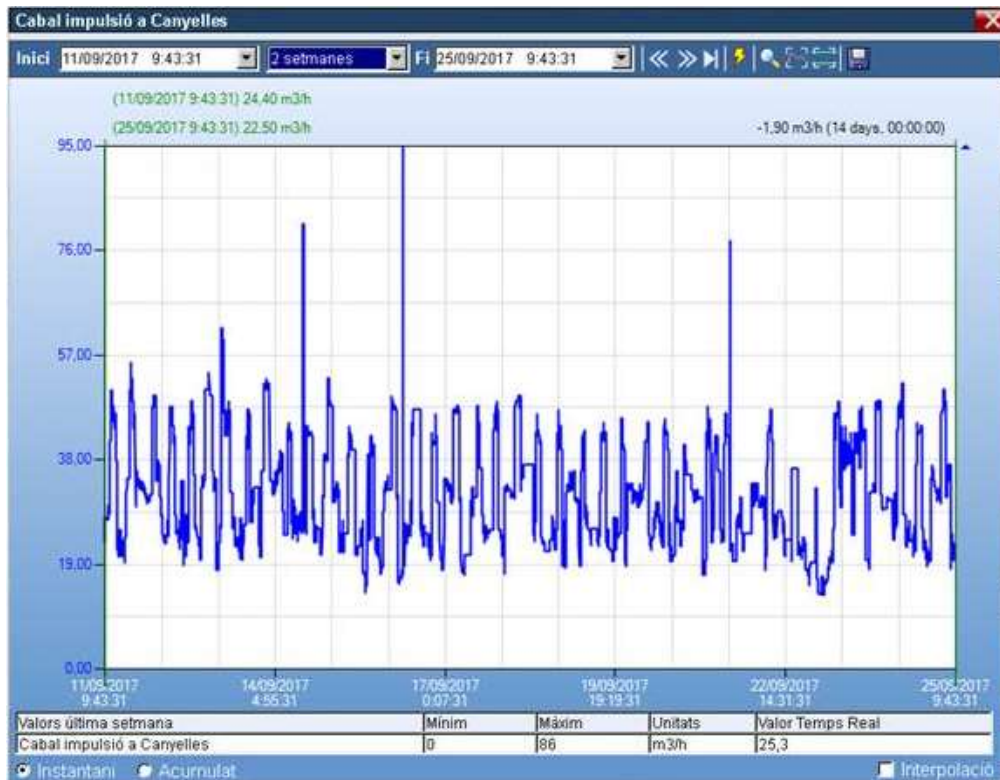


Figura 7.2. Gráfica de consumo del depósito ATLL de Canyelles durante un periodo de 2 semanas. [Fuente: Sorea, SAU].

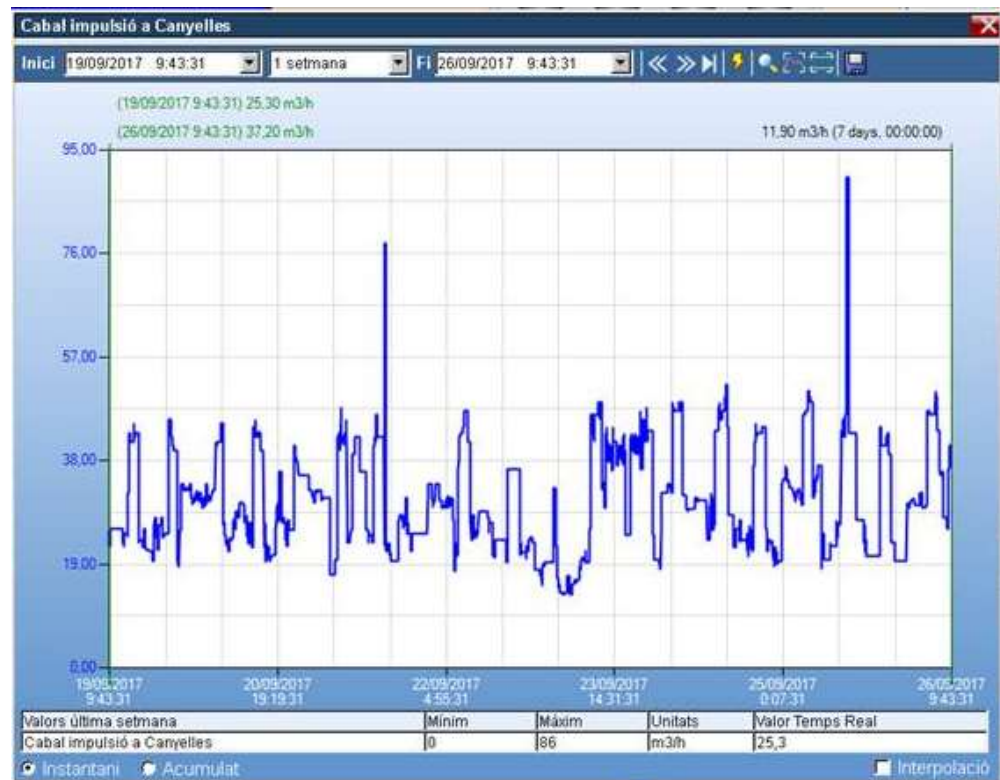


Figura 7.3. Gráfica de consumo del depósito ATLL de Canyelles durante un periodo de 1 semana.



Figura 7.4. Gráfica de consumo del depósito ATLL de Canyelles durante un periodo de un día.

7.4. Coeficientes punta

Si observamos la figura 7.4 vemos que el caudal punta es de aproximadamente 86 m³/h, mientras que el caudal medio estaría sobre los 25 m³/h. Por tanto, el coeficiente punta sería de $K_p = 1,8$.

Los picos se producen entre las 12:00 – 13:00 horas, 18:00 – 19:30 horas y entre las 4:00 – 5:00 horas. A primera vista, es inusual que se produzca un pico de consumo a altas horas de la madrugada. Sin embargo, a causa de que la población prácticamente no consume agua durante la noche (excepto por las fábricas que consideramos un consumo de caudal constante durante todo el día) se aprovechan esas horas para llenar el depósito Aljub Comallarich.

8. Modelo hidráulico

8.1. Introducción

Para calcular las redes de agua se necesita saber qué caudales y presiones son necesarios como datos de partida. Por otro lado, se necesitan dos conjuntos de ecuaciones para resolver el problema. El primero requiere satisfacer la ley de conservación de caudal en cada unión de tuberías. Y por otra parte, la ecuación de la energía. En ella se especifica una relación no lineal entre el caudal y la pérdida de carga en cada tubería, como las ecuaciones de Hazen-Williams o de Darcy-Weishbach. Siempre que una red contenga bucles o más de una fuente de presión fija, estas ecuaciones forman un sistema acoplado de ecuaciones no lineales que pueden resolverse únicamente usando métodos iterativos, que requieren el auxilio de un ordenador excepto en problemas sencillos.

8.2. Software utilizado

Para modelar la red y hacer la simulación se utilizaran principalmente dos programas de ordenador. El primero a utilizar es un sistema de información geográfica (GIS) y el segundo es un simulador hidráulico denominado EPANET, programa libre para el análisis de sistemas de distribución de agua.

8.2.1. Sistema de información geográfica (GIS)

El software conocido como GIS permite editar y realizar el trazado de la tubería. También, se puede visualizar de manera real la red de distribución de agua del municipio. Dentro del trazado de tubería se pueden incluir los siguientes elementos, cuya simbología se muestra en la figura 8.1. Además, se puede visualizar las averías producidas y la red de alcantarillado.

- Hidrantes
- Bocas de riego
- Válvulas (se puede indicar si están abiertas o cerradas)
- Reguladoras
- Ventosas
- Descargas

- Contadores
- Depósitos
- Estaciones de bombeo
- Pozos
- Tuberías (visualizadas como muestra la Figura 8.2)



Figura 8.1. Simbología de los elementos dentro del software GIS. [Fuente: SOREA, SAU]

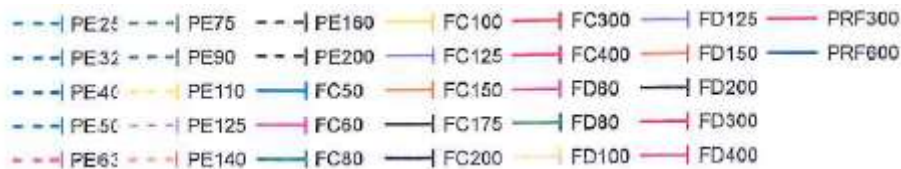


Figura 8.2. Trazado de las tuberías según material y diámetro dentro del software GIS. [Fuente: SOREA, SAU]

8.2.2. EPANET

Para realizar la simulación de la red, se ha utilizado el programa EPANET versión 2.0 vE (versión española).

EPANET es un programa de ordenador creado por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los EEUU), que permite por una parte realizar simulaciones del comportamiento hidráulico de las redes de distribución, y por otra, predice el comportamiento dinámico de la calidad hidráulica del agua dentro de un sistema de distribución de agua potable. Trabaja tanto en simulación en periodo simple (los consumos en nudos, la piezometría y las características de los elementos de regulación no sufren alteraciones a lo largo del tiempo), como en periodo extendido (la variable tiempo se considera explícitamente, considerando que los tiempos de

maniobra son muy superiores a los tiempos de viaje de las ondas de forma que no existe golpe de ariete).

Es un programa gratuito que se puede conseguir a través de la web oficial de EPANET, este proyecto utiliza la versión española 2.0 realizada por la Universidad Politécnica de Valencia. Esto permite que disponiendo del archivo modelo, se puedan realizar tantas modelizaciones como sean necesarias, de manera que de una forma periódica, se puedan realizar cambios que adapten el modelo inicial a las nuevas circunstancias.

EPANET está diseñado para ser una herramienta de cálculo de la red hidráulica que permite valorar y soportar matemáticamente las diferentes estrategias de mejora de la red, crecimiento de la misma, etc.

Sus características principales son:

- No hay límite en el tamaño de la red.
- Calcula las pérdidas de fricción en las conducciones mediante las ecuaciones de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, o Chezy-Manning.
- Incluye pérdidas menores de los elementos como codos, acoplamientos, etc.
- Modela bombas funcionando tanto a velocidad de giro constante como a velocidades de giro variables.
- Calcula la energía consumida y el coste de bombeo de las estaciones.
- Modela diferentes tipos de válvulas, incluyendo válvulas de regulación, retención, aislamiento, reductoras de presión, control de caudal, etc.
- Permite el almacenamiento de agua en tanques que presenten cualquier geometría.
- Considera la posibilidad de establecer diferentes categorías de consumo en los nudos, cada una de ellas con su propia curva de modulación.
- Modeliza consumos dependientes de la presión que salen al exterior del sistema a través de emisores.
- Puede determinar el funcionamiento del sistema simplemente con nivel de agua en el tanque y controles de tiempo o utilizar un complicado sistema de regulación temporal.

No obstante, EPANET no considera la existencia de ciertos procesos reales de carácter rápido como el golpe de ariete, cierre repentino de válvulas, el inicio o la parada de una bomba, etc. Tampoco permite la simulación de procesos derivados de la existencia de aire en la red.

8.2.2.1. Definiciones

Es necesario definir algunos conceptos antes de usar el programa EPANET.

1. Representación física de la red:
 - a. Elemento: es un componente real de la red, sin unión con el exterior, cuyo comportamiento hidráulico está perfectamente definido. Generalmente una red está constituida por una gran cantidad de elementos, de modo que para facilitar la modelación se agrupan en líneas.
 - b. Líneas: es un conjunto de elementos que se pueden caracterizar mediante una ecuación representativa del comportamiento global.
 - c. Nudos: corresponden a los lugares donde son aplicadas las condiciones de contorno del problema. Es a través de ellos por donde la red se comunica con el exterior.
2. Componentes físicos de la red:

2.1.1 Se representan como líneas los siguientes componentes:

- a. Tuberías: Las tuberías son líneas que transportan agua desde un punto de la red a otro. EPANET asume que todas las tuberías están siempre llenas. El sentido del flujo es desde la unión que tiene mayor altura piezométrica hacia la otra.
- b. Bombas: es un dispositivo para elevar la presión del agua.
- c. Válvulas: son líneas que limitan la presión o el flujo en un punto específico de la red. EPANET trabaja con los siguientes tipo de válvulas:
 - i. Válvulas reductoras de presión: limitan la presión en un punto de la red de tuberías. EPANET diferencia tres estados en los que puede trabajar:

1. Parcialmente abierta para mantener una presión aguas abajo siempre que la presión aguas arriba sea superior a esta.
 2. Totalmente abierta cuando la presión aguas arriba está por debajo de la presión aguas abajo.
 3. Cerrada si la presión aguas abajo es superior a la presión aguas arriba, para impedir el flujo inverso.
- ii. Válvulas mantienen la presión en un determinado valor en un punto de la red. EPANET contempla tres diferentes estados de las PSVs:
1. Parcialmente abierta para mantener una presión mínima de consigna aguas arriba, siempre y cuando la presión aguas abajo sea inferior a ella.
 2. Totalmente abierta cuando la presión aguas abajo es superior a la de consigna.
 3. Cerrada si la presión aguas abajo es superior aguas arriba.
- iii. Válvulas de rotura de cargas: fuerzan a que la caída de presión en la válvula al pasar el fluido tome siempre un valor de consigna constante prefijado. El flujo puede discurrir en ambos sentidos de la válvula. Las válvulas de rotura de cargas no se corresponden con válvulas reales, pero pueden usarse para modelar situaciones donde es conocida una determinada caída de presión.
- iv. Válvulas controladoras de caudal: limitan el caudal a través de una válvula a un valor de consigna prefijado. EPANET emite un mensaje de advertencia, si el caudal no puede alcanzar el valor prefijado, sin aporte de presión aguas arriba de la válvula.
- v. Válvulas reguladoras por estranguladoras: simula una válvula parcialmente cerrada, ajustando adecuadamente el valor del coeficiente de pérdidas menores. Usualmente los fabricantes proporcionan la relación entre el grado de cierre de la válvula y el coeficiente de pérdidas resultante.
- vi. Válvulas de propósito general: se utilizan para representar uniones, donde el usuario proporciona una relación especial entre el flujo y la

pérdida de carga en lugar de las fórmulas hidráulicas estándares. Pueden utilizarse para modelar turbinas, reductores de flujo inverso, etc.

- d. Accesorios: la pérdida de carga que introducen se modela modificando las características de la tubería donde van alojados, mediante su coeficiente de pérdidas.

2.1.2. Se representan como nudos los siguientes componentes:

- e. Embalses: son uniones de la red que representan una reserva infinita de agua respecto a la red. Se utilizan para modelizar lagos, ríos, acuíferos y conexiones a otros sistemas.
- f. Depósitos: son uniones con capacidad de almacenamiento, y el volumen del agua almacenada puede variar con el tiempo durante la simulación.
- g. Emisores: son elementos asociados a nudos que modelizan el flujo a través de una tobera u orificio que descarga el fluido a la atmósfera.

3. Componentes no físicos para describir el comportamiento:

- a. Curvas de comportamiento: representan la relación entre dos magnitudes. Son el caso de curvas características (altura-caudal), de rendimiento (rendimiento en %-caudal), de cubicación de embalses (volumen-caudal) o de pérdidas en válvulas de propósito general (pérdidas-caudal). Será necesario hacer referencia explícita a la curva en cuestión modificando las propiedades de cada elemento.
- b. Patrones: se aplican cuando una determinada magnitud padece alguna modificación a lo largo del tiempo. Se utilizan para la demanda de los nudos, las alturas de los embalses, etc.
- c. Leyes de control simples: cambian el estado o la consigna de un nivel dependiendo del nivel de agua en un depósito, la presión en un nudo, el instante de la simulación, la hora del día.
- d. Leyes de control basadas en reglas: controlan el estado de líneas o consignas según una combinación de situaciones que puedan darse en la red.

4. Temporalidad a la hora de la modelación:

- a. Simulación en periodo simple: los consumos en nudos, la piezometría y las características de los elementos de regulación no cambian de estado a lo largo del tiempo.
 - b. Simulación en periodo extendido: Al contrario que la simulación en periodo simple los consumos, la piezometría y las características de los elementos de regulación varían a lo largo del tiempo.
5. Temporalidad a la hora de la modelación:
- a. Simulación en periodo simple: los consumos en nudos, la piezometría y las características de los elementos de regulación no cambian de estado a lo largo del tiempo.
 - b. Simulación en periodo extendido: Al contrario que la simulación en periodo simple los consumos, la piezometría y las características de los elementos de regulación varían a lo largo del tiempo.

8.2.2.2. Hipótesis simplificadoras

Cuando las variaciones de caudal y presión son pequeñas se pueden despreciar sin conducir a errores considerables. Por lo tanto, las hipótesis simplificadoras serán las siguientes:

1. Hipótesis referentes al flujo:
 - a. Flujo unidimensional en el sentido del eje de conducción.
 - b. Invariabilidad temporal de las variables relacionadas con el flujo.
 - c. Distribución uniforme de velocidad y presión en secciones transversales.
2. Hipótesis referentes al fluido:
 - a. Incompresibles
 - b. Monofásico
 - c. Homogéneo
 - d. Newtoniano
3. Hipótesis referentes a las conducciones:
 - a. Homogeneidad y constancia en:
 - i. Material
 - ii. Sección transversal
 - iii. Espesor

8.2.2.3. Ecuaciones fundamentales

Las ecuaciones fundamentales se pueden expresar mediante dos principios o leyes:

1. Ley de continuidad de masa en los nudos: la suma algebraica de los caudales en un nudo debe ser igual a cero.

$$\sum_{j=1}^m (Q_{ij} + q_i) = 0 \quad [3]$$

Donde:

Q_{ij} : Caudal que parte de un nudo y/o que fluye hacia dicho nudo.

q_i : Caudal concentrado en el nudo i .

m : número de tramos.

2. Ley de conservación de la energía en los circuitos: La suma algebraica de las pérdidas de energía en los tramos que conforman un anillo cerrado debe ser igual a cero.

$$\sum_{j=1}^n h_{fj} = 0 \quad [3]$$

Donde:

h_{fj} : pérdida de fricción en el tramo T_{ij} .

n : número de tramos en el circuito.

