

ANEJO Nº 4. CÁLCULO HIDRÁULICO

Tutor: José Ferrer Polo

Cotutor: Daniel Aguado García

Autor: Carlos Mateu Roldán



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Antecedentes	3
3. Características de la red	3
4. Determinación de la dotación	4
4.1 Dotación para la zona residencial	4
4.2 Dotación para centro docente	5
4.3 Dotación contra incendios	5
4.4 Dotación jardines	6
4.5 Dotación adoptada	7
5. Demanda	8
5.1 Caudal medio por vivienda	8
5.2 Coeficiente punta en función de las viviendas	9
6. Descripción de la Red de Abastecimiento	9
6.1 Condiciones de trazado	9
6.2 Red de distribución de agua	10
6.2.1 Red de transporte	10
6.2.2 Red arterial	10
6.2.3 Red secundaria	10
6.3 Hidrantes de incendio	10
6.4 Piezas especiales	11
7. Dimensionamiento de la Red de Abastecimiento	11
7.1 Diámetros	12
7.2 Presión máxima en la red	13
7.3 Velocidades admisibles	13
7.4 Caudales	14
7.5 Pérdida de carga	14
8. Cálculo de la red de abastecimiento	15
8.1 Predimensionamiento de la red	16
8.1.1 Diámetro mínimo	17
8.1.2 Asignación del número de viviendas y el caudal correspondiente a cada tramo	20
8.1.3 Cálculo de las velocidades y el factor de fricción de las tuberías	21
8.2 Cálculo de la red mallada	23
8.2.1 Comprobación de incendio	28
9 Bibliografía	31

1. Introducción

En el presente documento se presentará el procedimiento llevado a cabo para realizar los cálculos hidráulicos y posteriormente se mostrarán los resultados obtenidos así como las conclusiones asumidas.

2. Antecedentes

Debido a que el lugar objeto del proyecto se trata de una zona agrícola reconvertida a residencial del municipio de Turís, se ha calculado una población ficticia a abastecer teniendo en cuenta las limitaciones de las normas urbanísticas del municipio. Por este motivo la red diseñada solo funcionará cuando la población sea igual o menor a la asignada. La justificación del cálculo de dicha población se halla en el anejo Nº 2: Urbanismo.

3. Características de la red

Se ha deducido que la tipología de red más adecuada es la del tipo mallada, frente a la ramificada, ya que la mallada comunica todas las tuberías formando ciclos, por lo que el agua puede circular en ambos sentidos, mientras que en una ramificada esto no puede ocurrir. Las arterias formarán una o más mallas y su trazado seguirá las vías urbanas de primer orden, coincidentes con las zonas de mayor consumo.

La red quedará dividida en sectores mediante llaves de paso, de modo que, en caso necesario, se pueda aislar uno de ellos por posible avería o mantenimiento.

Las llaves de paso se colocarán de modo que una avería en una conducción de la red secundaria no influya en el abastecimiento de los demás usuarios, para lo cual se seguirán los siguientes criterios:

- En las arterias se instalarán dos llaves de paso en las tes.
Se colocarán además las llaves de paso necesarias para poder aislar los tramos de una longitud no superior a 200m.
- En los distribuidores se instalará una llave de paso en cada unión arterial
- Se colocarán los desagües necesarios para que los sectores puedan ser vaciados por completo. Estos estarán conectados a cauces naturales o pozos de la red de alcantarillado preferentemente a los de aguas pluviales. Por otro lado cuando

se conecten a la red de alcantarillado se colocará en la red de conducción una válvula de retención para evitar succiones.

Este tipo de red presenta una serie de ventajas:

- Las presiones son uniformes.
- Al cambiar periódicamente el sentido de circulación del agua, los puntos singulares se ven menos afectados por la sedimentación y no se quedan tramos de tuberías estancados.

4. Determinación de la dotación

4.1 Dotación para la zona residencial

La dotación para zonas residenciales en función del nivel socioeconómico de la vivienda en ciudades puede estimarse mediante la siguiente tabla:

Nivel socioeconómico	Dotación (l/hab/día)
Bajo/Alto	150-175
Medio/Bajo	175-200
Medio/Medio	200-225
Medio/Alto	225-275
Alto/Bajo	275-325

Tabla 1. Dotación para ciudades no planificadas

Para saber el nivel socioeconómico de la zona analizada se observa en la siguiente tabla:

Tipo de vivienda	Superficie útil (m ²)
Bajo/Alto	55-75
Medio/Bajo	75-110
Medio/Medio	110-150
Medio/Alto	150-220
Alto/Bajo	220-300

Tabla 2. Valores característicos de las viviendas de distinto nivel socioeconómico

De modo que al tener, la zona, una superficie útil de 120 m², el nivel socioeconómico se puede suponer de Medio/Medio y la dotación asumida será de 200 l/hab/día. En esta dotación ya se tiene en cuenta la dotación para riego de las zonas ajardinadas de las viviendas unifamiliares.

En la dotación de 200 l/hab/día se asumen 3 l/hab/día para la limpieza de calles y alcantarillado.

4.2 Dotación para centro docente

La dotación para centros docentes se puede estimar, a nivel orientativo, mediante la siguiente tabla:

Tipo de uso	Dotación
Hospitales (l/ocupante/d)	400-1300
Centros comerciales (l/ocupante/d)	10-25
Centro docentes (l/ocupante/d)	20-50
Hoteles (l/ocupante/d):	
1, 2 estrellas	150-300
3 estrellas	200-500
4, 5 estrellas	350-800
Oficinas (l/m ² /d)	25-40
Mercados (l/puesto/d)	125-600
Espectáculos públicos (l/ocupante/d)	5-20

Tabla 3. Rango de dotaciones para distintos equipamientos comunitarios

Se tomará como dotación para el centro docente 50 l/ocupante/día, suponiendo 400 plazas de puestos escolares.

4.3 Dotación contra incendios

La normativa española a utilizar en este caso es el CTE DB-SI (R.D. 314/2006) (Código Técnico de la Edificación, Documento Básico de la Seguridad en caso de Incendio).

Los caudales de incendio suministrados desde los hidrantes exteriores situados en la vía pública deben ser considerados en el momento de establecer los requerimientos de presión y caudal punta del sistema de abastecimiento. Según el CTE DB-SI en el trazado de redes de abastecimiento de agua incluidas en actuaciones de planeamiento urbanístico debe contemplarse una instalación de hidrantes la cual cumplirá con las condiciones establecidas en el Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios (R.D. 314/2006).

Los hidrantes deben estar situados en lugares fácilmente accesibles, fuera del espacio destinado a circulación y estacionamiento de vehículos, debidamente señalizados conforme a la Norma UNE 23.033 y distribuidos de tal manera que la distancia entre ellos medida por espacios públicos no sea mayor de 200 m.

La red hidráulica que abastece los hidrantes debe permitir el funcionamiento simultáneo de dos hidrantes consecutivos durante dos horas, cada uno de ellos con un

caudal punta de 1000 l/min y una presión mínima de 10 m.c.a. (1 kg/cm²). En núcleos urbanos consolidados en los que no se pudiera garantizar el caudal de abastecimiento de agua, puede aceptarse que este sea de 500 l/min, pero la presión se mantendrá en 10 m.c.a. Si por motivos justificados, la instalación de hidrantes no pudiera conectarse a una red general de abastecimiento de agua, debe haber una reserva de agua adecuada para proporcionar el caudal anteriormente indicado.

Además deberán contar con la instalación de al menos un hidrante los siguientes edificios:

- Los recintos deportivos con superficie construida comprendida entre 5000 y 10000 m².
- Los de uso hospitalario o residencial, con superficie construida comprendida entre 2000 y 10000 m².
- Los de uso administrativo, docente o vivienda, con superficie construida comprendida entre 5000 y 10000 m².
- Los de uso comercial o de garaje o aparcamiento, con superficie construida comprendida entre 5000 y 10000 m².

Los hidrantes de la red pública pueden tenerse en cuenta a efectos de cumplimiento de las dotaciones indicadas en el punto 4.1 de este documento.

En el caso de nuestra zona se colocarán hidrantes de incendio en los nudos 3, 5, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21 y 23 con lo que cumplirá la limitación de que la distancia entre hidrantes no sea superior a 200 metro medidos por espacios públicos. Puesto que la población a abastecer es inferior a 5000 habitantes, se deben instalar hidrantes de tipo 80 mm. El diámetro mínimo requerido en las conducciones que abastecen debe de ser de 100 mm, con un caudal de 8,33 l/s.

4.4 Dotación jardines

La dotación para las zonas ajardinadas públicas puede estimarse según la climatología y mediante la siguiente tabla:

Uso	Dotación
Limpieza viales (l/m ² /d)	1,0-1,5
Limpieza alcantarillado (l/m/d)	15-25
Limpieza mercados (l/m ² /d)	5
Riego jardines (l/m ² /d):	
Zona húmeda	1,5-3,0
Zona media	3,0-6,0
Zona seca	6,0-9,0

Tabla 4. Dotaciones a considerar en las bocas de riego para distintos usos.

