

# MODELO DE SIMULACIÓN DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE PARA EL NÚCLEO URBANO DE CANYELLES (BARCELONA)

Iván Sánchez Henarejos

Trabajo Final de Grado de Mecánica. Departamento de Mecánica de Fluidos Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Vilanova i la Geltrú (UPC)

## 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 fue utilizada la siguiente metodología; primero, recopilar datos de la cartografía de la zona, población actual del municipio, y las características de las tuberías y otros elementos; posteriormente se realizó un análisis hidráulico de la red, mediante EPANET, que condujo a la identificación de los problemas presentes en la red y para los cuales se han dado posibles soluciones. Por último, se realiza la simulación del funcionamiento de la red con las soluciones propuestas.

El principal problema detectado ha sido las fugas debidas fundamentalmente al estado de algunas tuberías.

La solución propuesta ha sido la sustitución de dichas tuberías por otras con otras características más adecuadas a su función.

Por último se realiza el presupuesto que dicha acción conlleva.

## 1. Antecedentes

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 km<sup>2</sup> 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 y las urbanizaciones de Daltmar, Las Cogullades, Vora Sitges, Can Roca, Las Américas, Nou Canyelles, California, Selva Maravillas, Las Palmeras y Montaña del mar.

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

Cabe 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 mayor detalle de toda la red. 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.

## 2. Legislación y Normativa

La principal legislación i normativa a seguir son las siguientes:

- **Real Decreto 314/2016** 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.

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

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

### Normas

- **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 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.

## 3. Inventario de la instalación a simular

Los elementos principales son:

- 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 materiales principales para la fabricación de las tuberías son el polietileno, la fundición dúctil y, antiguamente, el fibrocemento.

-Válvulas de seccionamiento: 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).

-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 mediante automatismos programados.

-Ventosas: son dispositivos mecánicos cuya finalidad es regular la cantidad de aire dentro de la red de abastecimiento. Se suelen colocar en puntos geométricos altos.

-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.

-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

-Arquetas: 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.

-Registros: se colocan en las arquetas haciendo la función de tapas para cubrir y acceder fácilmente a los elementos.

-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. Hidrantes de columna e hidrantes bajo tierra o de arqueta. 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.

-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 i permite visualizarlos en el centro de control. De esta manera se puede consultar los históricos de los consumos.

A continuación en la tabla 1 se muestra el inventario del núcleo urbano de Canyelles.

*Tabla 1. Elementos que forman la red del núcleo urbano de Canyelles.*

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

#### 4. Análisis de la demanda

Para analizar la demanda los conceptos principales son:

-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 la que nos proporciona el contador instalado en la acometida. Por otro lado, la dotación suministrada incluye las pérdidas de la red de distribución, bocas de riego, extinción de incendios, etc. Por norma general, la dotación se refiere al agua registrada.

-Rendimiento: se puede definir como la relación entre el volumen de agua registrado y el de agua suministrada. El rendimiento nos ayuda a saber la cantidad de agua que se desperdicia.

-Curva de modulación: define la variación del caudal consumido a lo largo de un periodo de tiempo. Normalmente se tiene en consideración la curva de demanda diaria, con caudales medios horarios. Esta curva depende de la época del año ya que cada mes tiene un hábito diferente de uso de agua.

-Coeficiente punta: se define como la relación entre el caudal punta y caudal medio.

## 5. Modelo hidráulico

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.

Los programas utilizados han sido:

-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: Hidrantes, bocas de riego, válvulas (se puede indicar si están abiertas o cerradas), reguladoras, ventosas, descargas, contadores, depósitos, estaciones de bombeo, pozos y tuberías. Además, se puede visualizar las averías producidas y la red de alcantarillado.

-EPANET: software 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). La versión utilizada en este proyecto ha sido la versión española 2.0.

El proceso seguido para llegar a la simulación con EPANET ha sido, en un primer momento, dibujar la cartografía con el software de GIS, guardando el archivo en la extensión (.inp), para posteriormente, traspasar dicho archivo al programa EPANET y guardarlo con la extensión (.net).