El método utilizado por EPANET para calcular las ecuaciones de continuidad y de pérdida de carga, que caracterizan hidráulicamente el estado de la red en un determinado momento, puede identificarse como una aproximación al método de balance en los nudos. Todini y Pilati (1987) y posteriormente Salgado et al. (1988) lo llamaron *método del gradiente*.

Sea una red con N nudos y NF uniones fijas (embalses y depósitos), la relación caudal - pérdida de carga en una tubería entre los nudos i y j se expresa como:

$$H_i - H_j = h_{ij} = rQ_{ij}^n + mQ_{ij}^2 \quad [4]$$

donde: H - es la altura piezométrica en el nudo.

h - es la pérdida de carga.

r - es el coeficiente de resistencia al flujo.

Q - es el caudal.

n - es el exponente del caudal.

m - es el coeficiente de pérdidas de carga en accesorios.

El valor del coeficiente de resistencia al flujo depende del tipo de ecuación usada para calcular la pérdida de carga. Para las bombas, la pérdida de carga (negativa) puede representarse como una ley de potencia de la forma:

$$h_{ij} = -\omega^2 \left(h_0 - r \left(\frac{Q_{ij}}{\omega} \right)^n \right) \quad [5]$$

donde: h_0 - es la altura de la bomba para caudal nulo.

ω - es la velocidad relativa de la bomba.

r y n - son los coeficientes de la curva de la bomba.

La segunda serie de ecuaciones que se deben cumplir, es la ecuación de continuidad en todos los nudos:

$$\sum_j Q_{ij} - D_i = 0 \quad \text{para } i = 1, \dots, N. \quad [6]$$

donde D_i - es la demanda de flujo en el nudo i . Por convección se considera el caudal que entra en un nudo positivo.

Para una serie de presiones conocidas en los nudos fijos, se busca una solución para todas las alturas piezométricas H_i y caudales Q_{ij} que cumplan con las ecuaciones (2.7) y (2.9).

El método del gradiente empieza con una asignación inicial a los caudales de cada tubería, que no tiene por qué necesariamente satisfacer la ecuación de continuidad. En cada iteración se calculan las alturas piezométricas de cada nudo al resolver la siguiente ecuación matricial.

$$A \cdot H = F \quad [7]$$

Donde: A - es una matriz Jacobiana ($N \times N$).

H - es un vector ($N \times 1$) de las alturas piezométricas en las uniones.

F - es un vector ($N \times 1$).

Los elementos de la diagonal de la matriz Jacobiana son:

$$A_{ii} = \sum_j p_{ij} \quad [8]$$

y los elementos no-cero del resto de la matriz son:

$$A_{ij} = -p_{ij} \quad [9]$$

donde p_{ij} es la inversa de la derivada de la pérdida de carga en la línea de unión entre las uniones i y j respecto al flujo.

$$p_{ij} = \left(\frac{\partial h_{ij}}{\partial Q_{ij}} \right)^{-1} \quad [10]$$

Para tuberías:

$$p_{ij} = \frac{1}{n \cdot r \cdot |Q_{ij}|^{n-1} + 2 \cdot m \cdot |Q_{ij}|} \quad [11]$$

y para bombas:

$$p_{ij} = \frac{1}{n \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \left(\frac{Q_{ij}}{\omega}\right)^{n-1}} \quad [12]$$

Cada elemento del vector F consiste en el balance neto del caudal en un nudo más un factor corrector del caudal.

$$F_i = \left(\sum_j Q_{ij} - D_i \right) + \sum_j y_{ij} + \sum_f p_{if} H_{if} \quad [13]$$

donde el último sumando representa las uniones fijas (depósitos y embalses) conectados al nudo i , y el factor corrector y_{ij} para tuberías es:

$$y_{ij} = p_{ij} \left(r |Q_{ij}|^n + m |Q_{ij}|^2 \right) \operatorname{sgn}(Q_{ij}) \quad [14]$$

y para bombas:

$$y_{ij} = -p_{ij} \omega^2 \left(h_0 - r \left(\frac{Q_{ij}}{\omega} \right)^n \right) \quad [15]$$

donde $\operatorname{sgn}(x)$ es 1 si $x > 0$ y -1 en caso contrario. (Q_{ij} es siempre positivo en las bombas)

Con las alturas piezométricas calculadas al aplicar la ecuación (2.10), se obtienen nuevos caudales a partir de:

$$Q_{ij} = Q_{ij} - \left(y_{ij} - p_{ij} (H_i - H_j) \right) \quad [16]$$

Si la suma del valor absoluto de los factores correctores de caudal de todas las líneas es mayor que una tolerancia determinada (por ejemplo, 0.001), entonces las ecuaciones [7] y [16] se vuelven a solucionar. El caudal calculado a partir de la ecuación [16], siempre cumple con la ecuación de continuidad en todos los nudos después de la primera iteración.

8.2.2.4. Ecuaciones de comportamiento de los elementos de la red

8.2.2.4.1. Tuberías

Respecto a las tuberías, EPANET supone que están llenas de fluido en todo momento. Además, considera que el caudal circula desde el nudo con más altura piezométrica hacia el nudo con menos.

Para calcular las pérdidas de carga EPANET dispone de tres métodos; Hazen-Williams, Darcy-Weisbach y Chezy-Manning.

El método de Hazen-Williams se utiliza cuando el agua está entre 5 - 20 °C y está en zona Turbulenta de Transición. El método de Darcy-Weisbach es el más exacto teóricamente y se puede usar en cualquier líquido y en cualquier régimen en que se encuentre. Este proyecto usará éste método. El método de Chezy-Manning se utiliza para conductos funcionando en lámina libre.

Los tres métodos utilizan la siguiente expresión:

$$h_L = r \cdot Q^n \quad [17]$$

Donde:

h_L : pérdidas (Longitud).

r : coeficiente de resistencia.

Q : Caudal (volumen/tiempo).

n : exponente del caudal y depende del tipo de flujo a través de la tubería.

Tabla 8.1. Fórmulas de Pérdida de Carga para tubería en presión. [Fuente: Manual EPANET].

Fórmula	Coefficiente de resistencia (r)	Exponente de Caudal (n)
Hazen-Williams	$10,674 \cdot C^{-1,852} \cdot d^{-4,871} \cdot L$	1,852
Darcy-Weisbach	$0,0827 \cdot f(\epsilon, d, Q) \cdot d^{-5} \cdot L$	2
Chezy-Manning	$10,294 \cdot n^2 \cdot d^{-5,33} \cdot L$	2
Donde: C: coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams ϵ : coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach f: factor de fricción (depende de ϵ , d y Q) n: coeficiente de rugosidad de Manning d: diámetro de la tubería (m) L: longitud de la tubería (m) Q: caudal (m ³ /seg).		

Para elegir el coeficiente de rugosidad hay que usar la siguiente tabla 8.2.

Tabla 8.2. Coeficientes de rugosidad para tubería nueva. [Fuente: Manual de EPANET].

Material	C: Hazen-Williams (universal)	ϵ : Darcy-Weisbach (mm)	n: Manning (universal)
Fundición	130-140	0,26	0,012-0,015
Hormigón	120-140	0,3-3,0	0,012-0,017
Hierro galvanizado	120	0,15	0,015-0,017
Plástico	140-150	0,0015	0,011-0,015
Acero	140-150	0,045	0,015-0,017
Cerámica	110	0,3	0,013-0,015

A la hora de calcular el factor de fricción f de la fórmula de Darcy-Weisbach se calcula según el tipo de régimen. Para diferenciar en que régimen se sitúa hay que recurrir al número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad [18]$$

Donde:

ρ = densidad del fluido [kg/m³]

v = velocidad característica del fluido [m/s].

D = diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido [m].

μ = viscosidad dinámica del fluido [kg/ (m · s)].

ν = viscosidad cinemática del fluido [m^2/s].

- Para régimen laminar ($Re < 2000$), EPANET utiliza la fórmula de Hagen Poiseuille.

$$f = \frac{64}{Re} \quad [19]$$

- Para régimen turbulento ($Re > 4000$), EPANET utiliza la fórmula de Swamee y Jain de la ecuación de Colebrook-White.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log\left(\frac{\epsilon}{3,7 \cdot d} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right)\right]^2} \quad [20]$$

- Para flujo transitorio ($2000 > Re < 4000$), EPANET utiliza una interpolación cúbica del ábaco de Moody.

8.2.2.4.2. Pérdidas menores o pérdidas por accesorios

Las pérdidas menores se deben a turbulencias en codos y conexiones. Según la precisión que se requiera en la red se incluirán o no. La ecuación que describe las pérdidas en accesorios es la siguiente:

$$h_L = K \left(\frac{v^2}{2g}\right), \text{ o bien, } h_L = \left(\frac{8 \cdot K}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4}\right) \cdot Q^2 \quad [21]$$

Donde:

K: Coeficiente de pérdidas menores.

v: Velocidad del flujo (longitud/tiempo).

g: Aceleración de la gravedad (longitud/tiempo²).

Q: Caudal (volumen/tiempo).

Tabla 8.3. Coeficientes de pérdidas de algunos accesorios. [Fuente: Manual de EPANET].

Conectores	Coeficiente de pérdidas
Válvula de Globo, totalmente abierta	10,0
Válvula de Ángulo, totalmente abierta	5,0
Válvula de Retención de Clapeta, totalmente abierta	2,5
Válvula de Compuerta, totalmente abierta	0,2
Codo de radio pequeño	0,9
Codo de radio medio	0,8
Codo de radio grande	0,6
Codo a 45º	0,4
Codo cerrado con inversión del flujo	2,2
Te estándar - dirección de paso	0,6
Te estándar - dirección desvío	1,8
Entrada recta	0,5
Salida brusca	1,0

8.2.2.4.3. Emisores

Los emisores son mecanismos asociados a las conexiones que simulan la descarga de caudal a la atmosfera a través de unos orificios, como por ejemplo aspersores. El caudal que atraviesa el emisor varía en función de la presión del nudo. La relación que sigue es la siguiente:

$$q = C \cdot p^Y \quad [22]$$

Donde:

q: caudal.

p: presión.

C: coeficiente de caudal (descarga).

Y: exponente de la presión (para pulverizadores y rociadores es igual a 0,5).

8.2.2.4.4. Bombas

Las bombas son elementos que aportan energía al fluido incrementando su altura piezométrica. Los parámetros de salida más importantes son el caudal y la carga. El caudal fluye unidireccionalmente dentro de la bomba y EPANET no permite que una bomba trabaje

fuera del rango que determina su curva característica. Se puede considerar la variación de velocidad de las bombas.

8.2.2.4.5. Parámetros necesarios y resultados de EPANET

Tabla 8.4. Parámetros de las conexiones. [Fuente: Manuel de EPANET]

Conexiones		
Parámetros a introducir	Resultados	Otras opciones
Cota, normalmente sobre el nivel del mar	Altura piezométrica (energía interna por unidad de masa del fluido)	Demanda que varía en el tiempo
Demanda de agua	Presión	Diferentes categorías de demanda asignadas
Calidad del agua inicial	Calidad del agua	Tener demanda negativa indicando que el agua entra en la red
		Ser fuente de calidad del agua por donde los constituyentes entran en la red
		Contener emisores haciendo que el caudal descargado depende de la presión

Tabla 8.5. Parámetros de los depósitos. [Fuente: Manuel de EPANET]

Depósitos
Parámetros a introducir
Altura piezométrica; se puede variar con el tiempo
Calidad inicial del agua

Tabla 8.6. Parámetros de los tanques. [Fuente: Manuel de EPANET]

Tanque	
Parámetros a introducir	Otras opciones (a lo largo del tiempo)
Cota	Nivel de la superficie libre de agua
Diámetro	Calidad del agua
Valores iniciales máximos y mínimos del nivel del agua	
Calidad del agua inicial	

Tabla 8.7. Parámetros de las tuberías. [Fuente: Manuel de EPANET]

Tuberías		
Parámetros a introducir	Calidad del agua	Resultados
Nudos de entrada y salida	Coefficiente de reacción del flujo	Caudal
Diámetro	Coefficiente de reacción pared	Velocidad
Longitud		Pérdidas (tres métodos)
Coefficiente de rugosidad (para determinar pérdidas)		Factor de fricción Darcy-Weisbach
Estado (abierta, cerrada, o con una válvula)		Variación de la velocidad de reacción (a lo largo de su Longitud)
		Variación de la calidad del agua (a lo largo de su Longitud)

Tabla 8.8. Parámetros de las válvulas. [Fuente: Manuel de EPANET]

Válvulas	
Parámetros a introducir	Resultados
Nudos entrada y salida	Caudal
Diámetro	Pérdidas
Consigna	
Estado	

Tabla 8.9. Parámetros de las bombas. [Fuente: Manuel de EPANET]

Bombas	
Parámetros a introducir	Resultados
Nudo de entrada y salida	Caudal
Curva característica (relación entre la altura y el caudal de la bomba)	Altura manométrica

8.2.3. Metodología utilizada

El proceso para llegar a la simulación con EPANET pasa por dibujar la cartografía en el software de GIS. Después, para que EPANET pueda importar ésta cartografía se ha de guardar en la extensión de .inp. Finalmente, EPANET abrirá el archivo y al guardarlo tendrá una nueva extensión (.net) y entonces se podrá realizar todas las operaciones que se deseen.

9. Modelo de red de abastecimiento de agua potable de Canyelles

En este capítulo se explicará la red original proporcionada por el ayuntamiento de Canyelles y la metodología seguida para llegar a la red propuesta explicando las hipótesis que se han utilizado para alcanzar el modelo final.

9.1. Modelo original de la red de abastecimiento de agua potable de Canyelles

En la figura 9.1 se muestra la cartografía de la red proporcionada por el Ayuntamiento de Canyelles. Se comprobó que la cartografía no podía ser real por varios motivos:

1. Hay zonas donde, según la cartografía, no hay tubería y sin embargo, hay viviendas con contadores de agua en uso.
2. Existen válvulas en zonas donde no hay tubería dibujada.
3. Existen zonas de riego donde se usa agua de la red y no hay tubería reflejada.
4. Hay elementos que no están reflejados en la cartografía y existen físicamente en la calle.
5. Algunos diámetros y/o materiales no corresponden a la realidad.
6. Etc.

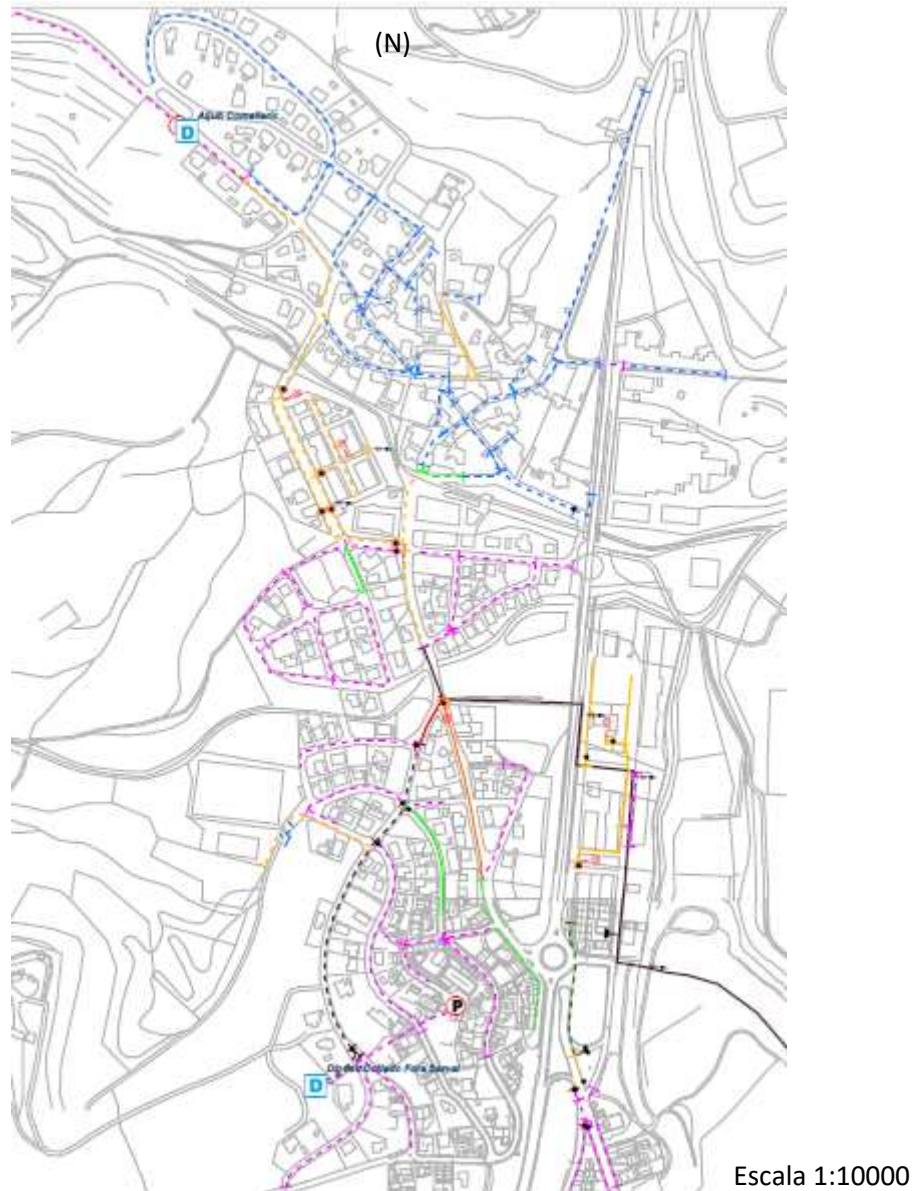


Figura 9.1. Cartografía original de la red en la zona de Canyelles pueblo. [Fuente: SOREA, SAU]

9.2. Modelo de la red de suministro de agua potable actual para el núcleo urbano de Canyelles mediante el programa EPANET.

