



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo fin de grado:

Diseño de una red de abastecimiento de agua a un núcleo urbano de la provincia de Castellón

Autor:

Ángel Lázaro Pérez

Tutor del proyecto:

Ricardo Cobacho Jordán

ÍNDICE

1	OBJETIVO DEL TRABAJO:	4
2	ANTECEDENTES:	5
2.1	Localización geográfica.....	5
2.2	Demografía.....	6
2.2.1	Población estable y variación estacional.....	6
2.2.2	Industrias.....	7
2.3	Fuentes de suministro.....	8
2.4	Depósitos.....	10
2.4.1	Localización y dimensiones de los depósitos	13
2.5	Bombas	14
3	Instalación a diseñar.....	15
3.1	Introducción.....	15
3.2	Topología y Topografía	15
3.3	Elementos de red.....	16
3.3.1	Tuberías (materiales a usar)	16
3.3.2	Válvulas.....	16
3.3.3	Hidrantes contra incendios	17
3.3.4	Ventosas	17
3.3.5	Zanjas.....	18
4	Análisis de la demanda	19
4.1	Dotaciones.....	19
4.2	curva de modulación horaria.....	21
5	Diseño de la red	22
5.1	Introducción de valores de embalses, tuberías y nudos.....	23
5.1.1	Cotas de nudos y embalses	23
5.1.2	Diámetros, rugosidad y longitud para tuberías:	24
5.2	Carga del modelo.....	28
5.2.1	Importación de demandas base	31
5.2.2	Importación de diámetros y rugosidades	36
5.2.3	Creación del patrón de demanda	40
5.3	Cálculo de diámetros en hora punta.....	41
5.3.1	Configuración de red nº1	47
5.3.2	Configuración de red nº2	50
5.3.3	Configuración de red nº3.....	55

6	Conclusiones	58
7	Anexos	59
7.1	Cálculos	59
7.1.1	Cálculo para la asignación de caudales:	59
7.2	Teoría del flujo a presión	63
7.2.1	Introducción:	63
7.3	Simulaciones intermedias	76
7.3.1	Configuración 1	77
7.3.2	Configuración 2	80
7.3.3	Configuración 3	83
7.4	Epanet	86
7.4.1	Introducción: ¿Qué es EPANET?	86
7.4.2	Modelo del sistema	87
8	Bibliografía	94

MEMORIA TFG:

DISEÑO DE UNA RED DE ABASTECIMIENTO

1 OBJETIVO DEL TRABAJO:

El objetivo de este trabajo es diseñar una red de abastecimiento en una población del interior de Castellón para mejorar o renovar la instalación actual.