## 6. Modelo de red de abastecimiento de agua potable de Canyelles



*Fig. 1. Cartografía original de la red en la zona de Canyelles pueblo.*

En la figura 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:

- Hay zonas donde, según la cartografía, no hay tubería y sin embargo, hay viviendas con contadores de agua en uso.
- Existen válvulas en zonas donde no hay tubería dibujada.
- Existen zonas de riego donde se usa agua de la red y no hay tubería reflejada.
- Elementos que no están reflejados en la cartografía y existen físicamente en la calle.
- Diámetros y/o materiales no corresponden a la realidad.

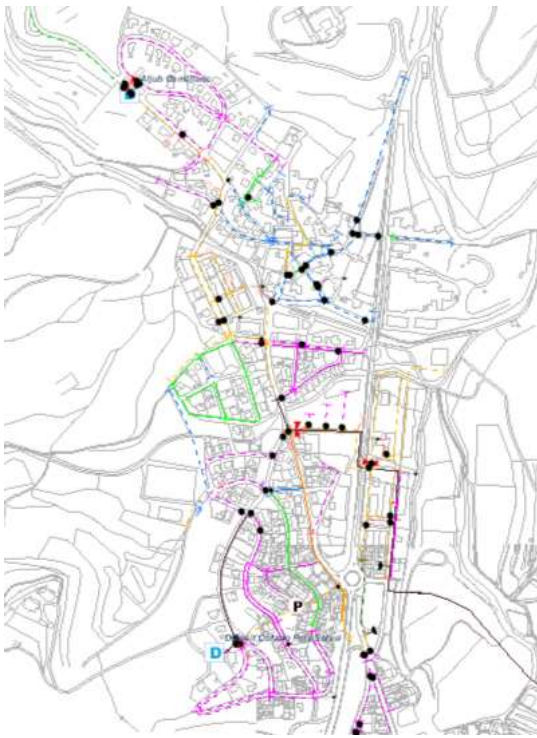


Fig.2. Cartografía actual de la red de Canyelles.

Para dibujar la cartografía actual la mejor opción fue realizar un trabajo de campo. En la figura 2 se muestra como es el trazado considerado real de tubería que se utilizará para hacer las simulaciones.

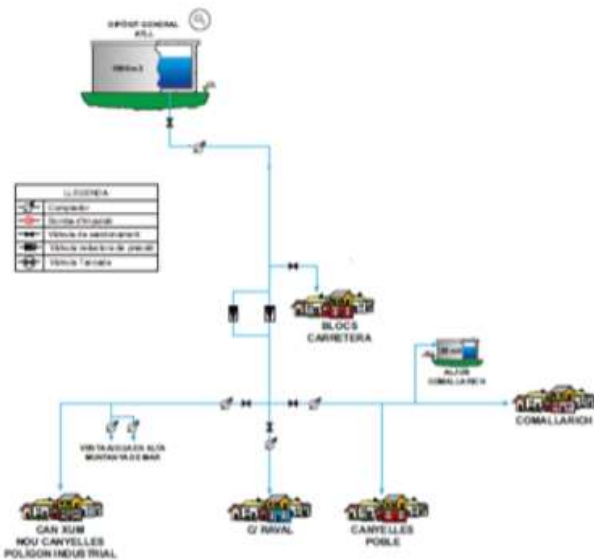


Fig.3. Esquema de abastecimiento del núcleo urbano de Canyelles.

Canyelles compra agua en alta a ATLL (Aguas Ter i Llobregat). Con esta agua llena un depósito que se conoce como ATLL de Canyelles. Dentro de éste, hay un contador antes que pertenezca 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. En la figura 3, donde sólo está representado el núcleo urbano, aparecen dos válvulas reguladoras de las

cuales una está es desuso. Y, finalmente, hay otros tres contadores que tienen por objetivo controlar el caudal que gasta C/Raval, Canyelles Poble y Can Xum.



Fig.4. Red de agua potable del núcleo de Canyelles en la interfaz de EPANET

Para representar la red en Epanet han sido necesarios: 179 nudos, 2 embalses, 1 depósito, 194 tuberías, 2 válvulas reguladoras (Fig. 4).