Una vez planteados los motivos por los que la cartografía no podía ser real (véase apartado 9.1) la mejor opción fue realizar un trabajo de campo para dibujar la cartografía real. Dentro del trabajo de campo y para llegar al objetivo de dibujar la cartografía real se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Lo ideal sería hacer **excavaciones** pudiéndose confirmar como está distribuida, de qué materiales y diámetros está construida la tubería. Pero, cada excavación tiene un coste elevado porque primeramente se ha de hacer la excavación, transportar el material extraído, rellenar la excavación con arena especial y para todo ello se necesita

personal y maquinaria pesada. A pesar de todo, se ha realizado una zanja cerca del depósito Collado (Figuras 9.2 y 9.3) porque era una zona conflictiva. Gracias a esta acción, se pudieron encontrar dos válvulas enterradas y la presencia de tuberías de las cuales se desconocía su existencia.



Figura 9.2. Zanja realizada cerca del depósito Collado. [Fuente: propia]



Figura 9.3. Zanja realizada cerca del depósito Collado. [Fuente: propia]

- Como se ha mencionado anteriormente, cuando hay presencia de **contadores** es porque hay una acometida. Es decir, existen zonas donde no hay tubería general

dibujada y evidentemente ha de existir. La figura 9.4 corresponde al cruce de la calle Puig de les Forques con calle Buscarró. Pero si se observa la figura 9.1 (recuadro (A)) , en este cruce no pasa ninguna tubería.



Figura 9.4. Contadores de la calle Buscarró. [Fuente: propia]

- Otra teoría era el **reasfaltado** de la carretera. Antiguamente las instalaciones se hacían con fibrocemento y, además, en Canyelles el tubo circula por la carretera. Como es de esperar, gracias al tráfico y, sobretodo, a la circulación de camiones provoca que la tubería se erosione. Para reparar dicha tubería era necesario hacer una zanja y seguidamente un reasfaltado con lo cual existe un *parche* en la carretera y se puede deducir la dirección de la tubería (Figura 9.5).



Figura 9.5. Reasfaltado de la calle Can Xum con Manel de Reguera. [Fuente: propia]

- Otra conjetura es el **pavimento**. Con el paso del tiempo algunas de las tuberías de fibrocemento que se erosionaban se han ido sustituyendo por otros materiales (el más frecuente es polietileno) y la nueva tubería circula por la acera. Para instalarla se han de levantar los adoquines y volverlos a reponer. Con lo cual, es otra pista de por donde pasa la red hidráulica (Figura 9.6).



Figura 9.6. Repavimento de la calle Can Xum. [Fuente: propia].

- Otra obviedad era el **seccionamiento de la red**, es decir, cuando hay averías o simplemente se quiere hacer un cambio de distribución de la red se ha de cortar la circulación del agua. Entonces, cuando se secciona la red y alguna zona se queda sin agua quiere decir que en dicha zona la red está comunicada.

Una vez aplicados todos los anteriores factores y con la experiencia de los operarios de la empresa SOREA, se pudo realizar una cartografía mucho más realista de la que se tenía. La cartografía obtenida y que ha servido para la modelización es la mostrada en la figura 9.7.

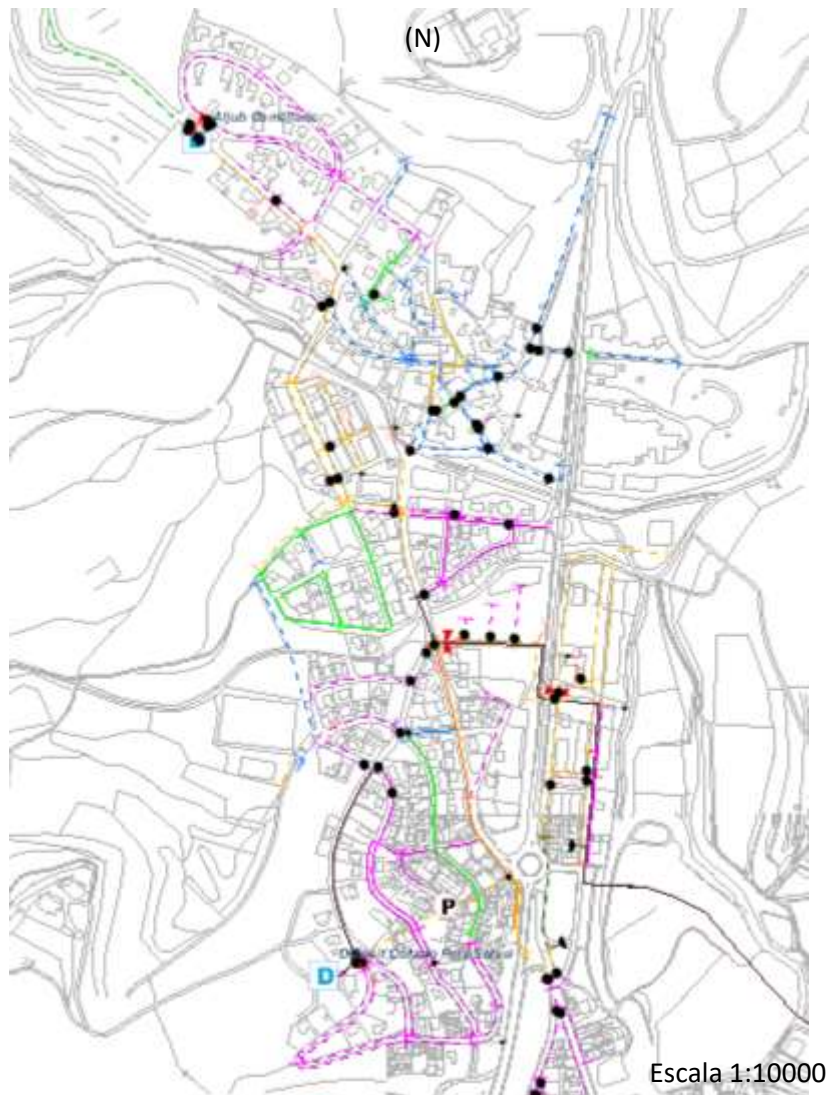


Figura 9.7. Cartografía actual de la red de Canyelles. [Fuente: SOREA, SAU].

9.3. Esquema de abastecimiento

Para entender el funcionamiento de la red de Canyelles es fundamental la cartografía. Ahora bien, otro elemento muy útil es el esquema de abastecimiento. Dentro de este, se incluyen los elementos principales y como se distribuyen. En la figura 9.8 está representado el esquema de

abastecimiento de Canyelles. Como se puede observar, los elementos más importantes son el depósito general de Aguas Ter y Llobregat (de ahora en adelante ATLL), una válvula reductora de presión (más conocida como reguladora) y la propia distribución de red de agua potable incluyendo 6 contadores generales.

Básicamente, Canyelles compra agua en alta a ATLL. Ésta agua llena un depósito que se conoce como ATLL de Canyelles. Dentro de éste, hay un contador antes que pertenece a ATLL para controlar los metros cúbicos que le proporciona. Y, después hay tres contadores que sirven para controlar los metros cúbicos que se gastan en la urbanización de Vora Sitges, California i el núcleo urbano. Si se fija en el núcleo urbano, aparecen dos reguladoras de las cuales una está es desuso. Y, finalmente, has otros cinco contadores de los cuales tres tienen por objetivo controlar el caudal que gasta C/Raval, Canyelles Poble y Can Xum. Los otros dos son para controlar el caudal que se vende a montaña de mar.

A la hora de definir una reguladora lo más importante es saber cuál será la presión de entrada y cuál será la presión de salida. La reguladora de Canyelles tiene una presión de entrada de 9 metros de columna de agua (m.c.a.) y una presión de salida de 5,5 m.c.a.

9.3.1. Depósito de ATLL

El depósito de ATLL recibe el agua de los ríos Ter y Llobregat. La red de distribución de ATLL tiene 1045 km de tuberías de diferentes diámetros, gestiona 170 depósitos, 67 estaciones de bombeos y 212 puntos de suministro. En conjunto, abastece agua potabilizada directamente a 98 municipios y se calcula que abastece a una población total de unos 5 millones de habitantes.



Figura 9.9. Esquema de abastecimiento y las diferentes instalaciones de ATLL. [Fuente: www.atll.cat/]

Concretamente, Canyelles suministró 554.847 m³ en el año 2016 (Tabla 9.1)

Tabla 9.1. m³ suministrados a Canyelles. [Fuente: www.atll.cat/].

Año	m ³
2.013	478.509
2.014	480.500
2.015	558.126
2.016	554.847

La dotación de ATLL para el municipio de Canyelles es de 900.000 m³/año, es decir que aún puede seguir creciendo sin que se vea afectado el suministro de agua.

9.4. Presentación de la red de agua potable del núcleo urbano de Canyelles en la interfaz de EPANET

Si se observa la Tabla 6.4 elementos que forman la red, para dibujar la red de agua potable del núcleo urbano de Canyelles en EPANET, solo ha sido necesario dibujar las 2 reguladoras, 3 depósitos (depósito Collado, Aljub Comallarich y depósito de ATLL). El resto de elementos a excepción de los hidrantes cuando se hagan las comprobaciones no han sido necesarios representarlos. Ahora bien, para dibujar la red si ha sido necesario utilizar:

- 179 conexiones
- 2 embalses
- 1 depósito
- 194 tuberías
- 2 válvulas reguladoras

En la figura 9.10 se observa cómo están distribuidos los elementos mencionados anteriormente. Además, se ubican los componentes más relevantes descritos en el esquema de abastecimiento. Véase planos en régimen permanente para distinguir los diferentes nudos y líneas.

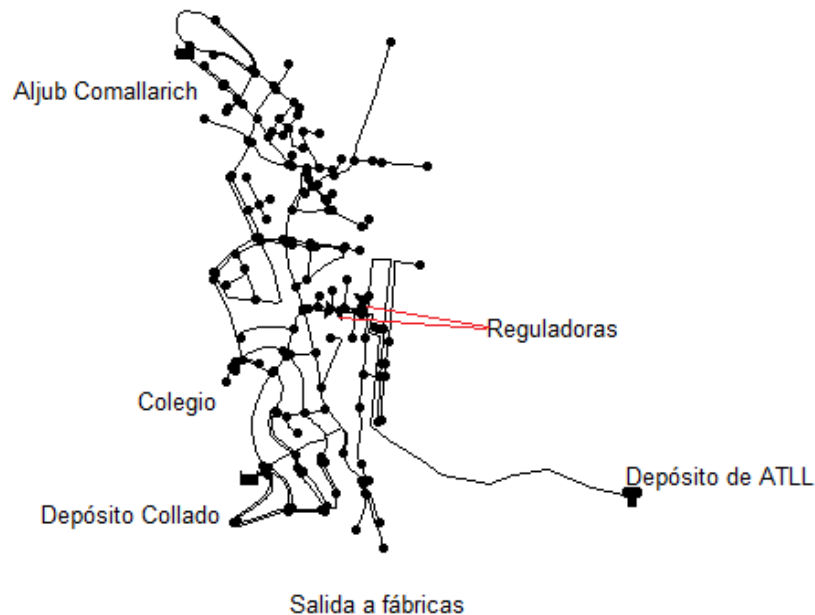


Figura 9.10. Red de agua potable del núcleo de Canyelles en la interfaz de EPANET.

10. Simulación con EPANET

La simulación puede realizarse en régimen permanente, donde el caudal no varía a lo largo de la simulación, o en régimen dinámico, donde el caudal si varía con el tiempo.

10.1. Resultados de la primera simulación

Para este apartado contemplaremos la red en régimen permanente.

10.1.1. En condiciones de caudal medio

A la hora de simular pueden surgir problemas. Los más comunes se muestran a continuación.

- La red está desconectada. Para EPANET todos los nudos con demanda necesita que se les aporte caudal. Si no existe un camino con líneas (tuberías) activas que permitan la llegada de caudal entre un nudo y un depósito, tanque un nudo con demanda negativa. Si el motivo es que una línea está cerrada el resultado será presiones negativas. Si no existen elementos conectados no se podrán resolver las ecuaciones hidráulicas.
- Aparición de presiones negativas. Aparecerá un mensaje de advertencia que indicará que hay algún problema en el diseño de la red.
- Sistema indeterminado. Se produce cuando no pueden resolverse las ecuaciones hidráulicas. Puede producirse cuando válvulas, bombas o tuberías cambia de estado entre una iteración y la siguiente. Se puede solucionar incrementando el número de iteraciones o disminuyendo la precisión el cálculo.
- Ecuaciones hidráulicas irresolubles. Puede producirse cuando en algún punto en el análisis el conjunto de ecuaciones que modelizan el caudal y el balance de energía en la red no pueden resolverse.

Una vez solucionados los problemas se puede realizar la simulación con éxito. A continuación, EPANET nos muestra las características de la red dibujada. De éstas características, las que nos interesan son la presión y el caudal.

En la figura 10.1 se puede comprobar cómo están distribuidas las presiones de más alto y bajo valor. Las presiones más altas se encuentran en la zona más próxima a la carretera C-15z, siendo la presión más elevada de unos 104 m.c.a. Mientras que la zona de presiones inferiores se localiza en la zona de cota más alta que pertenece a la calle Puig de les Forques y Carrer Comallarich. La presión más baja es de 8 m.c.a.

La tubería donde se localizan las máximas presiones es tipo PE100 de 97 mm de diámetro interior. Si se observa la figura 6.2 dicha tubería presenta una presión admisible de 100 m.c.a., por lo tanto, la tubería no es correcta.

Las empresas suministradoras están obligadas a mantener las condiciones de presión y caudal establecidas en el contrato de acometida o de suministro, por lo general, con un valor mínimo de presión de 25 m.c.a. y un valor máximo de 50 m.c.a.. No obstante, a nivel de la simulación realizada, no todos los nudos son de acometida a una vivienda, sino que la mayoría de nudos, son representativos de los consumos correspondientes a las viviendas, por ejemplo, de una misma calle. Véase en Anexo planos para más detalles de presiones y en el Anexo 1 para comprobar los diferentes valores de presiones en los nudos.

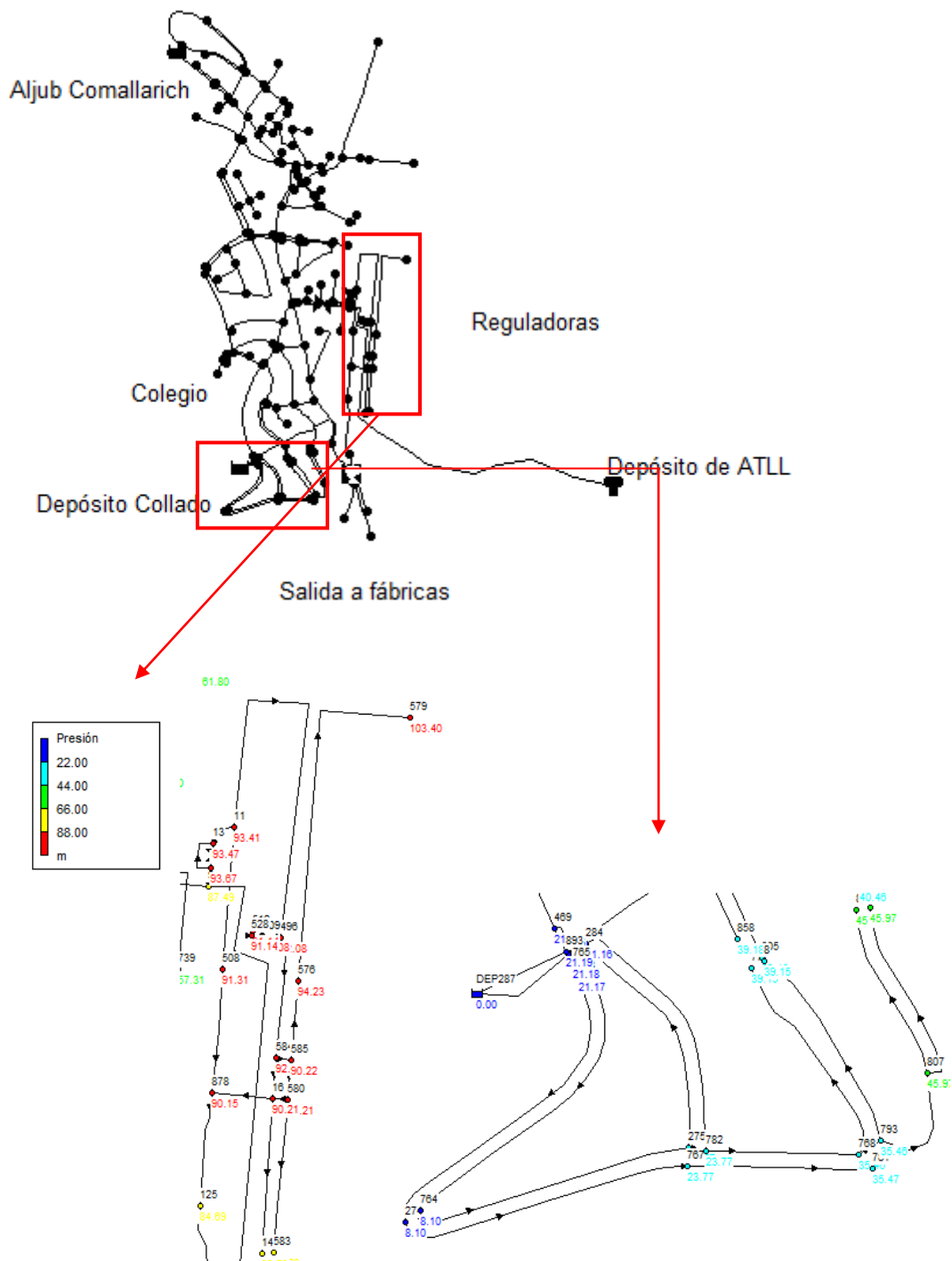


Figura 10.1. Análisis de las presiones más altas y bajas del núcleo urbano de Canyelles. [Fuente: propia]

En la figura 10.2 se puede comprobar cómo está distribuido el caudal. La mayor demanda de caudal es la que sale del depósito ATLL (línea 14 con 12 L/s, aproximadamente) ya que abastece a todo el núcleo urbano. Si obviamos eso, la zona de mayor demanda de caudal (línea 868 con 6 L/s) se encuentra en la zona de Can Xum ya que esa tubería se dirige a unas llaves y

10.1.2. Calibración del modelo.

Para simular la red se han utilizado consumos reales del trimestre más desfavorable (Junio, Julio y Agosto). Una vez hecho, se han realizado comprobaciones de presión en diferentes puntos del núcleo urbano para verificar la veracidad de la simulación.