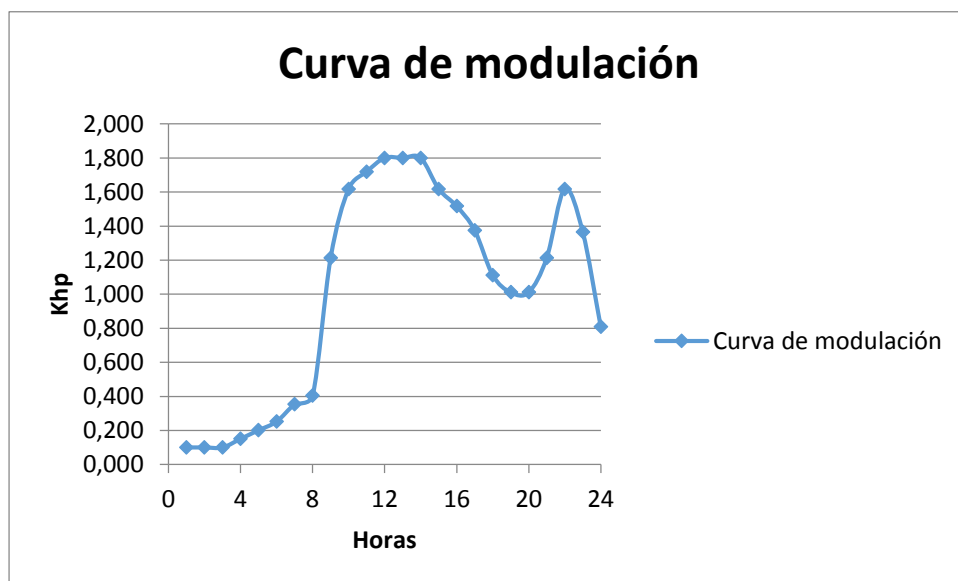
El Sector Horta Baixa pertenece a la Comunidad Valenciana, por lo que se asume que es “zona seca” y se asume un valor medio de $7,5 \text{ l/m}^2/\text{d}$.

Existen dos zonas ajardinadas públicas en el sector, con una superficie total, entre ambas, de $28960,78 \text{ m}^2$. El riego de esta superficie se realizará en horas nocturnas debido al menor consumo residencial, desde las 12 de la noche hasta las 8 de la mañana. Así pues, el caudal para abastecer dicha zona será de 7,54 litros en 8 horas.

4.5 Dotación adoptada

Una vez analizadas las diferentes dotaciones que van a necesitar cada uno de los servicios, residencial, educativo, jardines, contra incendios, se debe adoptar una dotación que englobe todos estos aspectos. La dotación del centro educativo y contra incendios se asume en la residencial por lo que ambos se dejan a un lado y por lo tanto se deben analizar los jardines y la residencial. De este modo se hallará la punta máxima para la que se deberá dimensionar toda la red.

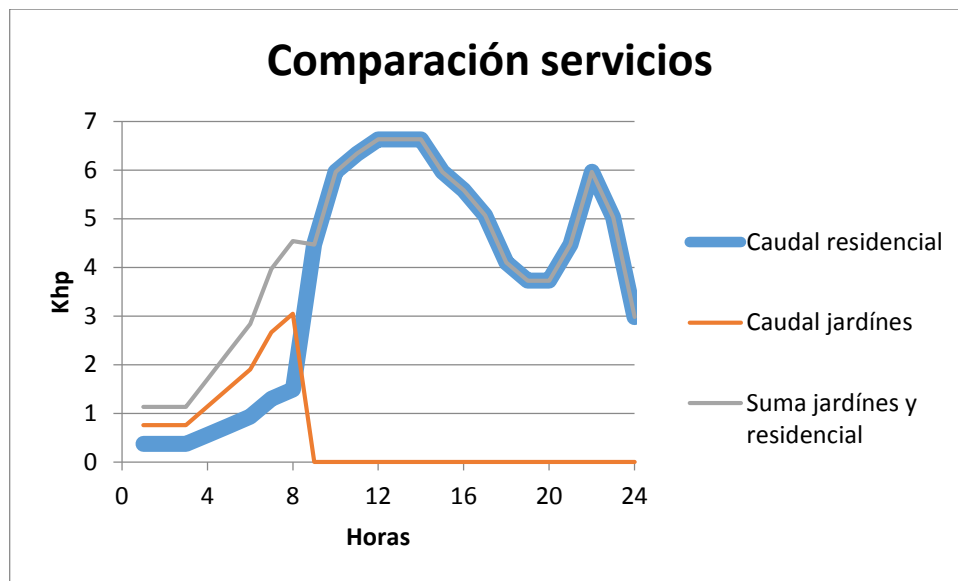
En la siguiente gráfica se muestra la curva de modulación que se utiliza para poder hallar los caudales punta definiendo cuales son los coeficientes de hora punta (Khp).



Gráfica 1. Curva de modulación.

Para poder hallar los valores que van a marcar cual será el caudal punta se manejan los datos de coeficiente de hora punta (Khp) y las dos dotaciones de ambos servicios, residencial y jardines.

Definiendo las 8 horas que se va a realizar el riego de jardines, se obtiene la siguiente gráfica:



Gráfica 2. Comparación de los servicios.

De la gráfica se extrae que la dotación que genera la máxima punta será la residencial por lo que, la dotación residencial, es la que se adoptará para comenzar con el dimensionamiento de la red.

5. Demanda

5.1 Caudal medio por vivienda

Se supone que una vivienda está ocupada por 4 habitantes.

$$Q_{m,viv} = \text{dotación} \times \text{habitantes vivienda} = 200 \times 4 = 800$$

$$Q_{m,viv} = \frac{800}{86400} = 0,00925926$$

Por lo que el resultado obtenido es un caudal de 0,00925926 l/hab/día por cada vivienda.

5.2 Coeficiente punta en función de las viviendas

Se calculan los coeficientes punta, correspondientes al número de viviendas que abaste cada tramo según la siguiente tabla:

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

Tabla 5. Coeficientes punta en función del número de viviendas

6. Descripción de la Red de Abastecimiento

6.1 Condiciones de trazado

Con carácter general, el trazado de las tuberías de abastecimiento deberá ser lo más recto posible, debiendo instalarse en zonas de dominio público legalmente utilizables o, en casos excepcionales, en zonas privadas que sean accesibles permanentemente y con la constitución de la oportuna servidumbre.

Salvo excepciones inevitables, las conducciones que comprende la red secundaria, discurrirán por las aceras debiendo procurarse que su sentido sea doble, es decir, que se sitúen en ambas aceras para evitar cruces entre las calles y las acometidas que de ellas se deriven.

En cuanto a las profundidades mínimas a las que se deben instalar las tuberías de abastecimiento, con carácter general se establece que la generatriz superior de las tuberías debe quedar a una profundidad mínima de 80 cm si discurren por debajo de las aceras y 100 cm si discurren por la calzada, siendo necesario adoptar las medidas de protección necesarias cuando, por causas justificadas, el recubrimiento mínimo indicado no pudiera respetarse.

6.2 Red de distribución de agua

Es el conjunto de tuberías y elementos de control y maniobra que permite el suministro de agua a los consumidores. La red de distribución parte desde la planta de tratamiento de agua y termina en el punto de conexión (llave de paso) con la instalación interior de suministro. De una forma orientativa se pueden clasificar las distintas conducciones que forman parte de la red de distribución de la siguiente forma: Red de transporte, red arterial, red secundaria.

6.2.1 Red de transporte

Generalmente está constituida por las conducciones de mayor diámetro y es la que transporta el agua desde el punto de origen del agua, estaciones de bombeo, planta de tratamiento o depósitos de regulación, alimentando la red arterial.

No se permite que desde la misma red de transporte se abastezca a los usuarios.

6.2.2 Red arterial

Es la constituida por las tuberías y elementos de la red de distribución que enlazan los diferentes sectores de la ciudad abastecida.

De igual forma en la red de distribución, no se pueden realizar acometidas por parte de los usuarios.

6.2.3 Red secundaria

Está formada por el conjunto de tuberías y elementos que se conectan a la red arterial y de las que se derivan las acometidas para el suministro a los usuarios, los hidrantes contra incendios o las bocas de riego.

6.3 Hidrantes de incendio

Se conectarán a la red mediante una conducción para cada boca o hidrante, provista en su comienzo por una llave de paso y de un racor. Deben ser sólidos, seguros e incongelables. Para ello debe tener el cierre hidráulico al menos a 1 metro de profundidad y el tramo de tubo comprendido entre el cierre y el racor debe vaciarse automáticamente.