## 7. 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.

Se realizó una primera simulación en régimen permanente con consumos reales del trimestre más desfavorable (Junio, Julio y Agosto). Para verificar la veracidad de la simulación, se realizaron mediciones de presión en diferentes puntos del núcleo urbano, lo que permitió la calibración del modelo.

### 7.1 Régimen Permanente

Una vez calibrado el modelo se procedió a la simulación hidráulica de la red en régimen permanente.

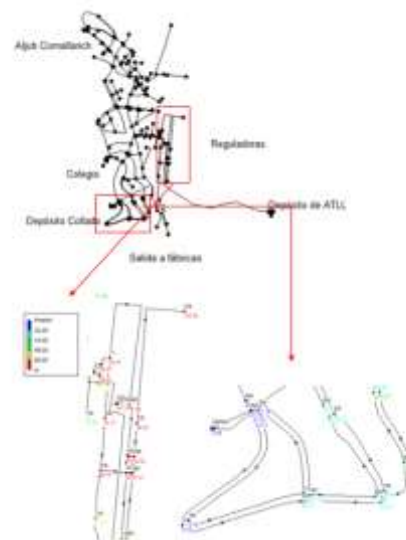
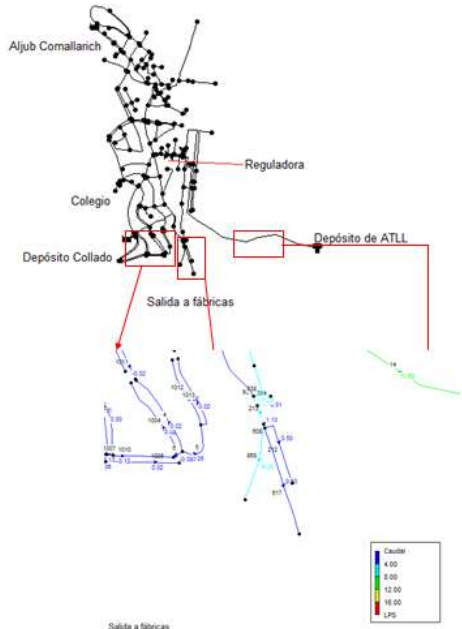


Fig.5. Análisis de las presiones más altas y bajas del núcleo urbano de Canyelles en régimen permanente.



En la figura 5 se muestran las zonas donde se encuentran las máximas y mínimas presiones. 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.



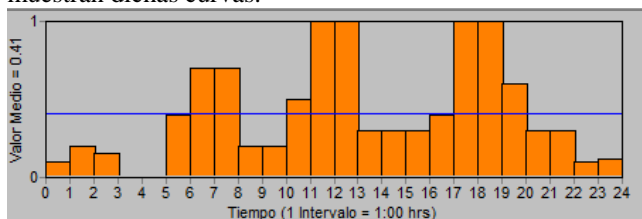
**Fig.6.** Análisis de Caudal del núcleo urbano de Canyelles en régimen permanente.

En la figura 6 se puede comprobar cómo está distribuido el caudal. El máximo caudal, como es normal, es el 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 dicha tubería se dirige a unas llaves y contadores correspondientes a unas naves industriales. Y en el resto, el caudal es aproximadamente el mismo ya que el consumo en los puntos del pueblo se ha considerado uniforme, es decir, las casas de la zona tiene la misma característica. Excepto el colegio con un consumo punta de 1 L/s.

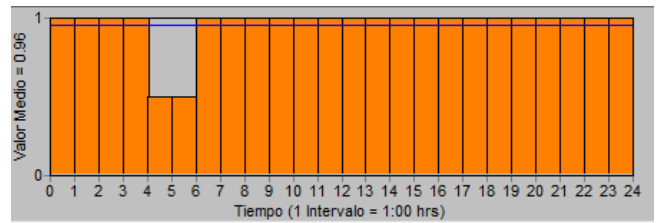
## 7.2 Régimen Dinámico

Para realizar el análisis dinámico se ha considerado un periodo de 24 horas.