EPANET permite comparar los resultados de la simulación con parámetros reales medidos. Esto puede hacerse a través de informes de calibración que pueden considerar múltiples localizaciones o vía gráficas de evolución para localizaciones seleccionadas en la red.

Tabla 10.1. Estadística de calibración para los datos de presiones. [Fuente: propia].

Estadísticas de Calibración para Presión					
Localización	Nº	Obs(m.c.a.)	Calculado(m.c.a.)	Media	RMS
275	1	30,00	23,77	6,233	6,233
764	1	15,00	8,10	6,896	6,896
106	1	55,00	55,00	0,000	0,000
9	1	88,00	88,04	0,038	0,038
669	1	45,00	43,45	1,547	1,547
Media		46,60	43,67	2,943	4,214
Correlación entre los Términos			0,998		

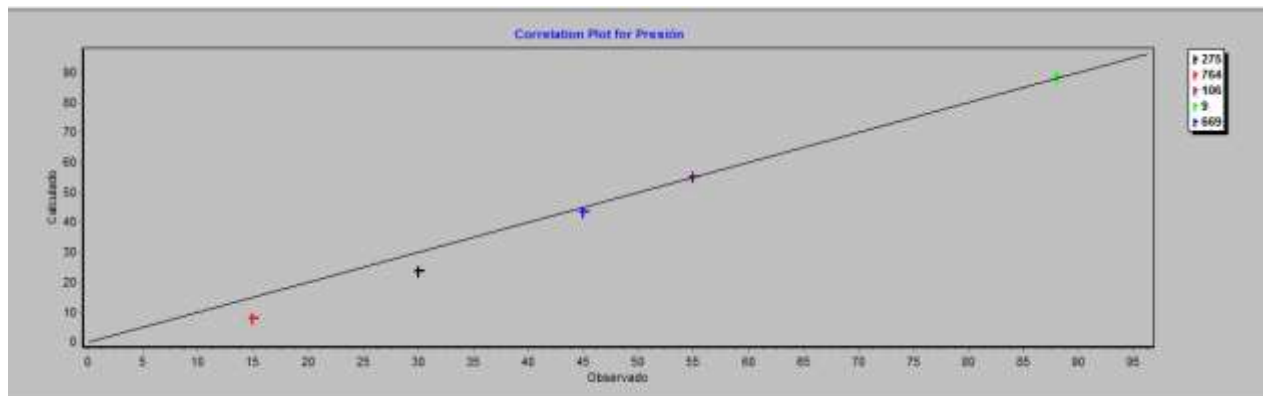


Figura 10.3. Gráfica de correlación de la presión (en m.c.a.). [Fuente: propia].

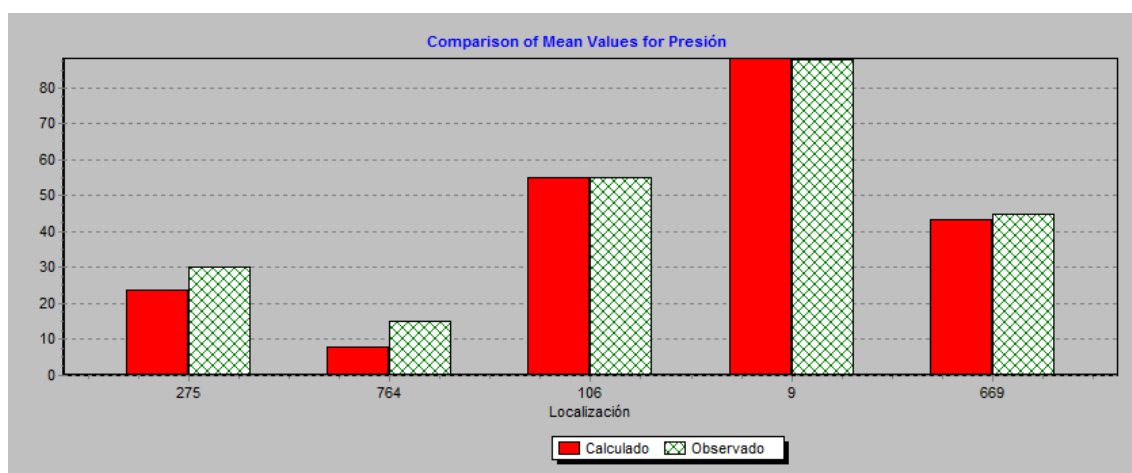


Figura 10.4. Comparación de los valores medios de presión (en m.c.a.). [Fuente: propia]

Los resultados muestran una leve diferencia de presiones, entre simuladas y medidas en los nudos 106, 9, 669 pero es aceptable para poder seguir con la simulación. Sin embargo, los puntos 275 y 764 muestran una diferencia considerable. Para que la diferencia sea aceptable se adopta el error de +/- 1,5 m.c.a (Fuertes et al. 2002). En los resultados que no son aceptables se comprueba que los datos introducidos sean los correctos. Al observar que la presión calculada era significativamente inferior a la observada mediante medición, la primera medida fue comprobar todos los datos introducidos correspondientes a las tuberías. Una vez comprobados, se revisaron las cotas geométricas de los nudos en concreto, observándose que el error residía en la cota geométrica de los mismos. Dicha cota fue generada directamente por el programa informático, GIS, pero mediante comprobación cartográfica se observaron pequeñas variaciones de cota que explicaban las diferencias de presión. En la tabla 10.2 se muestra los datos de la segunda calibración.

Tabla 10.2. Estadística de presión del segundo calibrado. [Fuente: propia].

Estadísticas de Calibración para Presión					
Localización	Nº	Obs (m.c.a.)	Calculado(m.c.a.)	Media	RMS
275	1	30,00	31,10	1,097	1,097
764	1	15,00	15,10	0,104	0,104
106	1	55,00	55,00	0,000	0,000
9	1	88,00	88,04	0,038	0,038
669	1	45,00	43,45	1,547	1,547
Media		46,60	43,67	0,557	0,850
Correlación entre los Términos			0,999		

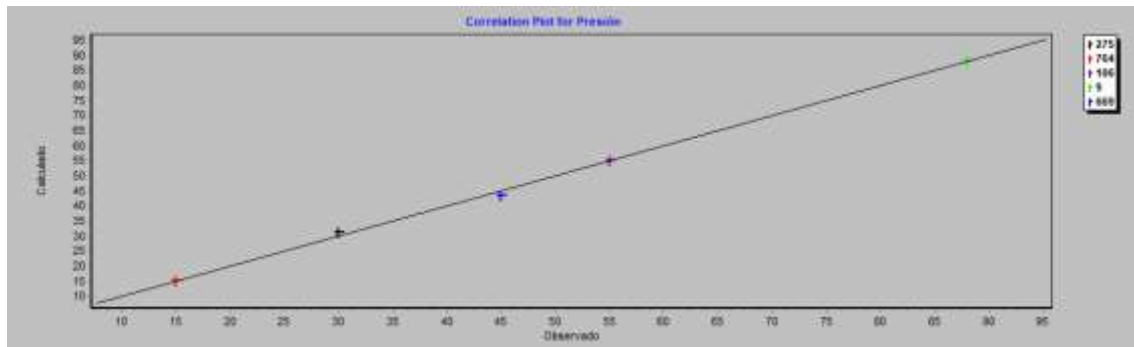


Figura 10.5. Gráfica de correlación de la presión (en m.c.a.) del segundo calibrado. [Fuente: propia]

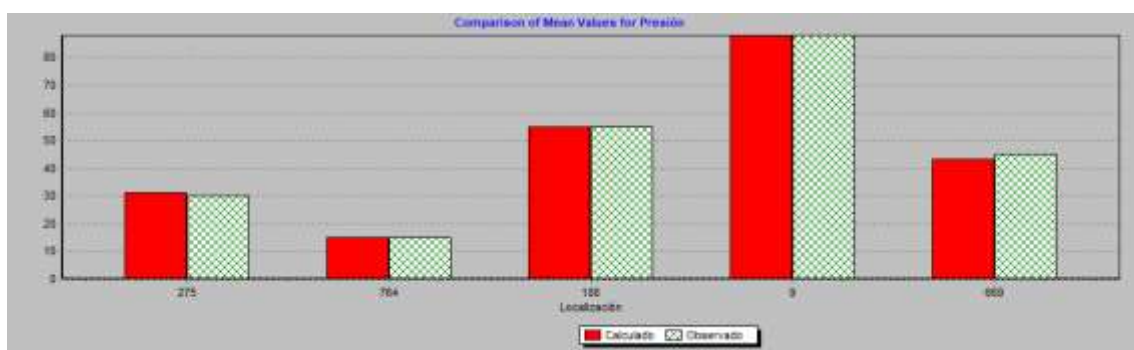


Figura 10.6. Comparación de los valores medios de presión (en m.c.a.) del segundo calibrado. [Fuente: propia].

Una vez comprobada la calibración de presiones sería ideal poder hacer lo mismo con los caudales. Sin embargo, no se dispone de esos datos para realizarla.

10.1.3. Comprobación de hidrantes en régimen permanente

La red hidráulica debe permitir el funcionamiento simultáneo de dos hidrantes consecutivos durante dos horas. Así por ejemplo, si se produce un incendio en la zona media – alta del núcleo urbano de Canyelles (véase plano de hidrantes en régimen permanente-Anexo planos), por ejemplo en el nudo 17, habría que utilizar los dos hidrantes más próximos: uno sería el propio nudo 17 y el otro situado a 83 metros aproximadamente (nudo 18) En la figura 10.7 se ve su ubicación. Ambos hidrantes son del tipo 80 mm y deben satisfacer un caudal de 8.33 L/s con una presión mínima de 10 m.c.a. (si la utilización prevista del hidrante contra incendios sea únicamente el llenado de camiones).

Mediante la simulación se comprueba que la presión es de 43 m.c.a. para el nudo 17 y de 39 m.c.a. para el nudo 18 (véase plano de hidrantes en régimen permanente para ver presiones en los nudos- Anexo planos). Se comprueba que la presión es suficiente. En caso contrario, se debería, por ejemplo, modificar diámetros (aumentando) hasta alcanzar los requerimientos mínimos.

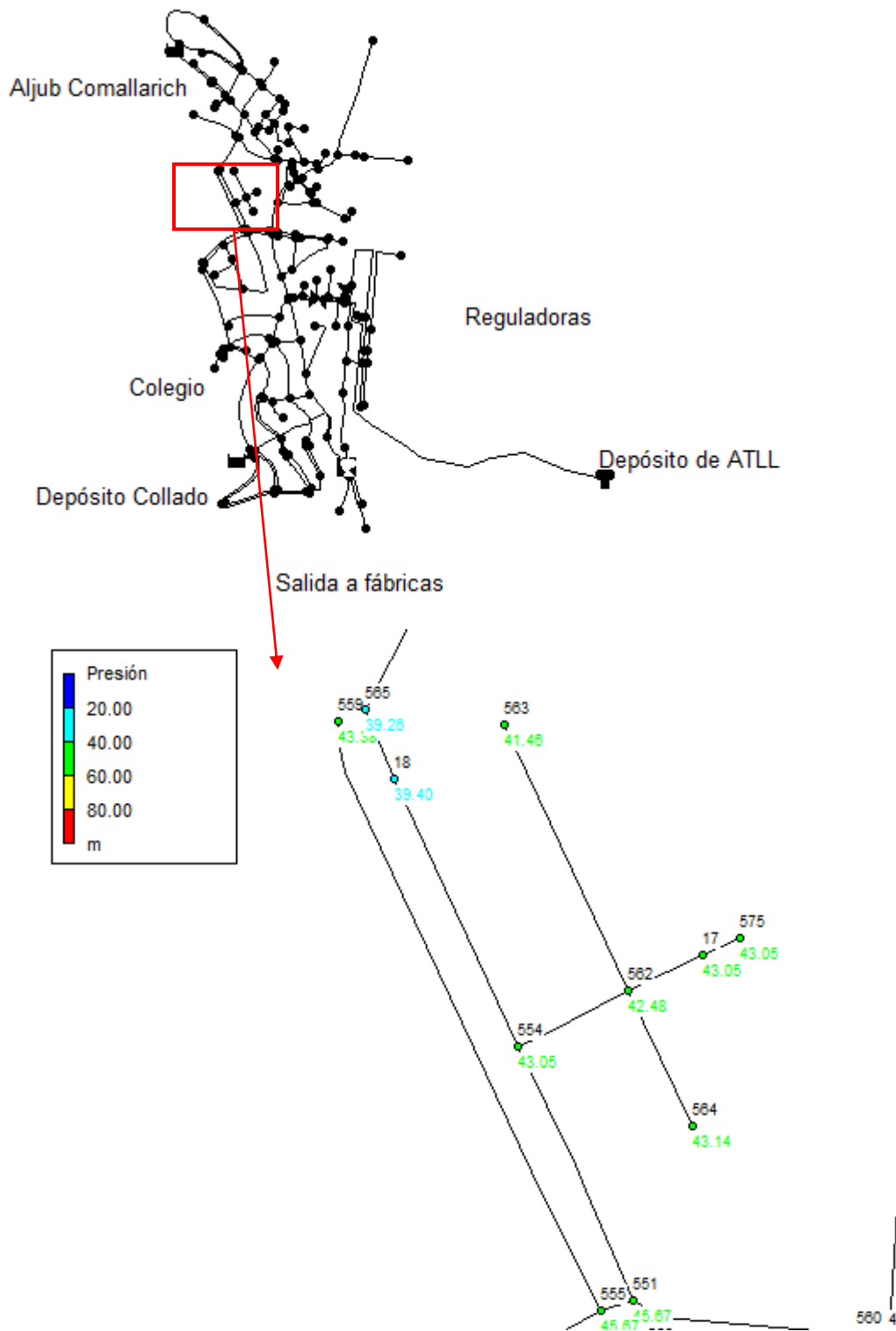


Figura 10.7. Presiones con los hidrantes en funcionamiento. [Fuente: propia].

10.2 Resultados de la red en régimen dinámico

Una vez realizado el análisis en régimen permanente y estar calibrado según los datos experimentales es hora de realizar el análisis dinámico en un periodo de 24 horas.

Para representar como varía el consumo se han asignado unas curvas de modulación a los nudos. Ya que dependiendo de si es una fábrica, un colegio o el propio pueblo tienen consumos diferentes. En las figuras 10.8 – 10.11 se muestran dichas curvas.

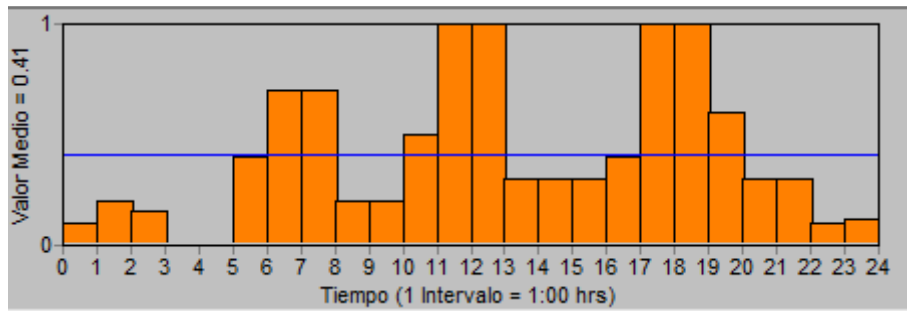


Figura 10.8 Patrón de consumo del núcleo urbano. [Fuente: propia]

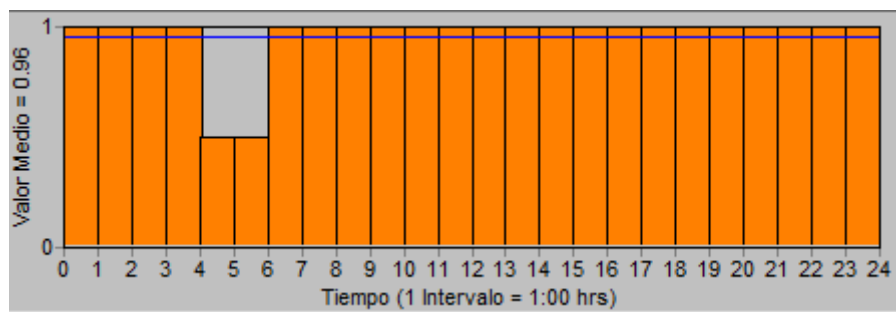


Figura 10.9 Patrón de consumo de la Fábrica. [Fuente: propia].

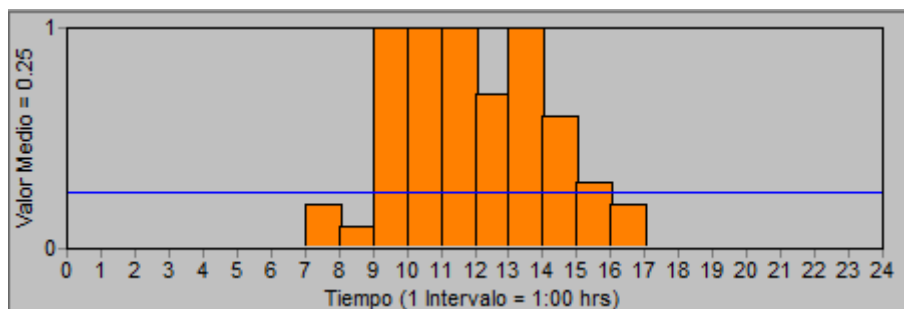


Figura 10.10 Patrón de consumo del colegio. [Fuente: propia].

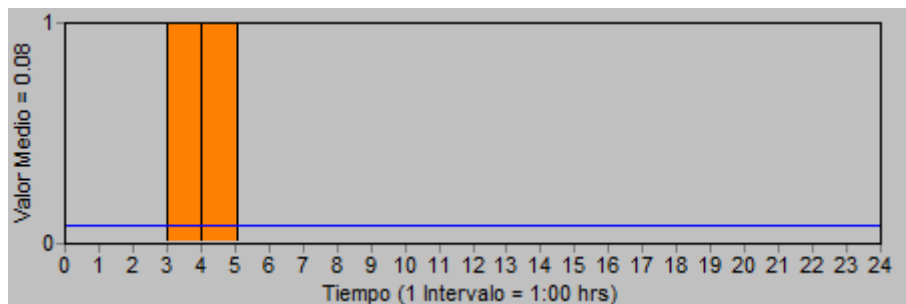


Figura 10.11 Patrón de consumo del depósito Aljub Comallarich. [Fuente: propia]

10.2.1 Primer análisis en régimen dinámico

Si se observa el plano en régimen permanente y el plano en régimen dinámico destacando los nudos y las líneas, existen leves diferencias entre la simulación en régimen permanente y régimen dinámico. Se ha añadido un nudo con demanda de caudal negativa para aportar caudal al depósito de ATLL. A parte, se ha sustituido la forma de representar el Aljub Comallarich de un embalse por un depósito y se ha introducido carga en el nudo 15 que está justo a la izquierda del Aljub para representar el consumo necesario para llenar el depósito.