6.4 Piezas especiales

Son elementos que, intercaladas entre los tubos, permiten cambios de dirección o de diámetro, derivaciones, empalmes, obturaciones, etc.

Se colocarán reducciones en los cambios de sección de las conducciones, codos en los cambios de dirección y piezas en T en las derivaciones.

La válvula es un elemento electromecánico que, instalado entre los tubos, permite controlar el paso del agua, evitar retrocesos, reducir presión, dar seguridad a la red, etc.

Se colocarán dos válvulas en las T, de forma que sea posible cortar el flujo del agua.

En los puntos bajos de cada sector definido en el cálculo, se colocarán llaves de paso con desagüe para poder vaciar y cortar el paso de esta cuando sea necesario.

En los puntos altos o en los cambios de pendiente de cada sector, se colocarán ventosas con el fin de facilitar la entrada o salida de aire al vaciar o llenar, respectivamente la tubería.

Las arquetas de acometida se colocarán en los extremos de los ramales de acometida para conectar la red de distribución con las viviendas.

7. Dimensionamiento de la Red de Abastecimiento

Un sistema completo de abastecimiento requiere de una fuente de origen que puede ser un embalse, un río o directamente de aguas subterráneas. También es necesaria una captación de agua siendo necesarias, para ríos o embalse, el uso de piezas especiales. Normalmente, si el agua procede de corrientes superficiales, se requerirá una instalación de tratamiento que consiga depurar el agua para que pueda ser apta para el consumo humano. Si la captación está bastante alejada de la ciudad, se necesitará el uso de una tubería o un canal abierto que conduzca el agua. En muchos casos será necesaria la instalación de una estación elevadora para que consiga los mínimos de presión requeridos por la red de distribución, de este modo, conseguir el abastecimiento de todos los usuarios. Algunas ciudades pueden efectuar el abastecimiento por gravedad, lo que consigue que sea mucho más económico, por mediación de bombas en la captación y además elevan el agua después de ser tratada. Las bombas pueden descargar toda el agua elevada en depósitos o no, que suministran el agua necesaria en emergencias y permiten equilibrar la demanda por medio del

bombeo. Por último existe un sistema de distribución del agua que está compuesto por tuberías, válvulas, bocas de riego e hidrantes para incendios.

La determinación de los diámetros de las tuberías que configurarán la red, deben atender a los siguientes criterios:

- Se deben suministrar los caudales y presiones que los usuarios precisan, incluyendo la extinción de incendios.
- Se deben cumplir las restricciones funcionales relacionadas con diámetros, velocidades del agua y presiones.
- Se debe minimizar el coste de la red, considerando amortización, mantenimiento y explotación.

Se utilizan tuberías de polietileno (PE 100) debido a la baja densidad del material, con lo que se facilita su puesta en obra debido a su bajo peso. Además, su elevada resistencia disminuye o elimina los problemas por golpes o corrosión. La utilización de tubos de polietileno (PE) tiene grandes ventajas respecto a otros materiales tradicionales:

- Tiene una vida útil de más de 50 años.
- Son tubos inodoros, insípidos y atóxicos, siendo de esta forma el PE un material idóneo para la conducción de agua potable.
- Es resistente a la corrosión y a la mayor parte de los agentes químicos.
- La pérdida de carga por rozamiento es casi nula con respecto a otros materiales, debido a la superficie lisa de los tubos.
- Facilita los trazados más sinuosos. Así mismo, la resistencia al golpe de ariete aumenta considerablemente respecto a otros materiales más rígidos.
- La gran capacidad como aislante de los tubos hace que los mismos tengan una gran resistencia a la congelación. En el caso de que el agua se helara en el interior del tubo, el aumento de volumen no provocaría la rotura del tubo gracias a la flexibilidad del mismo.
- Además del tendido convencional, y apertura de zanja, los tubos de PE pueden ser puestos en obra por diversos sistemas; como son el arado topo, entubados (refining) en tubos ya existentes, instalación sin apertura de zanja, etc. Por otro lado, presentan una gran aceptación frente a la unión por electrofusión, la cual permite una unión más rápida aplicable en tubos de diferentes diámetros.
- Su fácil manejo, debido a su poco peso, supone una gran ventaja para la instalación en zonas difíciles.

7.1 Diámetros

Es recomendable utilizar unos diámetros mínimos que permitan garantizar que se dispondrá de caminos alternativos para el suministro en caso de averías, que las

presiones serán relativamente uniformes en toda la red y que se podrán garantizar los caudales de incendio y riego.

7.2 Presión máxima en la red

Con carácter general, cuando se aborde el diseño de una red de abastecimiento se deberá considerar que los diámetros de las tuberías habrán de resultar adecuados para conseguir que la presión que se alcance en la red responda al valor que, dependiendo del sector a abastecer y de la población de que se trate, se tenga establecido.

La presión de servicio debe asegurar en todo momento la correcta alimentación de los dispositivos de consumo del usuario.

La presión estática P_e en cualquier punto de la red de distribución no será superior a 60 m.c.a., recomendándose no superar los 40 m.c.a. El empleo de presiones elevadas únicamente puede producir efectos negativos en la red, tales como:

- Encarecimiento de la red al tener que adoptar un diámetro mayor y un espesor de las paredes de las tuberías mayor.
- Aumento de posibles fugas por avería.

La presión máxima que debe soportar una conducción es la estática más la debida al golpe de ariete por cierre de válvulas.

7.3 Velocidades admisibles

La velocidad de circulación del agua, para un caudal dado, está directamente relacionada con el diámetro de la tubería. La elección más adecuada es aquella que permite minimizar costes, pero a la vez asegura un funcionamiento sin problemas en la red.

La AEAS, Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento, propone valores de velocidad comprendidos entre 0,6 y 2,3 m/s, con valor mínimo de 0,3 m/s.

En general, los valores límite de las velocidades son los siguientes:

- En conducciones por gravedad hasta 2,5 m/s.
- En impulsiones y aspiración hasta 2 m/s.
- Impulsiones y elevación hasta 1 m/s.
- Red de distribución en poblaciones hasta 1,5 m/s.

En las conducciones a presión es posible alcanzar velocidades superiores manteniendo algunas precauciones, tales como:

- No deben existir cambios bruscos en la conducción.

- El agua circulante debe estar exenta de arena en suspensión, ya que provocaría la erosión de los tubos y codos.

Las velocidades mínimas vendrían condicionadas por:

- Evaporación.
- Agotamiento del oxígeno.
- Aparición de contaminantes.
- Sedimentación.

Una velocidad excesivamente pequeña puede producir un tiempo de permanencia excesivo de agua en la red, disminuyendo así la calidad del agua abastecida. Es conveniente que la velocidad sea superior, como se ha dicho anteriormente, a 0,6 m/s, pero resulta casi imposible conseguir esos valores en todos los tramos.

7.4 Caudales

El caudal de diseño de toda la red de distribución es el caudal punta de la población. Para cada zona de la red de distribución debe establecerse el caudal punta en función del número de habitantes conectados a ella.

7.5 Pérdida de carga

Cuando se producen variaciones en el régimen de circulación, debido a los cambios de pendiente, las variaciones en las velocidades y singularidades de los distintos tramos, dan lugar a una pérdida de carga o energía.

Esta pérdida de carga se traduce en una pérdida de presión y se mide en m.c.a. Si dividimos estas por la longitud total del tramo, obtenemos la pérdida de carga unitaria, cuyas unidades vendrán en m/km.

En este caso, para realizar los cálculos de las pérdidas en una tubería por fricción al paso del agua, se ha utilizado la fórmula de Darcy-Weisbach. Esta fórmula es, desde el punto de vista académico, la más correcta y aplicable a todo tipo de líquidos y regímenes:

$$h_p = f \times \left(\frac{8 \times L \times Q^2}{\pi^2 \times g \times D^5} \right)$$

Donde:

hp: Pérdida de carga (m.c.a.)

f: Factor de fricción

L: Longitud de la conducción (m)

Q: Caudal circulante por la conducción (m³/s)

D: Diámetro interior (m)

Para la obtención del factor de fricción se utiliza la fórmula de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log \left[\left(\frac{\varepsilon}{3,7 \times D} \right) + \left(\frac{2,51}{Re \times \sqrt{f}} \right) \right]$$

El factor de fricción f es función de:

- El número de Reynolds (Re): Representa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas en la tubería.
- Rugosidad relativa (ε / D): Traduce matemáticamente las imperfecciones del tubo. A efectos de diseño, conviene considerar para todos los materiales una rugosidad absoluta de 0,1 mm, para tener en cuenta:
 - Las juntas.
 - El envejecimiento del material.
 - La posible deposición de carbonatos en la superficie interna de la tubería.

8. Cálculo de la red de abastecimiento

Se ha tomado la decisión de que las conducciones transcurran por las aceras en lugar de por el centro de la calzada, ya que por este circulan las aguas residuales. Se ha realizado el dibujo en AutoCAD para delimitar la forma de la red siguiendo el curso de las vías y así disponer de la longitud de dichas conducciones.