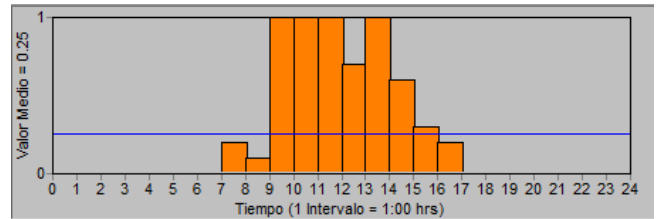
Para representar como varía el consumo se han asignado unas curvas de modulación a los nudos. Ya que dependiendo de si es una fábrica, un colegio o el propio pueblo tienen consumos diferentes. En las figuras 7 – 10 se muestran dichas curvas.



**Fig.7.** Patrón de consumo del núcleo urbano



**Fig.8.** Patrón de consumo de la Fábrica



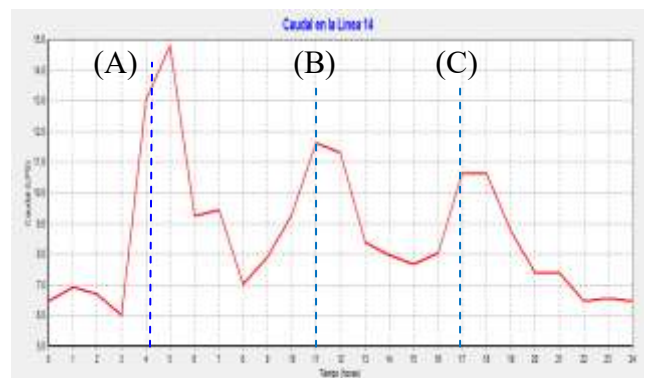
**Fig.9.** Patrón de consumo del colegio



**Fig.10.** Patrón de consumo del depósito Aljub Comallarich

Las figuras 11 y 13 corresponden a la simulación en régimen dinámico en el periodo de 24 h.

En la figura 11 se observa cómo es la variación temporal del caudal en la tubería de salida del depósito de ATLL. Si se compara con la figura 12, datos obtenidos por telecontrol, se observa 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 4:00 – 5:00 horas (A), entre las 11:00 – 13:00 horas (B) i 17:00-19:30 h (C). Estos picos de caudal son de 14,80 L/s y 6 L/s en la simulación con EPANET y de 14,51 y 5,3 L/s con el telecontrol.



**Fig.11.** Variación de caudal en la línea 14

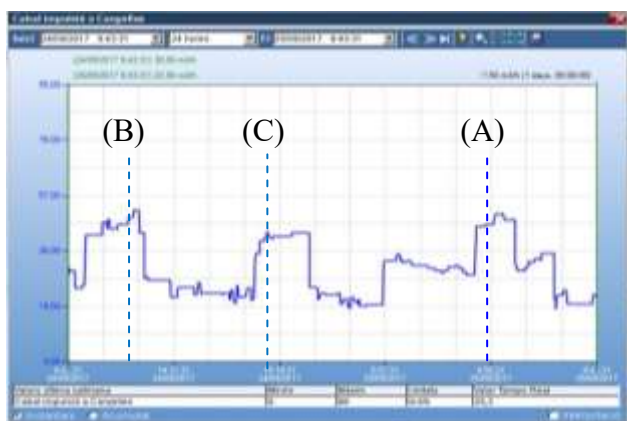


Fig.12. Gráfica de consumo del depósito ATLL de Canyelles durante un periodo de un día, obtenida por telecontrol.

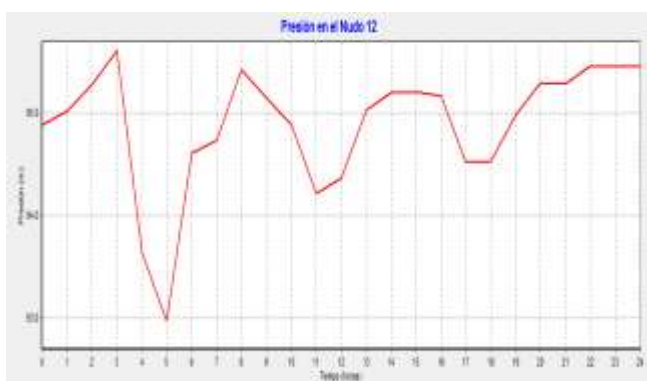


Fig.13. Presión en el nudo 12.