A la hora de mostrar los resultados destacaremos los más importantes que son: la línea 14, el nudo 764, nudo 638, nudo 579 y nudo 735 y nudo 482.



Figura 10.12 Variación de caudal en la línea 14. [Fuente: propia].

En la figura 10.12 se observa como es la demanda en el depósito de ATLL. Si se comprueba con la figura 7.4 hay una leve diferencia a causa de que en el proyecto se han utilizado consumos del año 2016 y la gráfica del telecontrol es del año 2017. A pesar de este inconveniente los resultados son bastante similares. Se observa que los máximos de demanda son a aproximadamente las mismas horas entre las 11:00 – 12:30 horas, 17:00 – 18:00 horas y entre las 4:00 – 5:00 horas en EPANET y entre las 12:00 – 13:00 horas, 18:00 – 19:30 horas y entre las 4:00 – 5:00 horas en el telecontrol. Estos picos son de 14,80 L/s y 6 L/s. En el telecontrol son de 14,51 y 5,3 L/s.

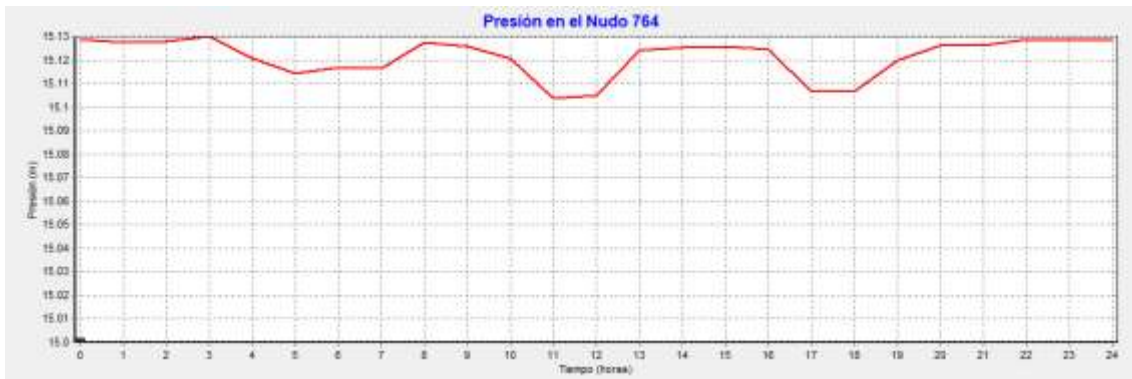


Figura 10.13 presión en el nudo 764. [Fuente: propia]

En la figura 10.13 se representa la presión en el nudo 764. Este nudo tiene una cota geométrica de 168 metros, siendo uno de los puntos más altos del núcleo urbano de Canyelles. Sin embargo, se observa una presión bastante constante y aceptable de 15,12 m.c.a.

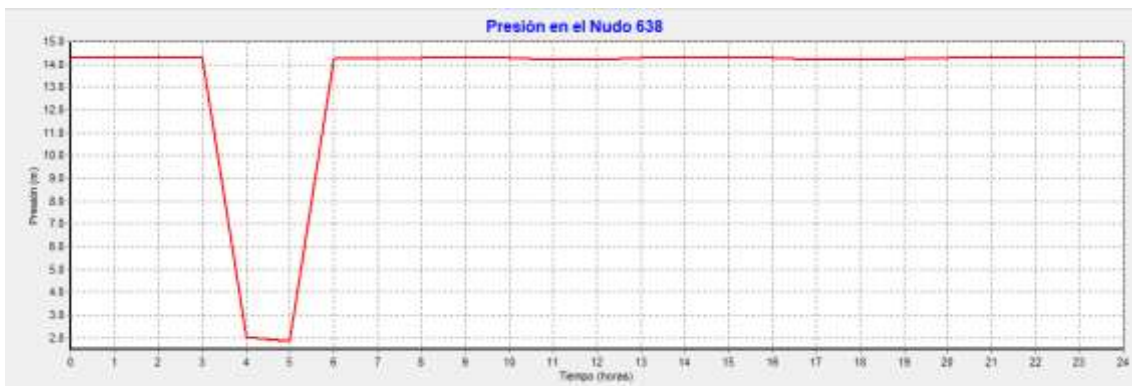


Figura 10.14 presión en el nudo 638. [Fuente: propia]

En la figura 10.14 se representa la presión en el nudo 638. Este nudo también está situado en un punto alto del núcleo urbano de Canyelles. A una cota de 168,40 metros. Su presión se mantiene constante a un valor de 14,40 m.c.a. excepto en el periodo de 4 a 5 horas que coincide cuando se está llenando el depósito. Este valor está alrededor de 2 m.c.a. que no es suficiente para un hogar.



Figura 10.15 presión en el nudo 579. [Fuente: propia]

En la figura 10.15 se representa la presión en el nudo 579. A diferencia de los nudos 638 y 764, el nudo 579 se encuentra a 111,30 metros, siendo el punto más bajo del núcleo urbano de Canyelles. A consecuencia, su presión es la más elevada con un valor de media de 104,50 m.c.a. Sin embargo, el material de la tubería que proporciona esta presión con un caudal de 0,2 L/s es de PE110. Si observamos la figura 6.2 la presión admisible para esta tubería es de 100 m.c.a con lo cual sobrepasa este valor y no es idónea.

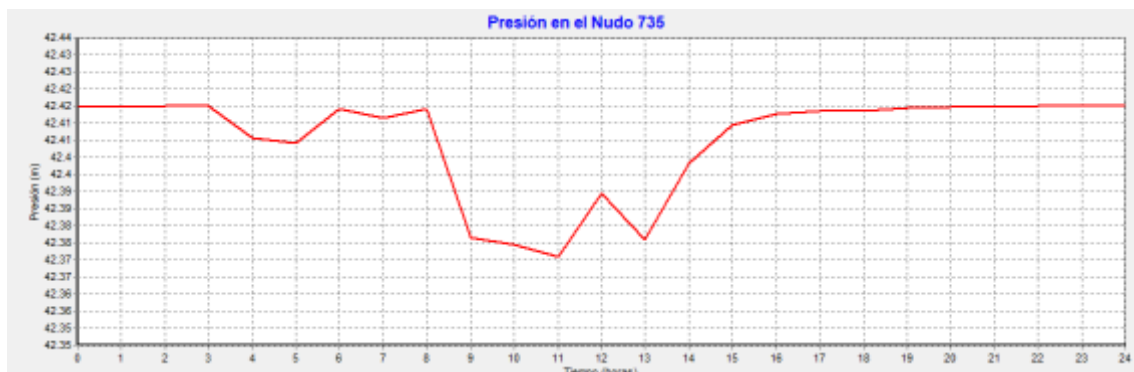


Figura 10.16 presión en el nudo 735. [Fuente: propia]

En la figura 10.16 se representa la presión en el nudo 735. Este nudo representa el consumo en el colegio. Su cota geométrica es de 140,71 metros. Su presión tiene un valor medio de 42,40 m.c.a. y apenas afecta el consumo en hora punta del colegio.

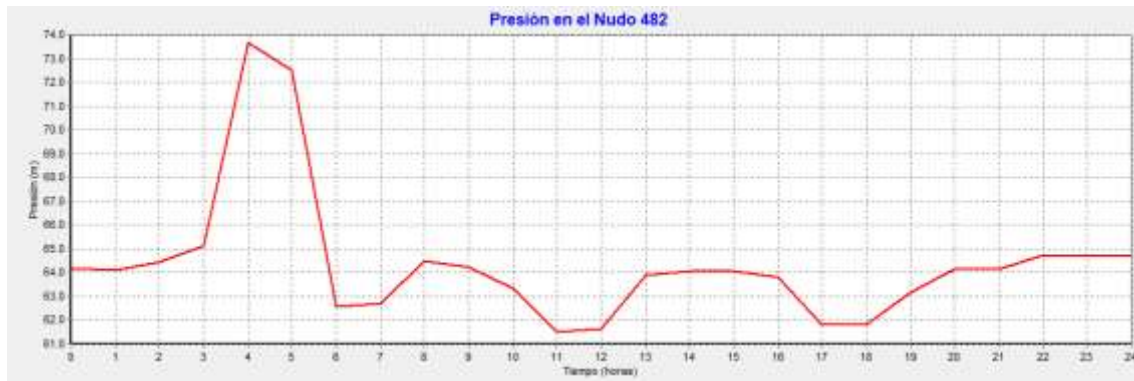


Figura 10.17 presión en el nudo 482. [Fuente: propia].

En la figura 10.17 se representa la presión en el nudo 482. Este nudo representa el consumo en las fábricas. Su cota geométrica es de 137,69 metros. Su presión varía de 62 a 74 m.c.a. El caudal que aporta la tubería es constante durante todo el día.

10.2.2. Análisis definitivo en régimen dinámico.

Tras realizar el primer análisis dinámico se han encontrado dos problemas. El primero es la baja presión en el nudo 638 y el segundo, justo al contrario que el primero, es la alta presión en el nudo 579.

Para solucionar éstos problemas existe el inconveniente de no disponer de datos experimentales para poder comprobar cuál es la presión real en los nudos mencionados anteriormente. Para solucionar el inconveniente del nudo 638 se ha comprobado la cota geométrica y la primera cota (168,83 metros) superaba en aproximadamente 9 metros a la cota real (160 metros). Esta variación hace ganar 9 m.c.a al nudo y lo hace aceptable para instalar una acometida. Para resolver el nudo 579 se ha puesto en funcionamiento la válvula reguladora que estaba desconectada. Al introducir una consigna de 70 m.c.a. a dicha válvula provoca que la presión máxima del nudo sea de 80,60 m.c.a. la cual está dentro de la presión máxima admisible que muestra la figura 6.2.

Para detallar los resultados se mostrará la gráfica de los nudos 638, 579, 482 y 12 ya que son los únicos puntos que varían la presión a causa de las modificaciones (excepto el nudo 12).

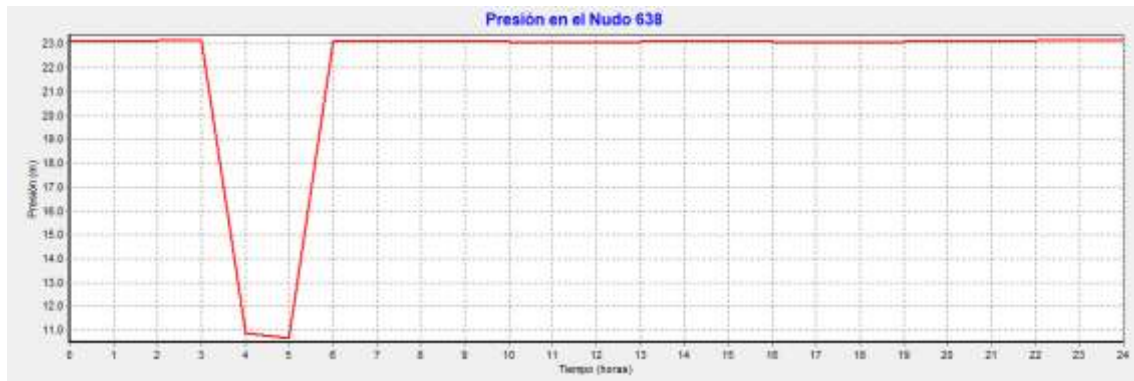


Figura 10.18 Presión en el nudo 638. [Fuente: propia].

En la figura 10.18 se representa como varía la presión del nudo 638. A diferencia del primer análisis la presión mínima es de aproximadamente 11 m.c.a. A pesar de no llegar a los 25 m.c.a. es bastante más elevada que antes y se puede tolerar.

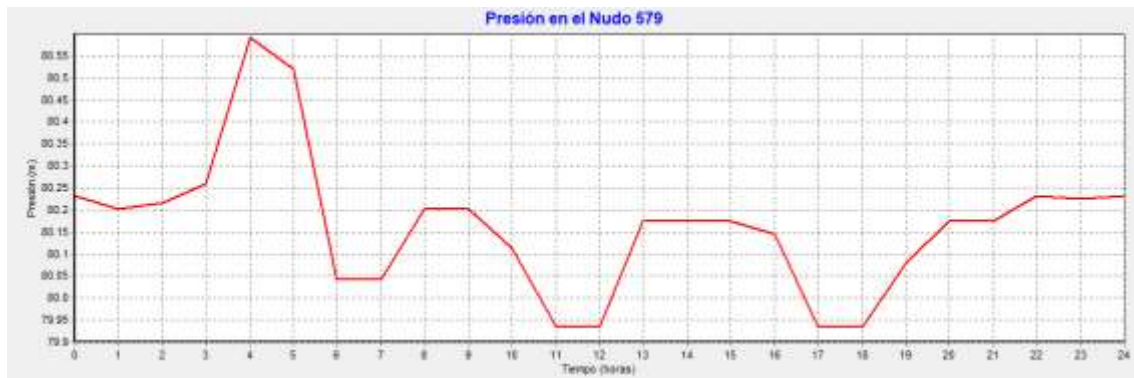


Figura 10.19 Presión en el nudo 579. [Fuente: propia].

En la figura 10.19 está representada la variación de presión del nudo 579. A diferencia del primer análisis la presión de este punto disminuye a un máximo de 80,60 m.c.a. estando por debajo de la presión admisible de 100 m.c.a. Actualmente, la válvula de regulación no está en servicio, un posible factor que hace que actualmente no sea necesario el uso de la válvula, es que con el tiempo de uso, la rugosidad de las tuberías haya aumentado y provoque que la presión disminuya. O, directamente, es posible que el material que se utiliza en EPANET sea diferente al que está construido realmente. A consecuencia de no disponer de información experimental se ha considerado que la mejor opción es poner en marcha la reguladora y respetar la información dada en el plano suministrado por la empresa.

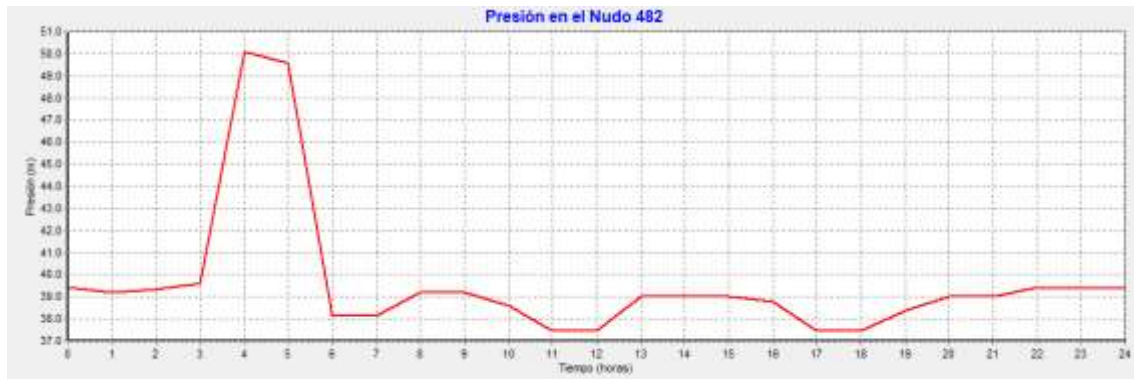


Figura 10.20 Presión en el nudo 482. [Fuente: propia].

La figura 10.20 muestra la variación de presión del nudo 482. Al funcionar la reguladora la presión del nudo de salida a fábricas disminuye también. La presión mínima es de aproximadamente 38 m.c.a.



Figura 10.21 Presión en el nudo 12. [Fuente: propia].

La figura 10.21 muestra la variación de presión en el nudo 12. Este nudo se incluye en este apartado porque ahora es el nudo que más presión tiene en la red. El material que soporta esta presión es polietileno de 110 mm de diámetro exterior. Es el mismo material que el nudo 579. Por tanto, la máxima presión admisible es de 100 m.c.a. que supera el máximo de 95,70 m.c.a. que tiene que soportar. Si a lo largo del uso la tubería diera problemas para aguantar la presión se podrían sustituir los 2 metros de tubería por PE 100 de 125 mm de diámetro exterior con el diámetro interior de 106,6 mm que tiene una presión admisible de 125 m.c.a.

10.2.3 Comprobación de hidrantes en régimen dinámico

Para realizar la simulación de hidrantes en régimen dinámico se utilizan los mismos nudos que en el punto 10.1.3. Por tanto, los requisitos son los mismos; caudal de 8,33 L/s y presión

mínima de 10 m.c.a. Al ser en régimen dinámico se puede comprobar que el hidrante es capaz de funcionar durante dos horas.

Con el fin de justificar la validez de los hidrantes se mostrarán las gráficas de los nudos propios de los hidrantes (en este apartado son el número 19 y 20), el nudo 638 y la línea 14. Con objeto de mostrar el caso más desfavorable se considera que los hidrantes funcionan cuando el Aljub Comallarich se encuentra cargándose (de 3:00h a 5:00h).



Figura 10.22 Caudal de la línea 14 con los hidrantes en funcionamiento. [Fuente: propia].

En la figura 10.22 se muestra el consumo de la demanda de ATLL. Se comprueba que al estar los hidrantes en funcionamiento el máximo aumenta a 23 L/s.



Figura 10.23 Presión en el nudo 638 con los hidrantes en funcionamiento. [Fuente: propia].

En la figura 10.23 se muestra como varía la presión del nudo 638 con el hidrante en funcionamiento. La razón de justificar este punto es porque es el más conflictivo durante los análisis dinámicos. Tras realizar su estudio el mínimo es de aproximadamente 10 m.c.a. Valor que es 1 m.c.a más bajo cuando los hidrantes no son necesarios.