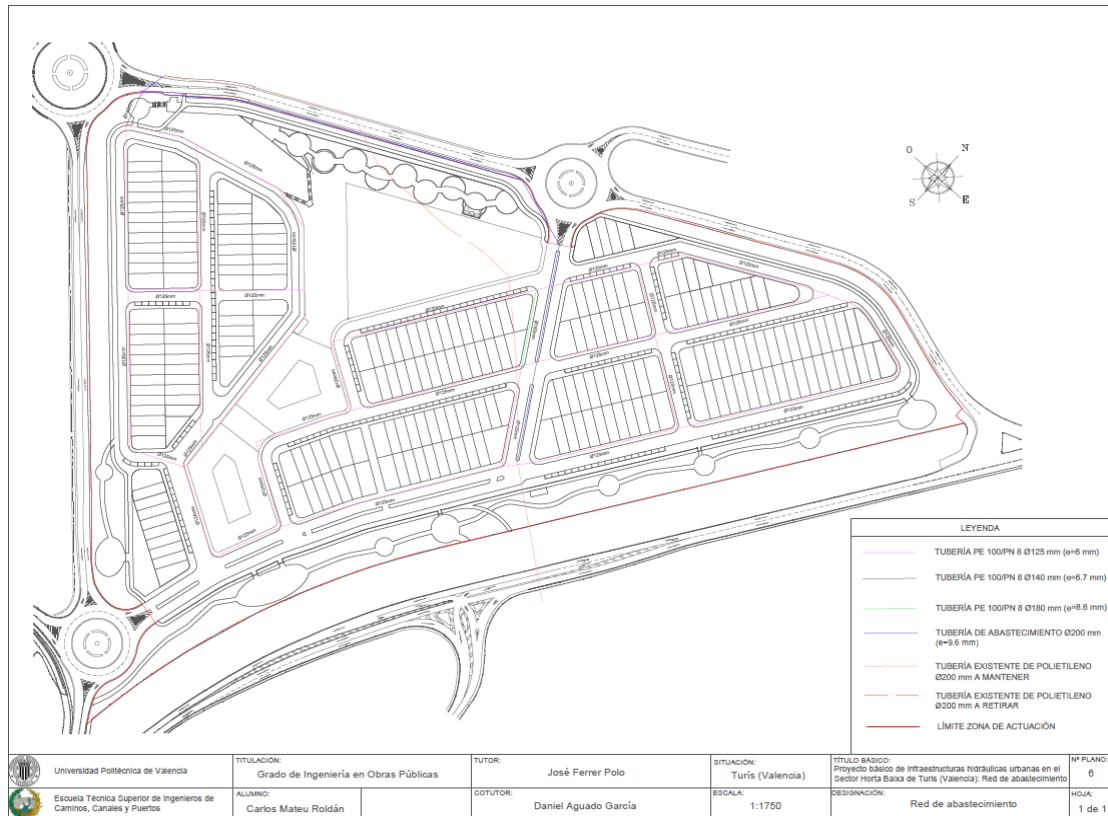


Figura 1. Red de abastecimiento.

Inicialmente, para proceder al cálculo de la red mallada, se ramifica la malla mediante el método de la ramificación. Para ello, se efectúa el diseño de la red transformándola en ramificada, mediante la realización de unos cortes en la red, separando la red única en subredes por el método de las distancias mínimas. Este método permite un dimensionamiento de la red próximo al óptimo económico y establecer el funcionamiento de la red como ramificada de una forma sistemática. Sólo es útil para red nueva o de aplicación en una zona de ampliación de red. Las hipótesis básicas de dicho método son:

- El agua alcanza cualquier nudo de la red por el itinerario más corto entre él y el nudo de inyección.
- La altura piezométrica de cualquier nudo de la red, es función exclusiva de la longitud del itinerario más corto al nudo de inyección. Esto equivale a decir que la pérdida de carga unitaria en toda la red es constante.

8.1 Predimensionamiento de la red

Al haber dos puntos de conexión con la red, se realizarán cortes de manera que se obtengan dos redes ramificadas independientes. Los nudos corresponderán a una u

otra malla según la distancia que tengan al punto de toma. Se han numerado todos los nudos.

8.1.1 Diámetro mínimo

Se obtienen los diámetros mínimos exigidos para cada tramo, eligiendo el más restrictivo frente tres métodos distintos:

- Diámetro mínimo según NTE-IFA:

Habitantes	Tuberías de distribución (mm)	Arterias (mm)
<1000	60	100
1000-6000	80	125
>6000	100	175

Tabla 6. Valores mínimos de los diámetros recomendados por NTE-IFA

Por lo que, al tratarse de una población de 1584 habitantes:

- Tuberías de distribución: 80 mm.
- Arterias: 125 mm.

- Diámetro según hidrante:

Según el tipo de hidrante que tenga que alimentar el tramo, se tendrá que disponer de un diámetro mínimo. Para los hidrantes de tipo 80 mm es necesario un diámetro mínimo de 100 mm.

- Diámetro mínimo según velocidad de Mougny:

La siguiente tabla establece los diámetros mínimos a disponer para que las velocidades sean las adecuadas según la expresión de Mougny que da la velocidad máxima recomendada para cada diámetro:

Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Caudal (l/s)	J _{máx} (mca/km)
60	0,5	1,43	6,8
80	0,54	2,71	4,8
100	0,58	4,56	4,1
150	0,67	11,84	3,3
200	0,75	23,56	2,85
300	0,89	62,9	2,4
400	1,01	125,66	2,1
600	1,21	339,29	1,84

Tabla 7. Velocidades máximas y sus pérdidas de carga según Mougny

La expresión de Mougny es:

$$V = 1.5 \times \sqrt{D + 0.05}$$

v: velocidad (m/s)

D: Diámetro (m)

Los diámetros obtenidos mediante este método se obtienen interpolando los valores de caudales entre los de la tabla y eligiendo el diámetro comercial inmediatamente superior.

En la siguiente tabla se pueden observar los diferentes diámetros que se han obtenido para la red analizada teniendo en cuenta el número de viviendas a las que se va a abastecer, el caudal que va a circular por las tuberías, así como la normativa vigente, (Mougny, Hidrante mínimo o NTE-IFA mínimo).

ID Tubería	Nº de viv	Kp	Q(l/s)	Diámetro	Ø Mougny	Ø Hidrante mín	Ø NTE-IFA mín	Ø
T1	83	2,88	2,23	73,34	80	100	125	125
T2	48	2,88	1,29	57,70	60	100	80	100
T3	35	2,88	0,94	50,17	60	100	80	100
T4	10	2,88	0,27	28,50	60	100	80	100
T5	36	2,88	0,97	50,80	60	100	80	100
T6	8	2,88	0,21	25,72	60	100	80	100
T7	2	2,88	0,05	13,44	60	100	80	100
T8	2	2,88	0,05	13,44	60	100	80	100
T9	23	2,88	0,62	41,59	60	100	80	100
T10	17	2,88	0,46	36,29	60	100	80	100
T11	3	2,88	0,08	16,28	60	100	80	100
T12	11	2,88	0,29	29,77	60	100	80	100
T13	2	2,88	0,05	13,44	60	100	80	100
T14	10	2,88	0,27	28,50	60	100	80	100
T15	74	2,88	1,98	69,76	80	100	80	100
T16	91	2,88	2,44	76,33	80	100	80	100
T17	2	2,88	0,05	13,44	60	100	80	100
T18	81	2,88	2,17	72,57	80	100	80	100
T19	107	2,88	2,87	81,89	100	100	80	100
T20	2	2,88	0,05	13,44	60	100	80	100
T21	83	2,88	2,23	73,34	80	100	80	100
T22	225	2,88	6,03	112,68	150	100	80	150
T23	101	2,88	2,71	79,87	80	100	80	100
T24	73	2,88	1,96	69,35	80	100	80	100
T25	16	2,88	0,43	35,31	60	100	80	100
T26	11	2,88	0,29	29,77	60	100	80	100
T27	17	2,88	0,46	36,29	60	100	80	100
T28	15	2,88	0,40	34,29	60	100	80	100
T29	25	2,88	0,67	43,17	60	100	80	100

T30	4	2,88	0,11	18,64	60	100	80	100
T31	18	2,88	0,48	37,24	60	100	80	100
T32	46	2,88	1,23	56,62	60	100	80	100
T33	23	2,88	0,62	41,59	60	100	80	100

Tabla 8. Cálculo de diámetros mínimos.

Una vez obtenidos los diámetros interiores para cada una de las tuberías se procede a la obtención de los diámetros exteriores normalizados mediante sus respectivos espesores, dado que el tipo de tuberías que se ha escogido es un PE 100 que puede soportar hasta 8 bares de presión (80 m.c.a).