Foto 1.- Foto de Teresa

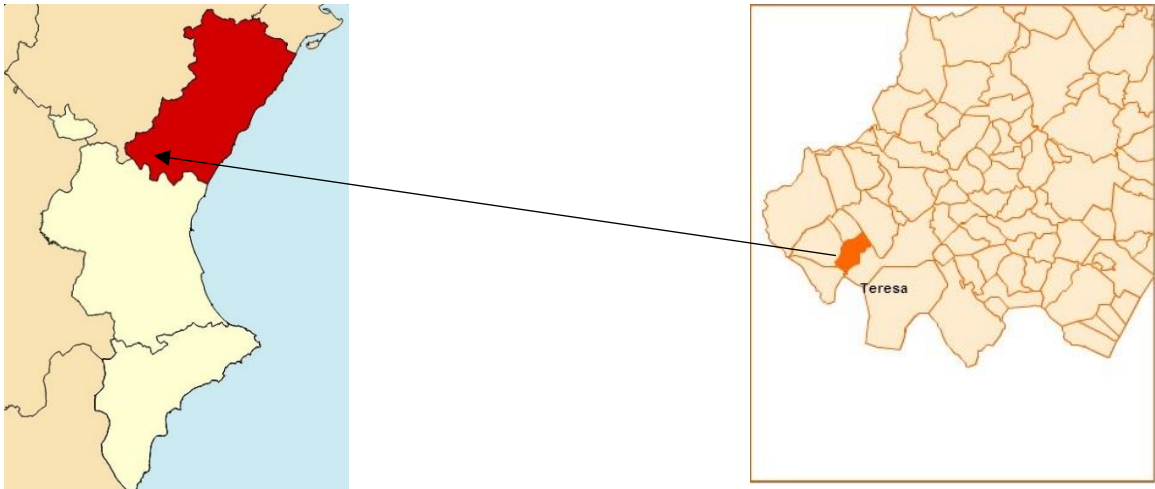


Foto 2.- Vista aérea de Teresa

2 ANTECEDENTES:

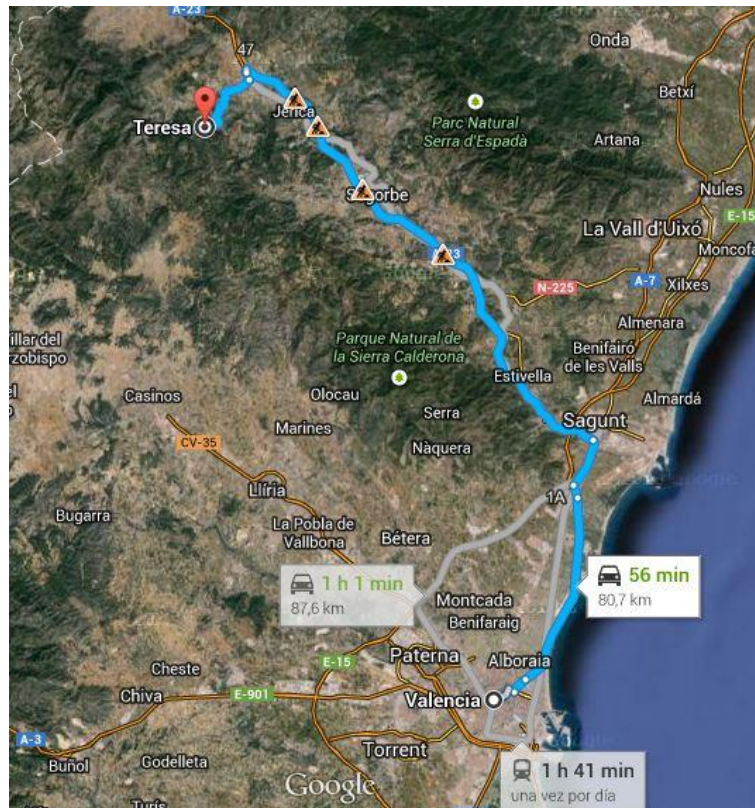
2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

Teresa es un municipio situado en el interior-sur oeste de la provincia de Castellón. Perteneciente a la comarca del Alto Palancia, situado en el margen izquierdo del río Palancia en el ángulo que forman la sierras de Andilla (incendio 2012), Javalambre y Pina. Su altitud alcanza los 636 m por encima del nivel del mar. La superficie de Teresa abarca un total de 19,9 km² con una densidad de 14,37 hab/km² (datos 2013). Su código INE es el 12110.



Mapas 1.- Provincia de Castellón dentro de la Comunidad Valenciana y de Teresa dentro ella.

Para acceder a Teresa, situado a 80,7 km de Valencia, la ruta más conveniente es tomar la A-23 hasta la salida número 47 de dicha autovía. Al tomar esta salida hay que incorporarse a la CV-235 para llegar hasta Teresa. También se puede realizar el acceso desde otras poblaciones colindantes como Torás, Bejís, Viver o Sacañet.