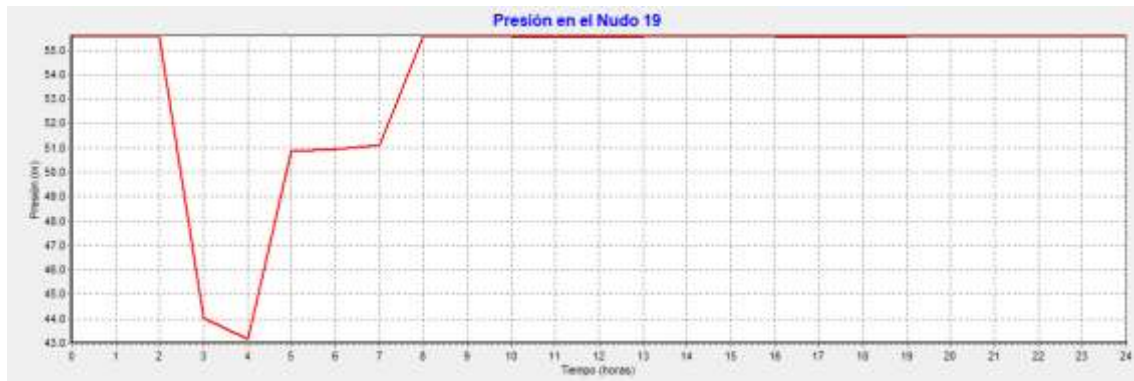


Figura 10.24 Presión en el nudo 19 con los hidrantes en funcionamiento. [Fuente: propia].

En la figura 10.24 se muestra como varia la presión del nudo 19 con los hidrantes en funcionamiento. Su presión es constante a lo largo del día excepto cuando los hidrantes entran en funcionamiento. Sin embargo, la presión mínima entre las 3:00 - 5:00 horas es de aproximadamente 43 m.c.a que supera los 10 m.c.a.

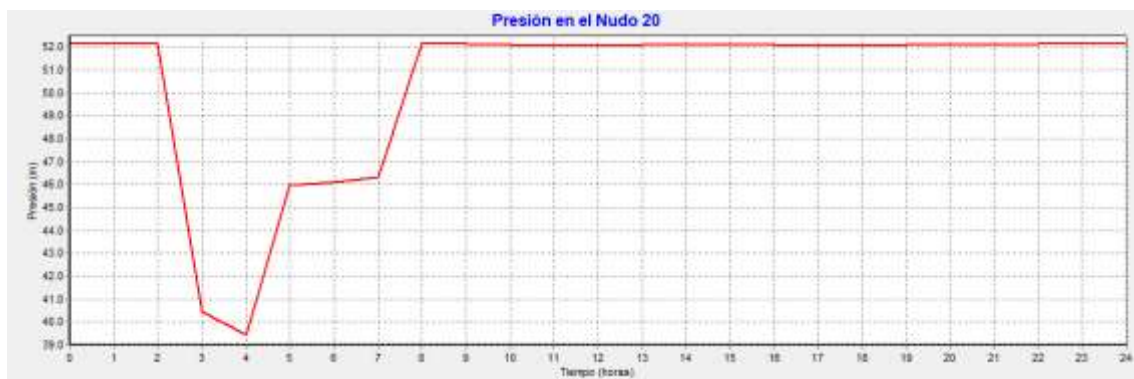


Figura 10.25 Presión en el nudo 20 con los hidrantes en funcionamiento. [Fuente: propia].

En la figura 10.25 se muestra como varia la presión del nudo 20 con los hidrantes en funcionamiento. Su presión es constante a lo largo del día excepto cuando los hidrantes entran en funcionamiento. Sin embargo, la presión mínima entre las 3:00 - 5:00 horas es de aproximadamente 39 m.c.a que supera los 10 m.c.a.

10.2.4 Comprobación con todos los hidrantes en funcionamiento

Después de analizar la red, como ejercicio se ha querido comprobar su comportamiento en el caso extremo de tener todos los hidrantes en funcionamiento. Considerando que los hidrantes son del tipo 80mm la red aguanta excepto por el nudo 764 que da una presión negativa. Si por el contrario, consideramos los hidrantes del tipo 100mm según EPANET la red no es capaz de aguantar. Siendo del tipo 80mm las gráficas de los elementos más destacables se pueden ver a

continuación. En el Anexo planos y en el Anexo 2 se puede comprobar los valores de los nudos y las líneas del resto de los elementos. Los nudos que corresponden a los hidrantes son: 19, 20, 21, 24, 27, 28, 29, 31 y 34. En las figuras 10.26 – 10.30 se encuentra la localización de los nudos de los hidrantes.

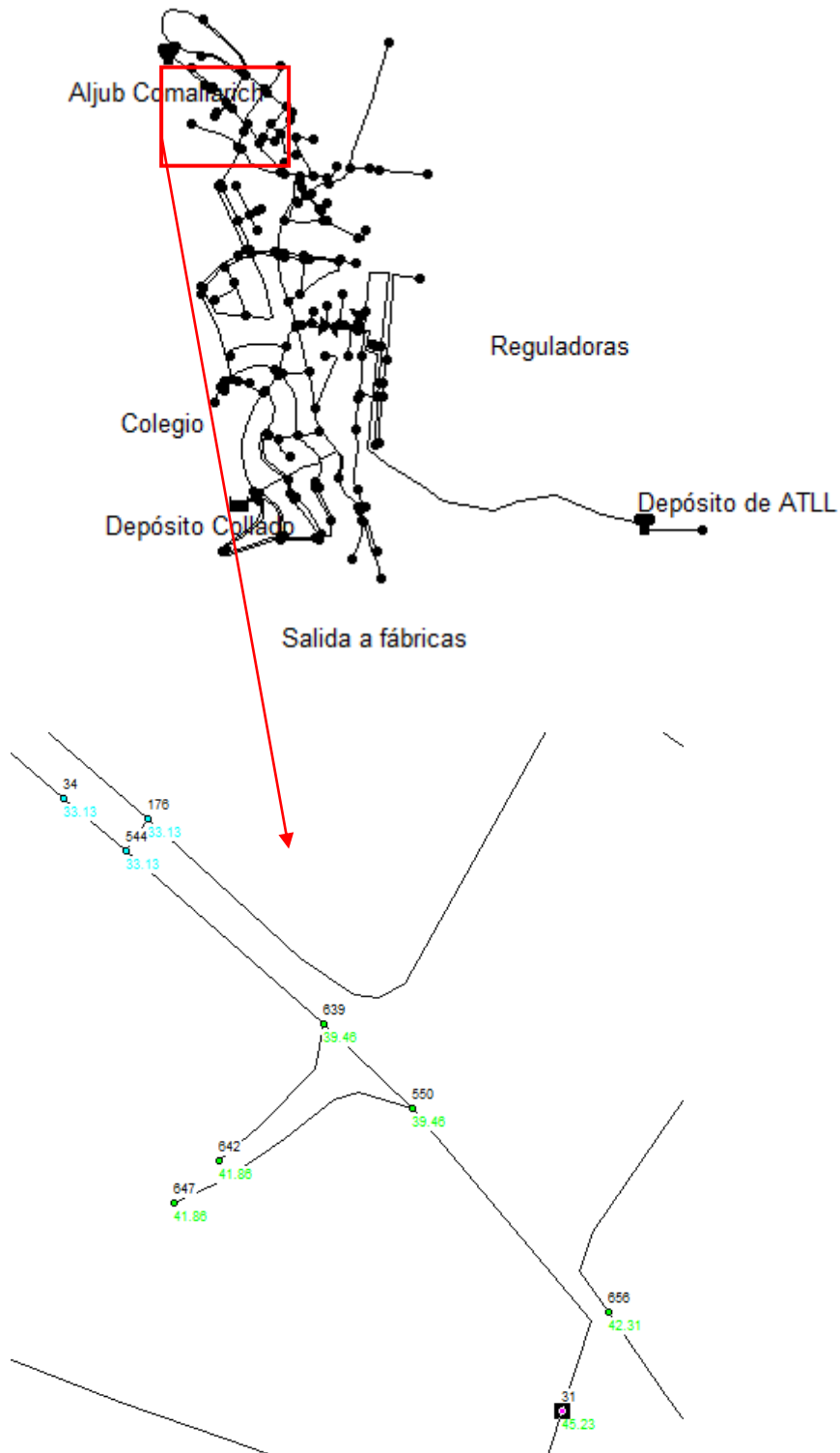


Figura 10.26. Localización de los hidrantes con nudos 34 y 31. [Fuente: propia].

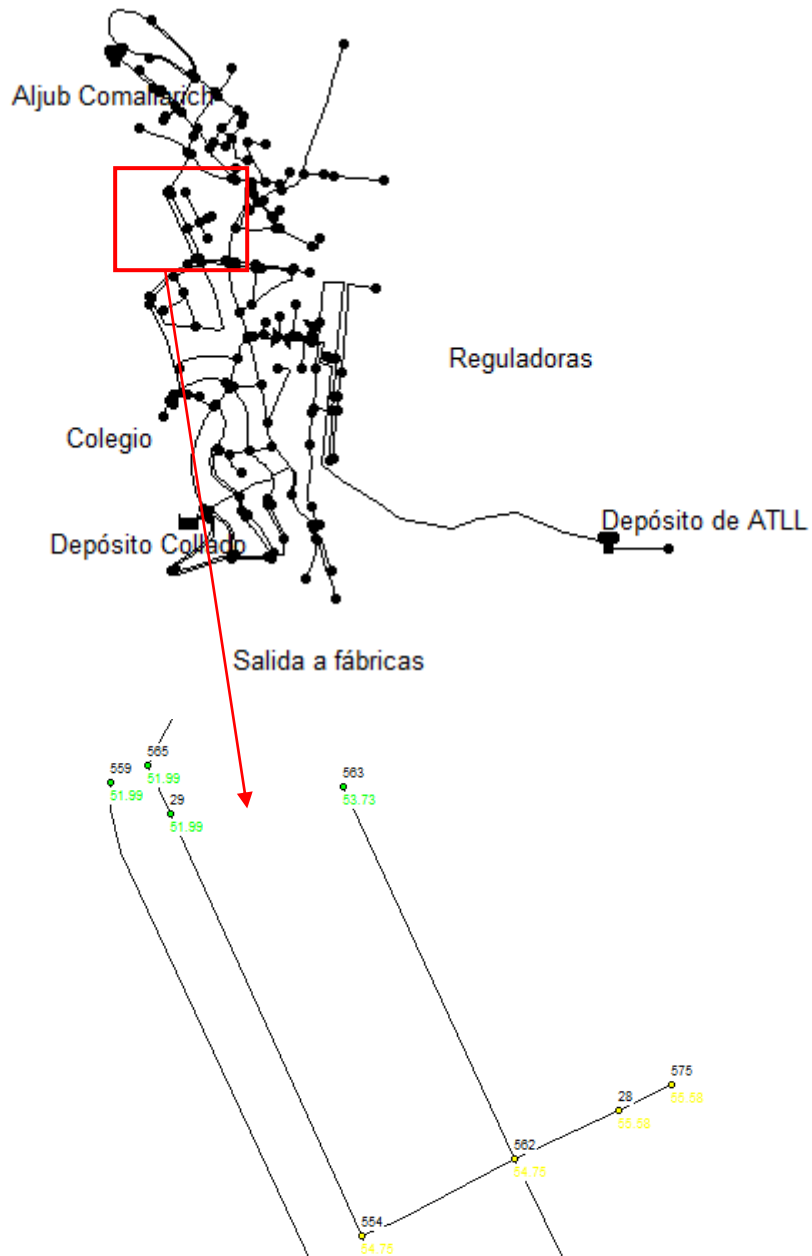


Figura 10.27 Localización de los hidrantes con nudos 28 y 29. [Fuente: propia].

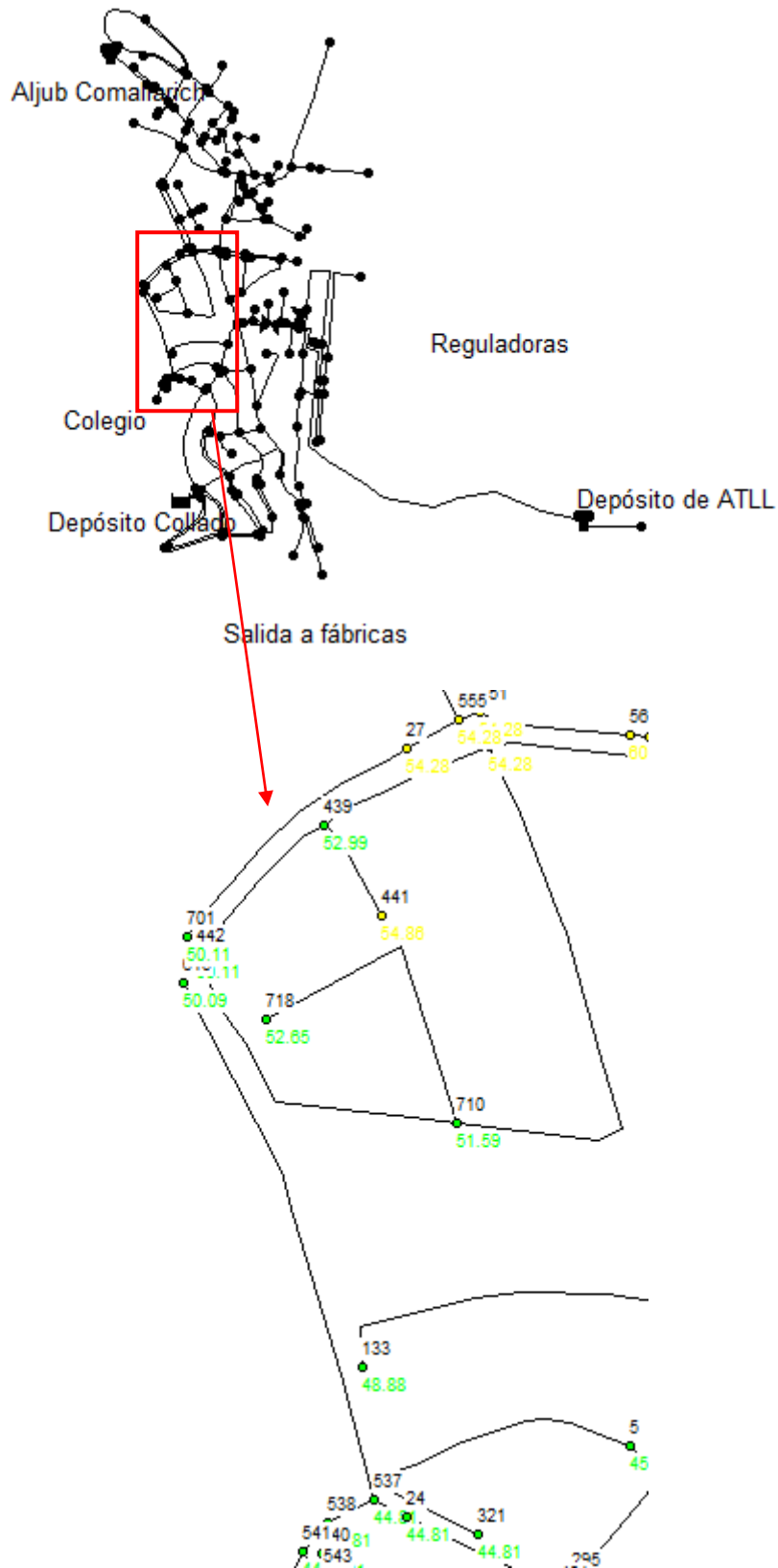


Figura 10.28 Localización de los hidrantes con nudos 27 y 24. [Fuente: propia].

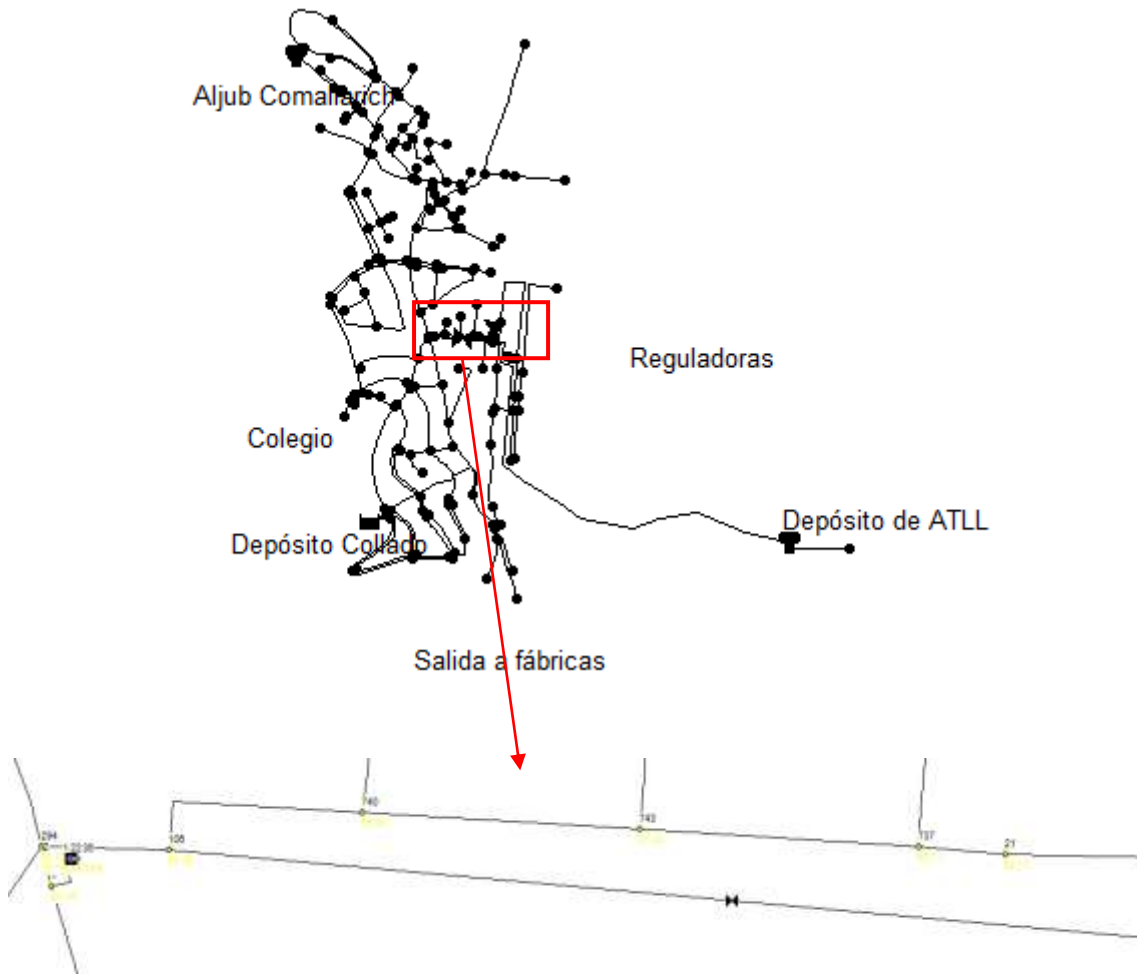


Figura 10.29 Localización de los hidrantes con nudos 22 y 21. [Fuente: propia].