Para un PE 100 con 8 bar de presión				
ID Tubería	Diámetro interior	Espesor	Diámetro exterior	Diámetro exterior normalizado (DN)
T1	125	6,7	138,4	140
T2	100	6	112	125
T3	100	6	112	125
T4	100	6	112	125
T5	100	6	112	125
T6	100	6	112	125
T7	100	6	112	125
T8	100	6	112	125
T9	100	6	112	125
T10	100	6	112	125
T11	100	6	112	125
T12	100	6	112	125
T13	100	6	112	125
T14	100	6	112	125
T15	100	6	112	125
T16	100	6	112	125
T17	100	6	112	125
T18	100	6	112	125
T19	100	6	112	125
T20	100	6	112	125
T21	100	6	112	125
T22	150	8,6	167,2	180
T23	100	6	112	125
T24	100	6	112	125
T25	100	6	112	125
T26	100	6	112	125
T27	100	6	112	125
T28	100	6	112	125
T29	100	6	112	125
T30	100	6	112	125
T31	100	6	112	125
T32	100	6	112	125

T33	100	6	112	125
-----	-----	---	-----	-----

Tabla 9. Cálculo diámetros exteriores normalizados

8.1.2 Asignación del número de viviendas y el caudal correspondiente a cada tramo

Se asigna a cada tramo el número de viviendas y otros servicios que abastezca, excluyendo los hidrantes de incendio.

Para ello, se tiene en cuenta los coeficientes punta, correspondientes al número de viviendas, que abastece cada tramo según la tabla 5 presentada anteriormente. Se calcula para cada tramo el número de viviendas abastecidas por el mismo y por los tramos consecutivos. Se multiplica el número total de viviendas acumuladas por el caudal medio por vivienda y por el coeficiente punta correspondiente al número de viviendas calculado.

En el caso de que el número de viviendas no aparezca en la tabla anteriormente citada, se ha calculado interpolando, de manera que se obtiene la siguiente tabla:

Tubería	Viviendas	Kp
1	83	4,36
2	48	5,76
3	35	8,09
4	10	18,4
5	36	7,91
6	8	18,51
7	1	18,9
	1	18,9
	1	18,9
8	1	18,9
	1	18,9
9	23	10,24
10	17	13,07
11	2	18,84
	1	18,9
12	11	18,35
	1	18,9
13	0	-
	10	18,4
14	74	4,77
15	91	4
16	1	18,9
	1	18,9
17	81	4,45
	107	3,94

20	1	18,9
	1	18,9
21	83	4,36
22	225	2,75
23	101	4
24	73	4,81
25	13	16,89
	3	18,79
26	6	18,62
	5	18,68
27	17	13,07
28	15	14,97
	17	13,07
29	8	18,51
30	4	18,73
31	15	14,97
	3	18,79
32	46	6,12
33	23	10,24

Tabla 10. Valores del Kp en función del número de viviendas.

8.1.3 Cálculo de las velocidades y el factor de fricción de las tuberías

Una vez elegido el diámetro y el caudal circulante en cada tramo, además de sus longitudes, se ha de calcular la velocidad, el factor de fricción f y la pérdida de carga en m.c.a. de cada tramo según se especifica en el punto 7.5 de este mismo documento. Partiendo del punto de enlace con la conducción de alimentación, se calculará la presión en cada nudo.

En la siguiente tabla pueden comprobarse los valores obtenidos.

ID Tubería	Nudos	Q (l/s)	D (mm)	L (m)	v (m/s)	f	h_f (m)
T1	Depósito1-2	2,23	140	32,31	1,45E-01	1,65E-02	4,05E-03
T2	2-3	1,29	125	44,17	1,05E-01	1,78E-02	3,54E-03
T3	2-5	0,94	125	101,91	7,65E-02	1,90E-02	4,61E-03
T4	3-4	0,27	125	68,66	2,18E-02	2,49E-02	3,33E-04
T5	3-6	0,97	125	81,18	7,86E-02	1,89E-02	3,86E-03
T6	4-7	0,21	125	39,7	1,75E-02	2,63E-02	1,30E-04
T7	5-6	0,05	125	49,73	4,37E-03	3,85E-02	1,49E-05
T8	6-7	0,05	125	52,2	4,37E-03	3,85E-02	1,57E-05

T9	5-8	0,62	125	87,42	5,02E-02	2,07E-02	1,86E-03
T10	6-9	0,46	125	72,86	3,71E-02	2,21E-02	9,05E-04
T11	7-9	0,08	125	92,21	6,55E-03	3,42E-02	5,53E-05
T12	8-10	0,29	125	34,19	2,40E-02	2,44E-02	1,96E-04
T13	9-10	0,05	125	32,53	4,37E-03	3,85E-02	9,77E-06
T14	10-11	0,27	125	70,46	2,18E-02	2,49E-02	3,42E-04
T15	12-11	1,98	125	52,63	1,62E-01	1,65E-02	9,27E-03
T16	18-12	2,44	125	136,26	1,99E-01	1,60E-02	3,51E-02
T17	13-12	0,05	125	62,27	4,37E-03	3,85E-02	1,87E-05
T18	14-13	2,17	125	50	1,77E-01	1,63E-02	1,04E-02
T19	17-14	2,87	125	106,2	2,34E-01	1,56E-02	3,68E-02
T20	15-14	0,05	125	57,93	4,37E-03	3,85E-02	1,74E-05
T21	Deposito2-15	2,23	125	121,79	1,81E-01	1,62E-02	2,65E-02
T22	Deposito2-17	6,03	180	57,86	2,37E-01	1,44E-02	1,33E-02
T23	17-18	2,71	125	63,48	2,21E-01	1,57E-02	1,98E-02
T24	Deposito2-19	1,96	125	53,7	1,59E-01	1,66E-02	9,23E-03
T25	17-20	0,43	125	77,16	3,50E-02	2,24E-02	8,60E-04
T26	18-21	0,29	125	103,43	2,40E-02	2,44E-02	5,94E-04
T27	19-22	0,46	125	22,5	3,71E-02	2,21E-02	2,79E-04
T28	22-23	0,40	125	105,76	3,28E-02	2,27E-02	1,05E-03
T29	20-23	0,67	125	114,13	5,46E-02	2,03E-02	2,82E-03
T30	23-24	0,11	125	66,95	8,74E-03	3,15E-02	6,58E-05
T31	21-24*	0,48	125	125	3,93E-02	2,18E-02	1,72E-03
T32	19-20	1,23	125	52,32	1,00E-01	1,80E-02	3,88E-03
T33	20-21	0,62	125	57,79	5,02E-02	2,07E-02	1,23E-03

Tabla 11. Cálculo de velocidades y factor de fricción.

Siguiendo las normas específicas expuestas en el punto 7.3 de este documento, las velocidades no llegan al mínimo exigible, por lo que se deberán tomar algunas medidas. La mejor de las medidas será realizar un mantenimiento de la zona abastecida que tenga estos valores bajos en las velocidades, ya que estas velocidades tan bajas pueden provocar estancamientos del agua de tal forma que, pueden reducir la calidad del agua; de este modo se consigue que la calidad del agua sea la adecuada.

8.2 Cálculo de la red mallada

Para el cálculo de la red se ha utilizado el software EPANET, programa diseñado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos y que tiene por objetivo el análisis y la simulación de redes hidráulicas a presión.

En el proyecto de la red de abastecimiento, se ha considerado la demanda para el caudal punta distribuido en los nudos de la red, de manera que a cada nudo de inicio y final de tramo se le asignan la mitad de las viviendas de dicho tramo y de los tramos que confluyen en ese nudo.

EPANET modeliza un sistema de distribución de agua con un conjunto de líneas conectadas a los nudos.

El programa asume que las tuberías están llenas en todo momento. El agua fluye a presión y siempre del nudo de mayor altura piezométrica al de menor. Los datos imputados a las tuberías son:

- Nudos inicial y final.
- Diámetro.
- Longitud.
- Coeficiente de rugosidad.
- Estado (abierta o cerrada).

Los resultados obtenidos son:

- Caudal de circulación.
- Velocidad del flujo.
- Pérdida de carga unitaria.

Los nudos son los puntos donde confluyen las tuberías, y los datos imputados son:

- Cota.
- Demanda de agua.

Los resultados obtenidos son:

- Altura piezométrica.
- Presión.

Los embalses son nudos que representan una fuente externa de alimentación de capacidad limitada. En este caso se utilizarán para imitar los puntos de toma con la tubería existente, por lo que se colocan 2 depósitos, en los puntos de conexión con la tubería de alimentación. Se ha introducido la cota a la que se encuentran los nudos y una altura de lámina de agua de 284 m para simular la presión a la que necesita que circule el agua para obtener un correcto abastecimiento de la zona.

La malla resultante puede observarse en los siguientes gráficos obtenidos de EPANET. Siendo las expresiones E1 y E2 equivalentes a Embalse 1 y Embalse 2; N1, 2,..., los diferentes nudos; y por último T1, 2,..., las distintas tuberías de la red.