La figura 13 muestra la variación de presión en el nudo 12. Es el nudo de mayor presión de la red. El material que soporta esta presión es polietileno de 110 mm de diámetro exterior. Su 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.

### 8. Problemas en la red

Los problemas en la red, principalmente vienen dados por tratarse de una red de agua potable muy antigua-

Además, el 23,81% (3.617,78 m) de las tuberías es de fibrocemento, y además su trazado pasa por el centro de la carretera. En consecuencia, la circulación de los vehículos, principalmente de camiones, conlleva a la rotura de la misma.

Tabla 2. Averías de la red de agua del núcleo urbano de Canyelles de 2017

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

En la Tabla 2 se recogen las incidencias observadas durante los cinco meses de trabajo de campo.

### 9. 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 su elevado precio hace que la opción más adecuada sea reemplazarlos por polietileno. Además de sustituir el material sería conveniente modificar su ubicación. Es decir, colocar la nueva tubería por la acera colindante a la carretera C-15z. Los cambios propuestos se muestran en la Tabla 3.

Respecto a los elementos antiguos la única solución es sustituirlos por nuevos elementos. Si no se operan frecuentemente pueden quedar inservibles, por lo que a parte de cambiarlos se debería de planificar un correcto mantenimiento.

Tabla 3. Cambios propuestos para las tuberías de fibrocemento.

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

### 10. Simulación del comportamiento hidráulico de la red con la solución adoptada

Una vez propuestos los cambios de tuberías realizó una simulación con éstas. Para hacer la comprobación del comportamiento se ha utilizado una simulación en régimen

dinámico mediante EPANET. Una vez realizado el resultado es que las presiones y caudales apenas varían. La variación más significativa aparece en el nudo 12 donde la mínima aumenta 0,5 m.c.a. aproximadamente. En la figura 14 está representada la curva de variación de la presión del nudo 12. Si la comparamos con la figura 13 se puede ver está leve diferencia.

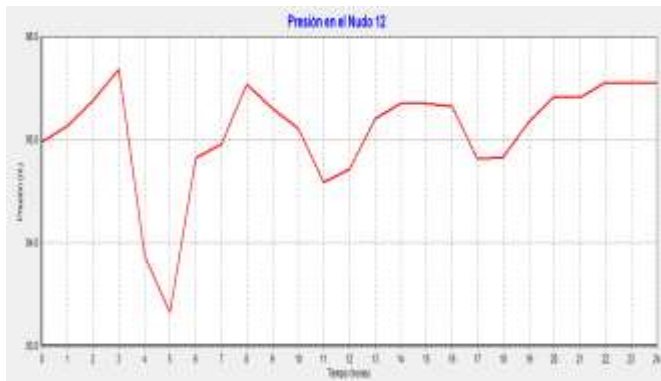


Fig.14. Variación de presión en el nudo 12.

## 11. Presupuesto

La Tabla 4 muestra el resumen del presupuesto realizado para la solución adoptada. El cambio de tuberías propuesto tendría un coste de **882.032,75 euros**.

Tabla 4. Resumen del presupuesto.

Resumen de presupuesto	
Total Obras	612.565,28
Gastos Generales (13%)	79.633,49
Beneficio industrial (6%)	36.753,92
Total	728.952,68
IVA (21%)	153.080,06
<b>TOTAL (EUROS)</b>	<b>882.032,75</b>

## 12. 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, que provoca 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 actualmente 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).

Tras 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, principalmente, 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.

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.

## 13. Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer al Ayuntamiento de Canyelles por permitir realizar el proyecto sin ningún tipo de condiciones. En segundo lugar, a la empresa Sorea, SAU y, personalmente a mi tutora Ruth y mis compañeros Rafa y Antonio por toda la información y ayuda. Y, por último a mi tutora Montserrat por toda su ayuda y consejos.

## 14. Referencias

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.