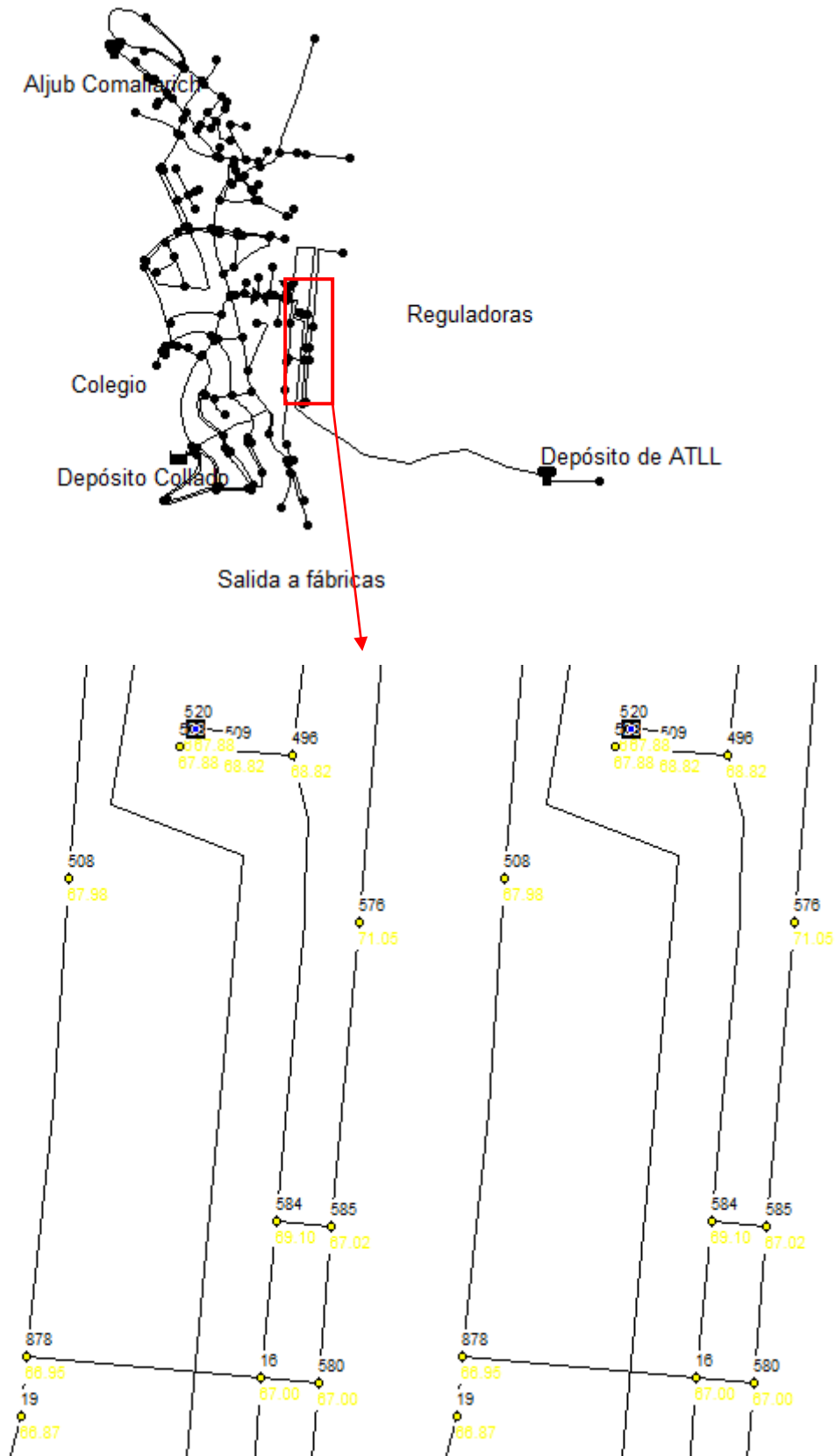


Figura 10.30. Localización de los hidrantes con nudos 19 y 20. [Fuente: propia].

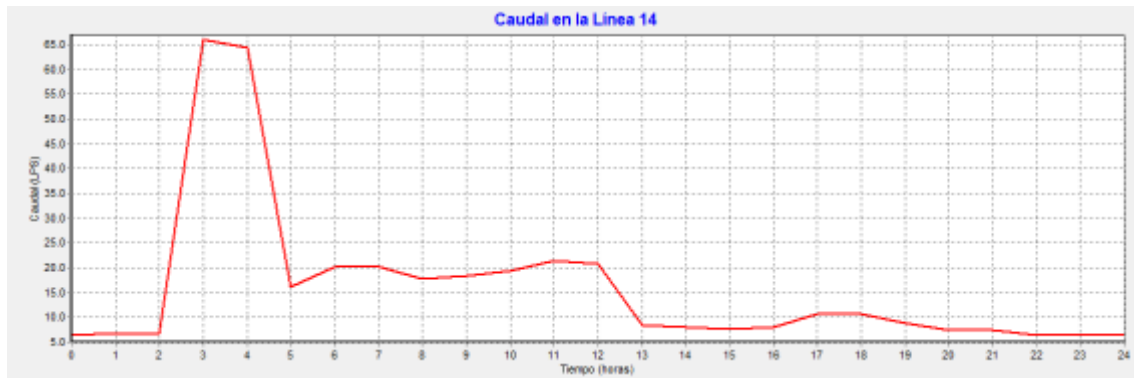


Figura 10.31. Variación del caudal de la línea 14 con todos los hidrantes en funcionamiento.

[Fuente: propia].

Según la figura 10.31 se puede comprobar la demanda en el depósito durante un día con todos los hidrantes activos mientras se carga el Aljub Comallarich.



Figura 10.32 Variación de la presión en el nudo 764 con todos los hidrantes en funcionamiento. [Fuente: propia]

En la figura 10.32 se puede comprobar la variación de la presión en el nudo con la cota geométrica más alta de la red, llegando a ser negativa en la primera hora de suministro a depósito.

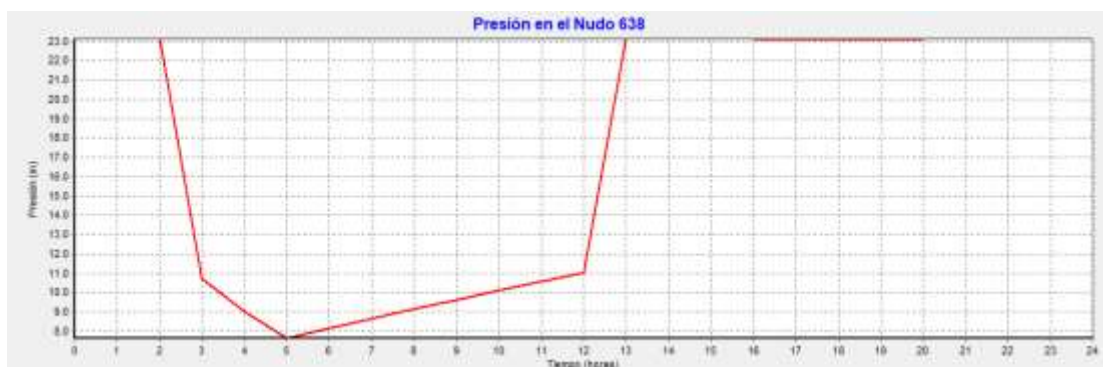


Figura 10.33 Variación de la presión en el nudo 638 con todos los hidrantes en funcionamiento. [Fuente: propia].

En la figura 10.33 se puede comprobar la variación de la presión en el nudo de presión más baja de la red a excepción del nudo 764 y 274 (que tiene el mismo comportamiento que el nudo 764). Como se ha comentado antes es una presión baja para el consumo.

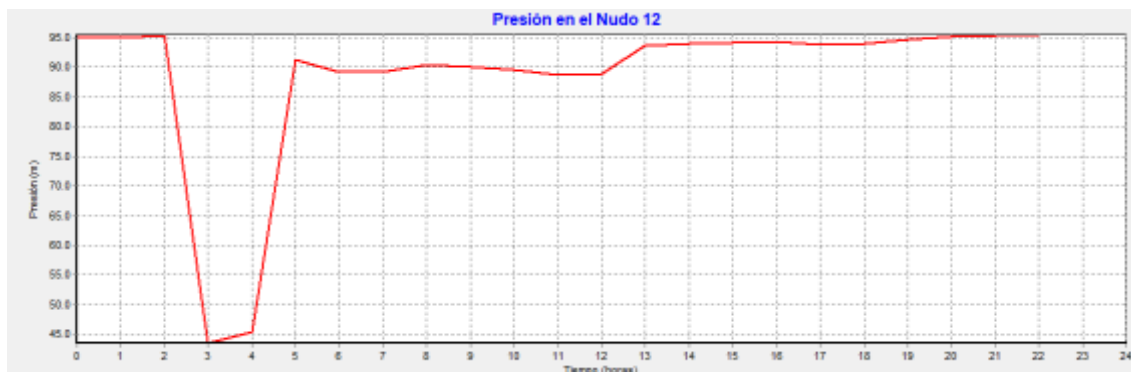


Figura 10.34 Variación de la presión en el nudo 12 con todos los hidrantes en funcionamiento.

[Fuente: propia].

En la figura 10.34 se puede comprobar la variación de la presión en el nudo que tiene más presión en la red. Sin embargo, en el instante en que se está llenando el depósito y funcionando los hidrantes no ocurre lo mismo. Su presión desciende hasta 45 m.c.a.

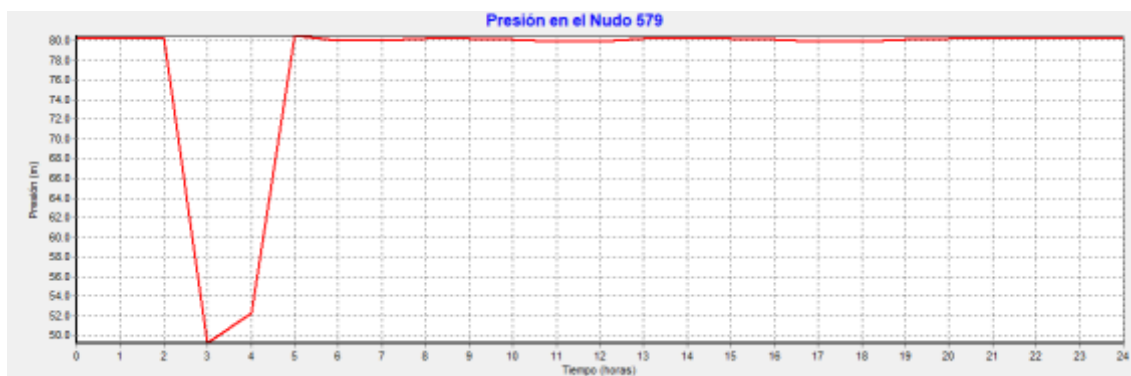


Figura 10.35 Variación de la presión en el nudo 579 con todos los hidrantes en

funcionamiento. [Fuente: propia].

En la figura 10.35 se puede comprobar la variación de la presión en el nudo 579. En el instante que se ha comentado en la figura 10.34, este nudo es el que tiene la presión más elevada con un valor de 50 m.c.a.

Una vez hecha la simulación, si se comprueba con el Decreto 513/2017, de 22 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios que dice; la distancia de recorrido real, medida horizontalmente, a cualquier hidrante, será inferior a 100m en zonas urbanas. Por tanto, para cumplir esta norma se haría necesario instalar dos hidrantes

más que corresponden a los nudos 33 y 35 y, éste último debería ser del tipo 100mm. En los anexos se mostrarán los resultados y en el plano se mostrará cómo quedan distribuidas las presiones y caudales con estos hidrantes nuevos.

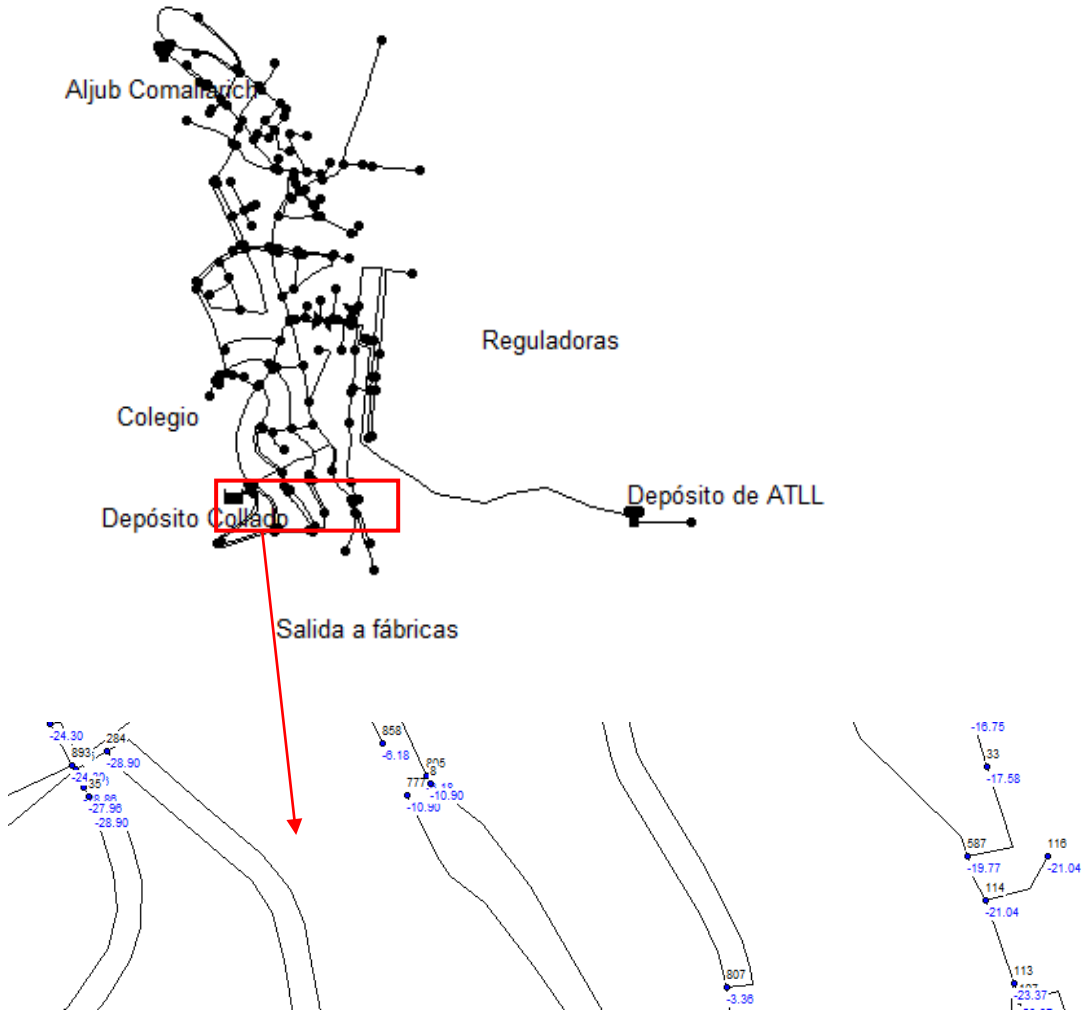


Figura 10.36 Localización de los nuevos hidrantes. [Fuente: propia]

11. Problemas en la red

La red de agua potable del núcleo urbano de Canyelles es muy antigua. Los elementos que conforman la red, por lo tanto, también son antiguos. En ocasiones si se necesitaba operar con alguna válvula, por ejemplo, al ser tan antiguas no se ha podido o ha costado mucho operar con ella.

Además, el 23,81% (3.617,78 m) es de fibrocemento y está colocado en el centro de la carretera. En consecuencia, con la circulación de los vehículos, sobretodo de los camiones, provocan que la tubería se rompa.

Para comprobar que el fibrocemento es un problema se han contabilizado las averías producidas desde Enero de 2017 hasta Mayo de 2017 y el resultado se muestra en la tabla 11.1.

Tabla 11.1. Averías de la red de agua del núcleo urbano de Canyelles de 2017. [Fuente: Sorea, SAU].

Mes (2017)	Fugas detectadas	Averías naturales	Averías provocadas	Total
Enero	7	9	2	18
Febrero	10	5	1	16
Marzo	8	17	0	25
Abril	3	2	1	6
Mayo	0	11	0	11
Total	28	44	4	76

Por otra parte, como se ha comentado en el punto 10.2.4, para cumplir la normativa se hace necesaria la instalación de otros dos nuevos hidrantes.

12. Posibles soluciones

Para los problemas encontrados se proponen las siguientes soluciones:

- Lo ideal sería cambiar el total de metros de fibrocemento por fundición dúctil, pero como se ha comentado anteriormente (véase punto 6.2.1.1.) el elevado precio hace que la opción más adecuada sería reemplazarlos por polietileno. Además de sustituir el material sería conveniente modificar la ubicación. Es decir, colocar la nueva tubería por la acera. Así se evitará el paso de vehículos por encima de la nueva tubería y será más difícil que se rompa. Los cambios propuestos se muestran en la tabla 12.1.
- Respecto a los elementos antiguos la única solución es sustituirlos por elementos nuevos. Como se explica en el punto 6.2.2. si no se operan frecuentemente pueden quedar inservibles. Si se necesita hacer una operación es vital cerrar válvulas si éstas no se pueden operar se hace muy difícil completar dicha operación.