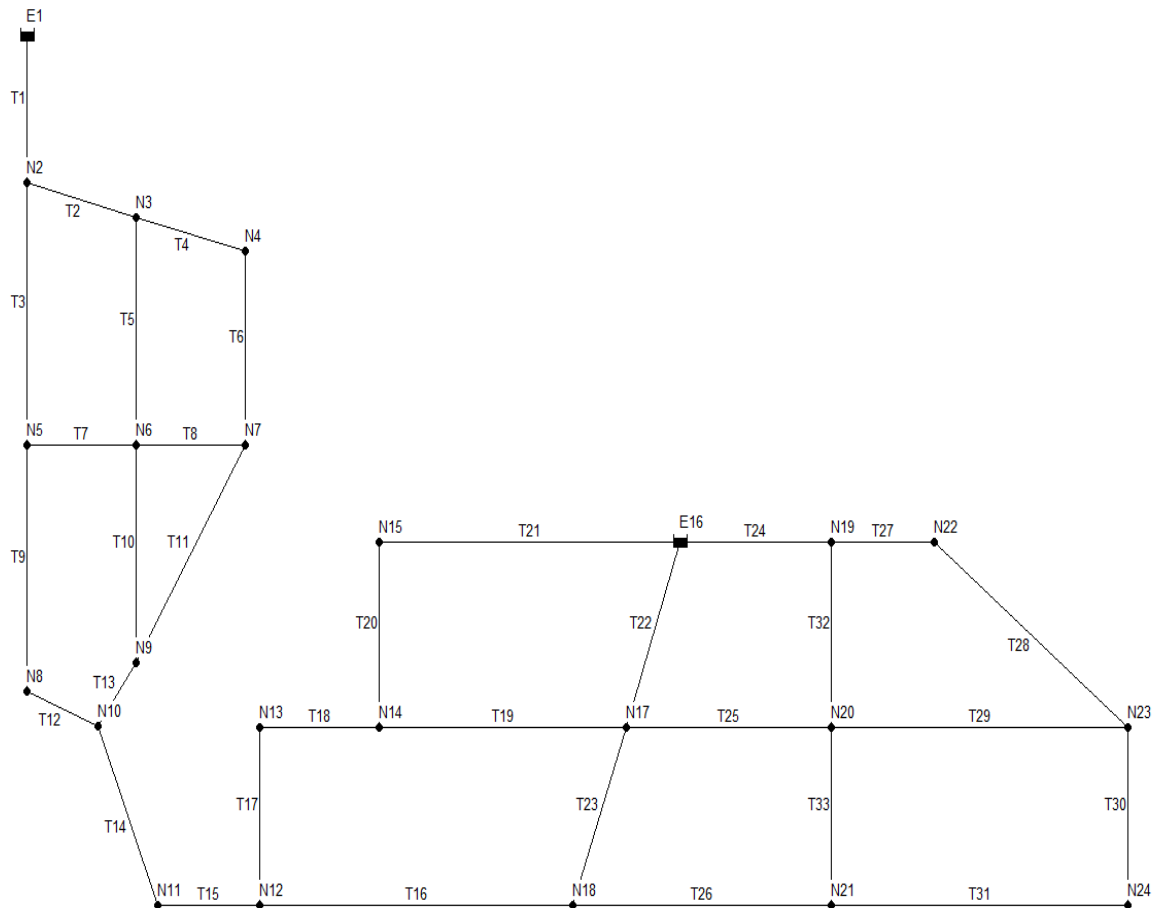


Figura 2. Esquema numeración nudos, tuberías y embalses.

Inicialmente se han calculado los diferentes diámetros, tanto el DN exterior como el DN interior con sus respectivos espesores, para todas las tuberías que conforman la red, así como las longitudes necesarias para ocupar el territorio analizado al completo.

En la siguiente tabla se recogen los datos de partida para comenzar a analizar la red:

ID Tubería	DN (exterior, mm)	e(mm)	DN (interior, mm)	L(m)
T1	140	6,7	133,3	32,31
T2	125	6	119	44,17
T3	125	6	119	101,91
T4	125	6	119	68,66
T5	125	6	119	81,18
T6	125	6	119	39,7
T7	125	6	119	49,73
T8	125	6	119	52,2
T9	125	6	119	87,42
T10	125	6	119	72,86
T11	125	6	119	92,21
T12	125	6	119	34,19
T13	125	6	119	32,53
T14	125	6	119	70,46
T15	125	6	119	52,63
T16	125	6	119	136,26
T17	125	6	119	62,27
T18	125	6	119	50
T19	125	6	119	106,2
T20	125	6	119	57,93
T21	125	6	119	121,79
T22	180	8,6	171,4	57,86
T23	125	6	119	63,48
T24	125	6	119	53,7
T25	125	6	119	77,16
T26	125	6	119	103,43
T27	125	6	119	22,5
T28	125	6	119	105,76
T29	125	6	119	114,13
T30	125	6	119	66,95
T31	125	6	119	125
T32	125	6	119	52,32
T33	125	6	119	57,79

Tabla 12. Diámetros, espesores y longitudes de las tuberías de la red.

Posteriormente se muestran las imágenes extraídas del software EPANET, en las que se visualizan los anteriores valores en cada una de las tuberías de la red.

Diámetros exteriores:

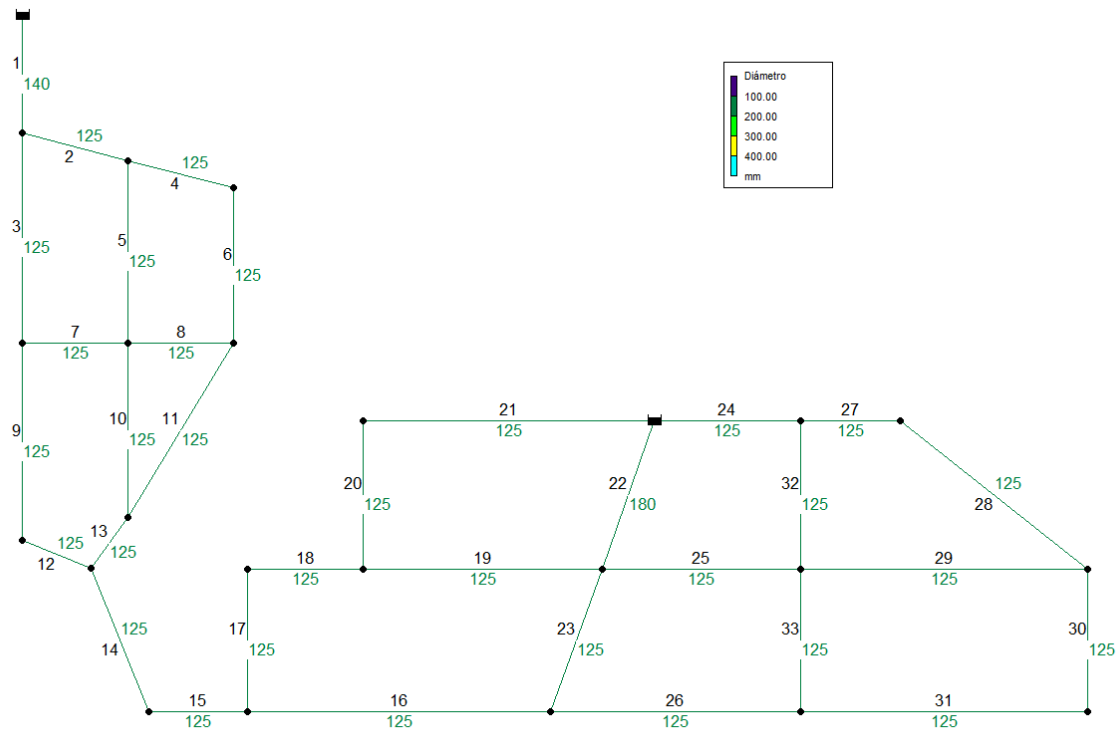


Figura 3. Esquema diámetros exteriores normalizados (DN).

Diámetros interiores:

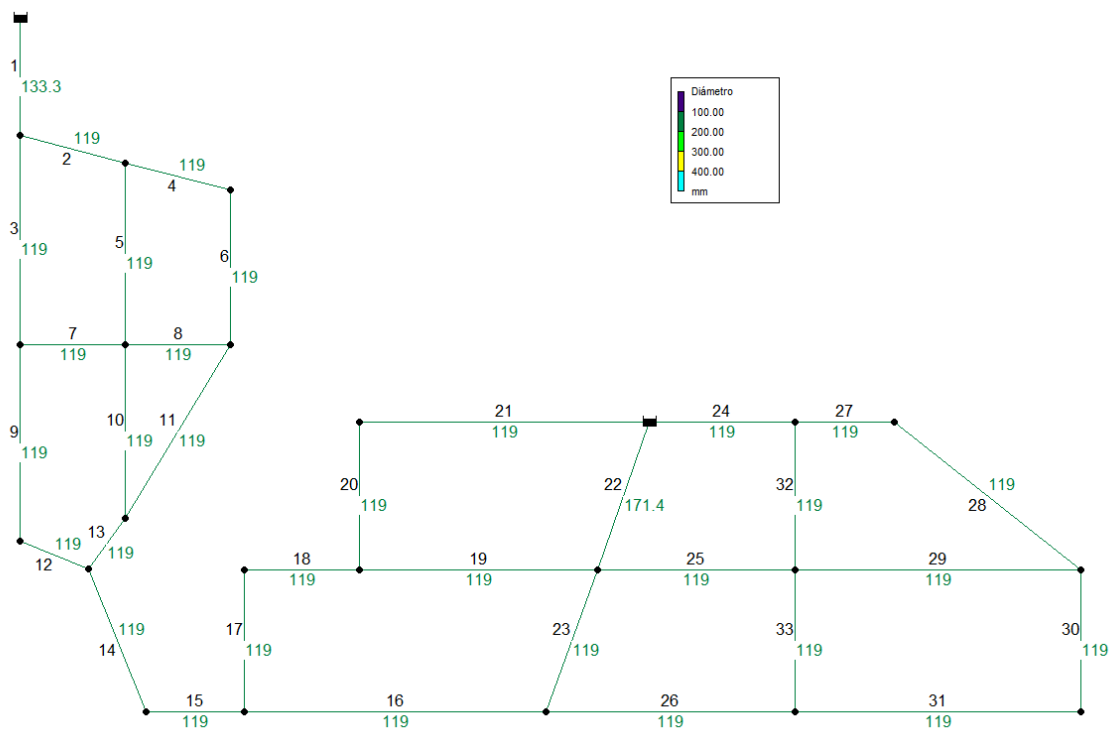


Figura 4. Esquema diámetros interiores.

Longitudes:

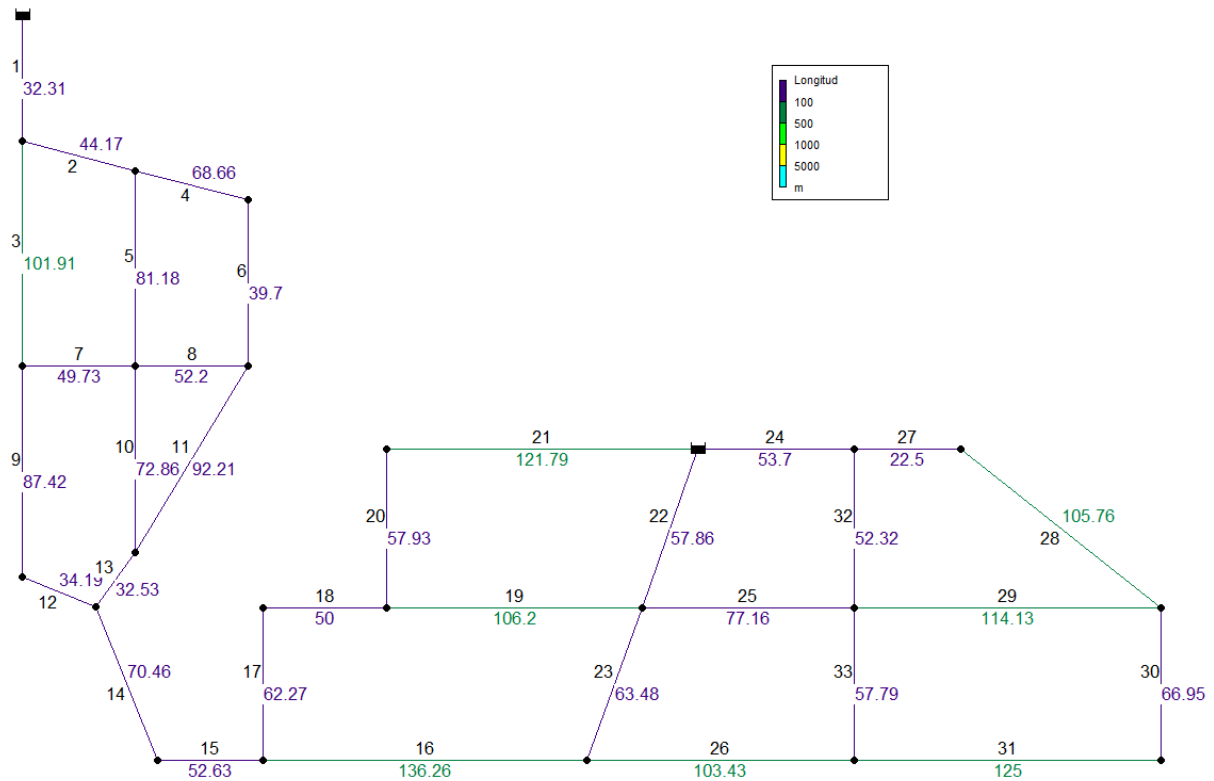


Figura 5. Esquema longitudes de las tuberías.

Se introduce la demanda base a cada nudo expuesto anteriormente y su respectiva cota, los diámetros obtenidos de predimensionado y la longitud de las tuberías, que viene determinada por las cotas de cada nudo. Se procede entonces a ejecutar el software para obtener los cálculos de la red.

Se necesitará una presión mínima total de 27 m.c.a. Esto es debido a la necesidad de tener una presión en las acometidas de 15 m.c.a., más la altura del edificio (planta baja más tres alturas según normas urbanísticas), es decir 15+12 m.c.a.

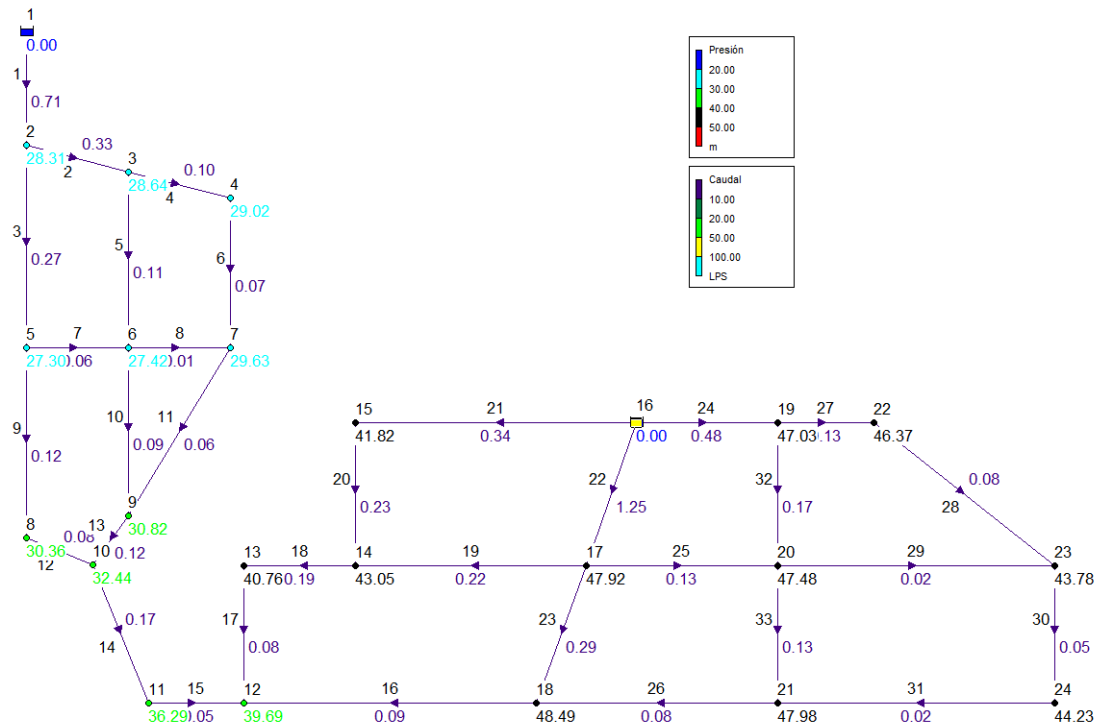


Figura 6. Esquema presiones y caudales de la red.

8.2.1 Comprobación de incendio

Una vez realizada la comprobación del funcionamiento de la red, se procede a comprobar el funcionamiento de esta con una demanda de caudal frente a incendios. Se incluye el caudal de incendio a la demanda base de los nudos consecutivos desfavorables. Al disponer hidrantes del tipo 80, el caudal de incendio a añadir será de 8,33 l/s.

Como se puede comprobar, los nudos con menor presión son 5 y 6. A estos se les incluirá el caudal de incendio y se comprobará que tienen como mínimo una presión de 10 m.c.a.