Tabla 12.1 Cambios propuestos para las tuberías de fibrocemento. [Fuente: propia].

Tubería de fibrocemento	Diámetro interior FC	Rugosidad FC	Tubería de PE	Diámetro interior PE	Rugosidad PE
	mm	mm		mm	mm
FC50	50	0,25	PE100	42,6	0,0015
FC60	60	0,25	PE100	55,4	0,0015
FC80	80	0,25	PE100	79,2	0,0015
FC100	100	0,25	PE100	97	0,0015
FC150	150	0,25	PE100	141	0,0015
FC200	200	0,25	PE100	200,4	0,0015
FC350	350	0,25	PE100	200,4	0,0015

- Respecto a los hidrantes, como se ha comentado anteriormente, deberían de ser instalados dos nuevos hidrantes uno de ellos de 100 mm.

13. Modelo de red de agua potable del núcleo urbano de Canyelles aplicando las soluciones propuestas

Una vez propuesta la solución de cambiar las tuberías es necesario comprobar cómo varían las presiones y el caudal de la red. Para ello, se ha simulado mediante EPANET en régimen transitorio. Se ha comprobado que las presiones y caudales prácticamente no varían. Para justificarlo se mostrarán las gráficas de los nudos 638, 579, 482, 12 siendo éstos los nudos más destacables (Figuras 13.1 a 13.4).

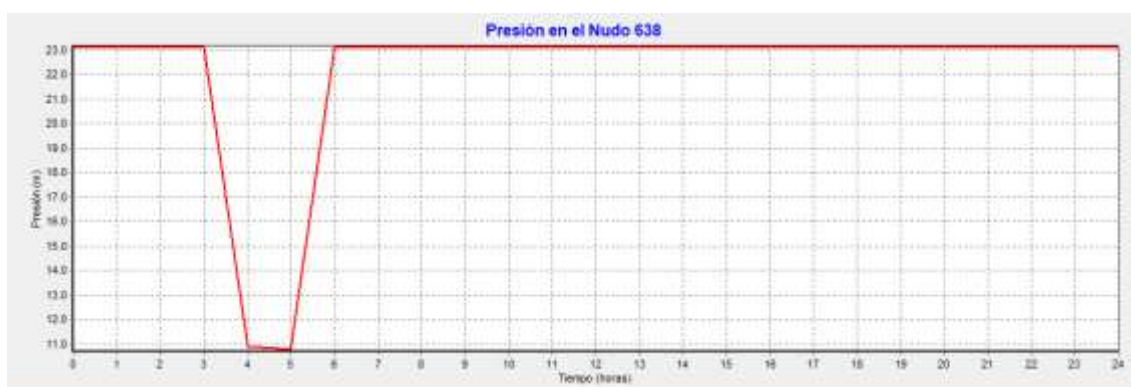


Figura 13.1 Variación de presión en el nudo 638. [Fuente: propia].

En la figura 13.1 se puede comprobar cómo varía la presión en el nudo 638 después de los cambios de las tuberías. Si la comparamos con la figura 10.13 la máxima y la mínima presión son la misma prácticamente. Por tanto, en este nudo no afecta el cambio propuesto.



Figura 13.2 Variación de presión en el nudo 579. [Fuente: propia].

En la figura 13.2 se puede comprobar la variación de presión en el nudo 579 con los cambios de las tuberías efectuados. Como en el caso anterior, si la comparamos con la figura 10.14 la

máxima y la mínima presión es prácticamente la misma. Por tanto, tampoco afecta el cambio propuesto en el nudo 579.

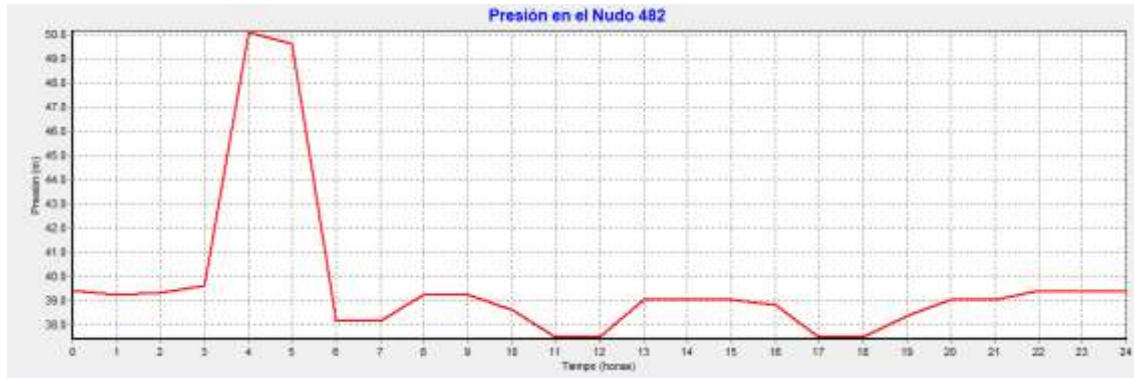


Figura 13.3 Variación de presión en el nudo 482. [Fuente: propia].

En la figura 13.3 se puede comprobar la variación de presión en el nudo 482 (nudo que corresponde a la salida de fábricas) realizando los cambios de las tuberías. Si también la comparamo con la figura 10.15 se ve que las gráficas son prácticamente iguales.



Figura 13.4 Variación de presión en el nudo 12. [Fuente: propia].

En la figura 13.4 se puede comprobar la variación de presión en el nudo 12 cambiando las tuberías. Si la comparamos con la figura 10.16, al igual que en el resto de casos la gráfica es prácticamente igual. Sin embargo, la mínima presión aumenta de aproximadamente 93 m.c.a. a aproximadamente 93,4 m.c.a. A pesar de esta mínima variación el cambio es igualmente aceptable.

En el Anexo 3 y en el Anexo planos se puede comprobar el funcionamiento de la tubería con todos los hidrantes y las tuberías nuevas.

14. Presupuesto

El presupuesto realizado recoge el cambio de tuberías comentado anteriormente (Apartado 12) con el objetivo de mejora de la red de suministro del núcleo urbano de Canyelles.

Para realizar el presupuesto la empresa SOREA, SAU ha facilitado la gran mayoría de los valores. Los restantes se han obtenido de otras fuentes de información. La realización de este presupuesto se ha planteado para que pueda servir de guía, pero aunque el presupuesto se acerque a la realidad, hay partidas que podrían variar. Aparte, las empresas se benefician de descuentos que no se han podido aplicar.

Para presentar el presupuesto se ha dividido en los diferentes diámetros a cambiar (50, 60, 80, 100, 150, 200 y 350, estos dos últimos se sustituyen por el mismo diámetro de polietileno) que se muestran con más detalle en Anexo del presupuesto.

En la tabla 14.1 se muestra un resumen del presupuesto general.

Tabla 14.1 Resumen del presupuesto del presente proyecto. [Fuente: propia].

Resumen de presupuesto	
Obra FC50	
Concepto	Precio (€)
Trabajos previos y movimiento de tierras	2.857,97
Canalizaciones	5.026,90
Pavimentos	15.086,72
Acabados	1.760,20
Partidas de alzada	7.241,66
Total	31.973,45
Gastos Generales (13%)	4.156,55
Beneficio industrial (6%)	1.918,41
Total	38.048,41
IVA (21%)	7.990,17
Total presupuesto IVA incluido	46.038,57
Obra FC 60	
Concepto	Precio (€)
Trabajos previos y movimiento de tierras	23.460,94
Canalizaciones	37.987,12
Pavimentos	78.575,42
Acabados	2.369,50
Partidas de alzada	7.241,66
Total	149.634,64
Gastos Generales (13%)	19.452,50

Beneficio industrial (6%)	8.978,08
Total	178.065,22
IVA (21%)	37.393,70
Total presupuesto IVA incluido	215.458,92
Obra FC 80	
Concepto	Precio(€)
Trabajos previos y movimiento de tierras	20.859,17
Canalizaciones	37.382,76
Pavimentos	66.430,17
Acabados	2.166,40
Partidas de alzada	7.241,66
Total	134.080,16
Gastos Generales (13%)	17.430,42
Beneficio industrial (6%)	8.044,81
Total	159.555,39
IVA (21%)	33.506,63
Total presupuesto IVA incluido	193.062,02
Obra FC 100	
Concepto	Precio(€)
Trabajos previos y movimiento de tierras	13.278,52
Canalizaciones	32.337,04
Pavimentos	43.835,42
Acabados	1.861,75
Partidas de alzada	7.241,66
Total	98.554,39
Gastos Generales (13%)	12.812,07
Beneficio industrial (6%)	5.913,26
Total	117.279,72
IVA (21%)	24.628,74
Total presupuesto IVA incluido	141.908,47
Obra FC 150	
Concepto	Precio(€)
Trabajos previos y movimiento de tierras	10.037,88
Canalizaciones	24.559,73
Pavimentos	31.768,69
Acabados	1.760,20
Partidas de alzada	7.241,66
Total	75.368,16
Gastos Generales (13%)	9.797,86
Beneficio industrial (6%)	4.522,09
Total	89.688,11
IVA (21%)	18.834,50

Total presupuesto IVA incluido	108.522,61
Obra FC 200	
Concepto	Precio(€)
Trabajos previos y movimiento de tierras	14.158,21
Canalizaciones	53.623,39
Pavimentos	46.001,77
Acabados	1.929,45
Partidas de alzada	7.241,66
Total	122.954,48
Gastos Generales (13%)	15.984,08
Beneficio industrial (6%)	7.377,27
Total	146.315,83
IVA (21%)	30.726,32
Total presupuesto IVA incluido	177.042,16

TOTAL DEL PRESUPUESTO: 882.032,75 EUROS

(OCHOCIENTOS OCHENTA Y DOS MIL TREINTA Y DOS EUROS CON SETENTA Y CINCO CÉNTIMOS)

15. Conclusiones

El objetivo principal del presente proyecto era estudiar las características y el comportamiento actual de la red de agua potable del núcleo urbano de Canyelles con el objeto de determinar posibles problemas y carencias, así como proponer soluciones a las mismas.

Después de completar el proyecto, se ha observado que el problema principal era el estado de las tuberías de fibrocemento. Debido a su larga vida y a su situación debajo de la carretera, provocan que se rompan a menudo. La solución propuesta ha sido sustituirlas por polietileno y, en la medida de lo posible, situar su trazado por debajo de la acera colindante a la carretera.

A parte, una vez simulada la red se observaron problemas de presión en algunos puntos. La zona de alta presión se ha solucionado activando la reguladora que está en desuso. Por el contrario, la zona de baja presión, a pesar de no llegar al mínimo, al abastecer casas de 1 o 2 plantas la presión es aceptable. Sin embargo, si la zona crece en número de viviendas o habitantes se podrían plantear varias soluciones:

- Colocar una válvula mantenedora de presión en la tubería número 12. Su situación es justo a la derecha del depósito Aljub Comallarich.
- Modificar la red para que el depósito también alimente dicha zona. Si modificando la red no es suficiente, se podría instalar una estación de bombeo junto con una válvula reguladora para aumentar la presión. Esta estación de bombeo sólo debería de trabajar las horas de llenado del depósito (de 3:00h a 5:00h).

Cabe señalar que durante el transcurso del proceso de recopilación de información se han presentado varios problemas. Algunos de ellos han sido:

- Para simular EPANET se ha contado con los consumos más desfavorables del año 2016 mientras que la gráfica de consumo del depósito de ATLL era de fecha del año 2017. Aunque no ha sido un gran inconveniente, ya que los resultados de un año para otro no varían significativamente.
- Otro impedimento era que no había un plano seguro de la distribución de la red. Probablemente, este era el problema más grave porque había zonas en las que se desconocía el trazado de la tubería, e incluso en las zonas dónde había tubería no era seguro que la realidad fuera lo que estaba dibujado. Ésto era debido a que el pueblo

de Canyelles hasta 2014 pertenecía a otra compañía suministradora, quién proporcionó la información de la red que disponía.

Sin embargo, después de realizar el proyecto se ha conseguido aumentar el rendimiento de la red. Es decir, cuando se inició el proyecto su rendimiento era aproximadamente del 40% y actualmente ha subido hasta aproximadamente 65%. Esto ha sido debido a la localización de fugas mientras se estaba realizando la comprobación del trazado de las tuberías. Y también gracias a la realización de las comprobaciones de presión.

Además del objetivo del proyecto se habían planteado objetivos formativos. Una vez realizado el proyecto, creo poder utilizar EPANET de manera profesional y en conjunto con un equipo. También, me siento capacitado para entender la infraestructura de distribución de agua de consumo humano.

Finalmente, este proyecto se incluirá en un futuro Plan Director de suministro de agua potable de Canyelles. El cuál aprovechará los datos de interés como pueden ser los proporcionados por EPANET, el inventario de todos los elementos, el estudio de la población, etc.

Respecto a la solución adoptada en el presente TFG, dado su coste, no se prevé que la empresa la realice inmediatamente, sino que la sustitución de las tuberías se irán llevando a cabo a medida que sea necesario por rotura de la tubería existente.

16. Agradecimientos.

Este proyecto no habría podido realizarse sin la ayuda de varias personas y entidades. En primer lugar, agradecer al Ayuntamiento de Canyelles por haber dejado posible la realización de este proyecto sin ningún tipo de restricción. En segundo lugar, agradecer a la empresa SOREA, SAU y a todos sus empleados por haber facilitado toda la información necesaria para la realización del proyecto. Siempre han tenido la puerta abierta para cualquier problema que me planteaba. También, me gustaría agradecer de forma individual a mi tutora de empresa del proyecto, Ruth por haber tenido un trato inmejorable conmigo y por toda su ayuda. También me gustaría nombrar a Rafa y Antonio por haber facilitado toda la información y ayuda imprescindible. En tercer lugar, a mi familia y amigos por su apoyo y ayuda. Se hubiera hecho cuesta arriba sin ellos. Y, finalmente, agradecer a mi tutora del proyecto, Montse por haber estado tan atenta al proyecto, por tener siempre la puerta abierta para cualquier duda, y sobre todo por haber tenido tanta paciencia a la hora de explicarme las cosas y corregir aquéllas que no eran adecuadas. Sin ella el proyecto no hubiera sido capaz de realizarse.

17. Referencias

- Libros

Agüera Soriano, José. *MECÁNICA DE FLUIDOS INCOMPRESIBLES Y TURBOMÁQUINAS HIDRÁULICAS (5ª EDICIÓN ACTUALIZADA)*, Editorial Ciencia 3, S.L., 2003.

Mays, Larry W.. *MANUAL DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA*, Mc Graw Hill, 2002.

Silvestre, Paschoal. *FUNDAMENTOS DE HIDRÁULICA GENERAL*, Editorial Limusa, 1983.

- Proyecto final de carrera

García Alcaraz, María del Mar. *MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE REDES HIDRÁULICAS A PRESIÓN MEDIANTE HERRAMIENTAS INFORMÁTICA*, Director: D. Luis G. Castillo Elsitdié. Universidad Politécnica de Cartagena, 2006.

Gómez Hernández, María. *DISEÑO DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA A UNA POBLACIÓN DE 20000 HABITANTES Y ALTA VARIACIÓN ESTACIONAL*, Directores: Francisco Arregui de la Cruz, Jorge García-Serra García. Universidad Politécnica de Valencia, 2014.

Modéjar Saiz, David. *DISEÑO DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA A UNA POBLACION DE 8000 HABITANTES*, Directores: Javier Soriano Olvares, Jorge García-Serra García. Universidad Politécnica de Valencia, 2014.

Molina López, Gemma. *MODELIZACIÓN CON EPANET DE LAS REDES DE TRANSPORTE DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE CARTAGENA*, Director: D. Juan T. García Bermejo. Universidad Politécnica de Cartagena, 2011.

- Webs consultadas

[www.] Idescat.

<http://www.idescat.cat/es/> (Abril 2017)

[www.] fluidos.edu

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/es/flujoentuberias/dotacionagua/determinaciondeladotaciondeagua.html> (Abril 2017)

[www.] hábitat.aq.upm.

<http://habitat.aq.upm.es/boletin/n11/armarac.html> (Abril 2017)

[www.] Epanet.info

http://epanet.info/wp-content/uploads/2012/10/EPANET_Manual_Usuario.pdf (Abril 2017)

[www.] siloscordoba.com

<http://siloscordoba.com/es/product/depositos-de-agua/> (Mayo 2017)

[www.] slideshare.net

<https://es.slideshare.net/rafiky440/fuentes-de-abastecimiento> (Mayo 2017)

[www.] aguasyaguas.com

http://www.aguasyaguas.com.co/calidad_agua/index.php/es/home-es-es/10-contenido/12-captacion-y-aduccion-del-agua (Mayo 2017)

[www.] elaguapotable.com

http://www.elaguapotable.com/tratamiento_del_agua.htm (Mayo 2017)

[www.] construmatico.com

http://www.construmatica.com/archivos/28051/documentacion_tecnica/04_valvulas_y_control/05_ventosas.pdf (Mayo 2017)

[www.] itacanet.org

<http://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%20%20Gravedad/Manual%20Abastecimiento%200Agua%20Potable%20por%20gravedad%20con%20tratamiento.pdf> (Mayo 2017)

[www.] fluidos.eia.edu

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/es/flujoentuberias/metodohardycross/elmetodohardycross.html> (Mayo 2017)

[www.] atll.cat

<http://www.atll.cat/es/page.asp?id=127> (Septiembre 2017)

[www.] insht.es

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/001a100/ntp_042.pdf (Septiembre 2017)

[www.] habitatge.gva.es

http://www.habitatge.gva.es/documents/20551182/101925986/TA10-Agua_Potable/f9bcfc23-7581-4a5d-ac16-9138b6bd5e77 (Septiembre 2017)

[www.] salvadorescoda.com

http://www.salvadorescoda.com/tarifas/Valvuleria_Agua_Tarifa_PVP_SalvadorEscoda.pdf
(Octubre 2017)

[www.] Rekalde.com

http://www.rekalde.com/es_tubo_de_polietileno_alta_densidad_pe-100.aspx (Octubre 2017)

[www.] acaweb.gencat

http://acaweb.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P1600420551208335976001 (Octubre2017)