Proyecto Básico de infraestructuras hidráulicas urbanas en el Sector Horta Baixa de Turís (Valencia):
Red de abastecimiento.

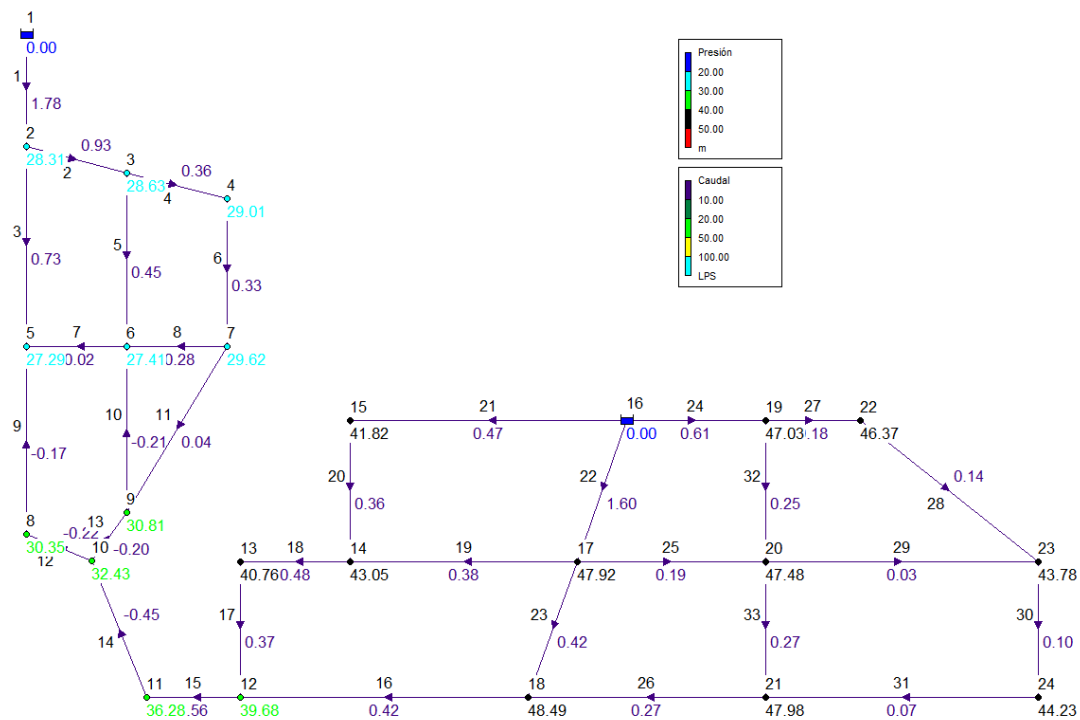


Figura 7. Comprobación incendios nudos N5 y N6.

Como se puede apreciar en la figura, las presiones en los nudos de los hidrantes se ven poco afectadas, y los valores son superiores a 10 m.c.a.

Por último, se comprueba la condición de incendio en los dos hidrantes consecutivos siguientes donde puede haber conflicto (10 y 11), observándose de nuevo que los valores de presión obtenidos en dichos nudos son superiores a 10 m.c.a.

Proyecto Básico de infraestructuras hidráulicas urbanas en el Sector Horta Baixa de Turís (Valencia):
Red de abastecimiento.

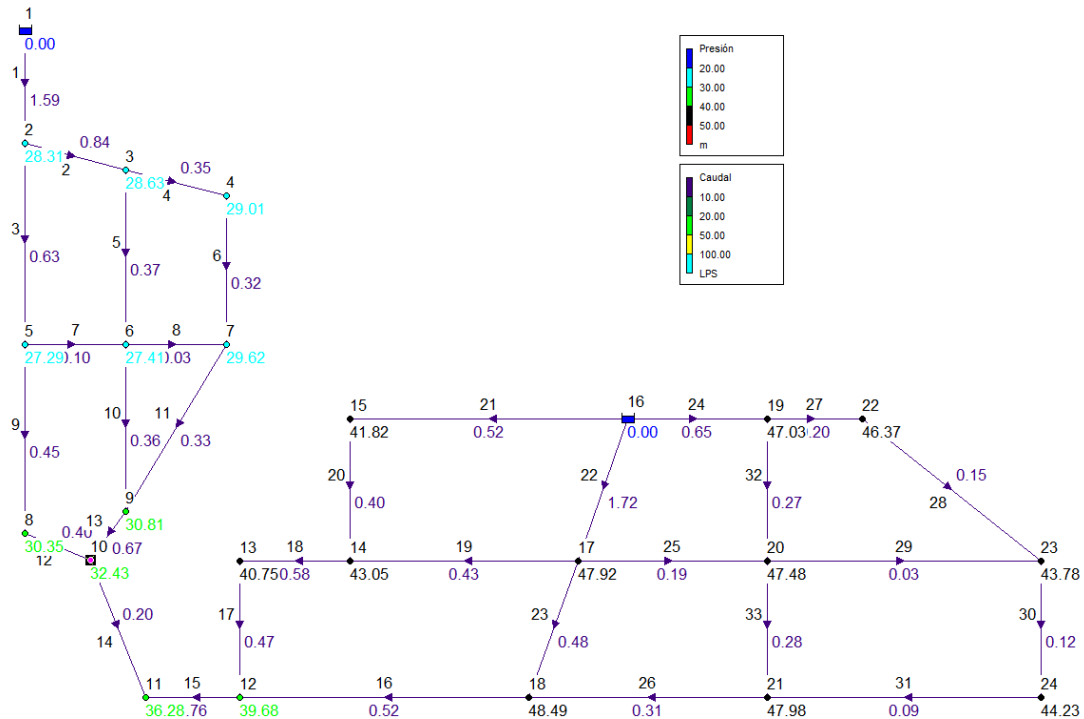


Figura 8. Comprobación de incendios nudos N10 y N11.

Una vez realizada toda la comprobación mediante el software EPANET y posteriormente al análisis mecánico, se ha vuelto a calcular la red con los diámetros obtenidos en este último análisis dando los siguientes resultados:

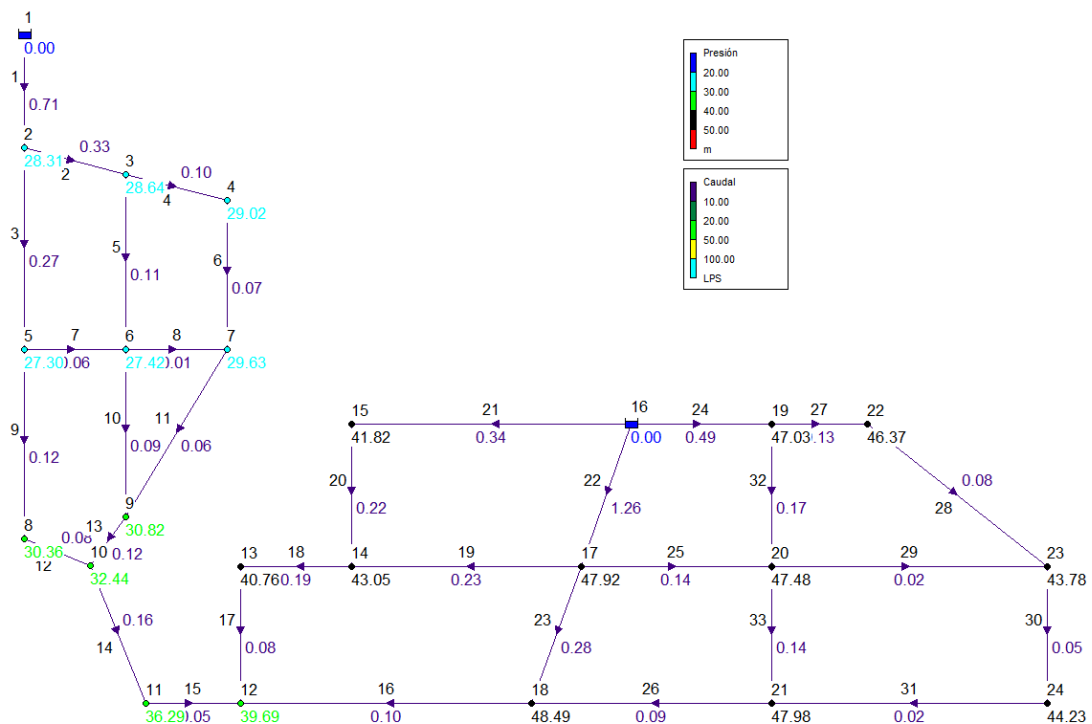


Figura 9. Comprobación de red después de análisis mecánico.

De este modo, se deduce, que no influye en el funcionamiento de la red y confirma que el análisis hidráulico es correcto.

9 Bibliografía

- Ferrer Polo, José; Aguado García, Daniel. *Abastecimiento, distribución y saneamiento de aguas*. Valencia: Editorial UPV, 2011.
- Software EPANET.