Mapa 2.-Trayecto Valencia-Teresa

2.2 DEMOGRAFÍA

Los teresanos/as se han dedicado históricamente al cultivo de árboles frutales llegando a tener gran fama los campos de manzanos. Actualmente, la economía de Teresa se basa en la recolección de almendra y oliva, además de las distintas industrias que tienen en Teresa su ubicación. Siendo un pueblo agrícola por naturaleza, los cambios en la sociedad han afectado de gran manera a la demografía de Teresa que ha sufrido una disminución considerable en población desde el comienzo del siglo XX:

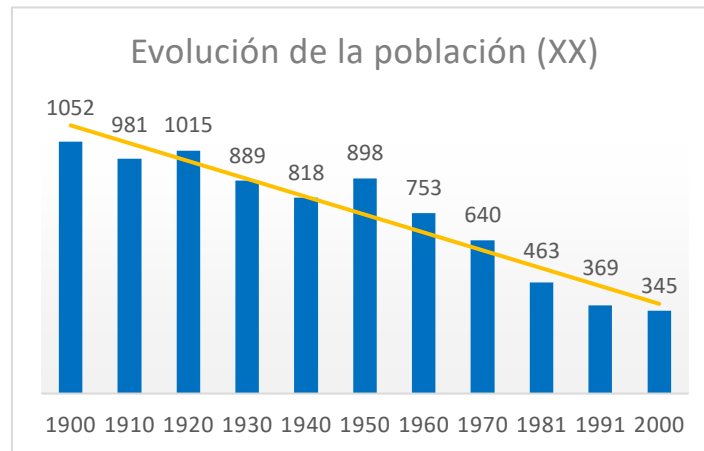


Gráfico 1.- Evolución de la población en el siglo XX

2.2.1 Población estable y variación estacional

Según el Real Decreto 1016/2013, de 20 de diciembre, por el que se declaran oficiales las cifras de población resultantes de la revisión del Padrón municipal referidas al 1 de enero de 2013, Teresa cuenta con una población censada de **286** habitantes.

Según el IVE, esta es la variación poblacional de censados en Teresa en los últimos años:

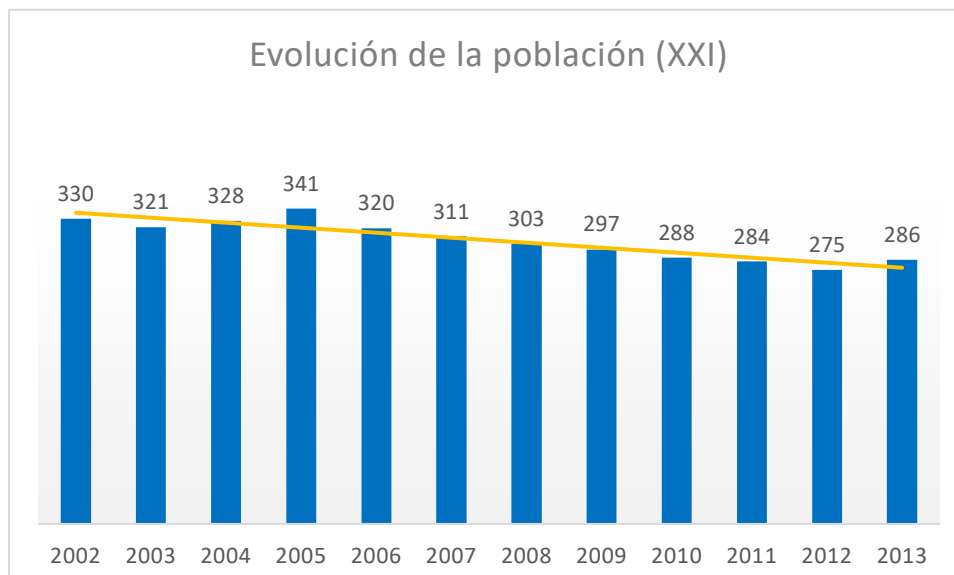


Gráfico 2.- Evolución de la población en el siglo XXI

Teresa sufre bastantes variaciones de población, no censada:

Entre semana, la población puede caer hasta los **140** habitantes. Los fines de semana en cambio, debido a que todos los descendientes de Teresa viven o estudian mayoritariamente en las grandes ciudades cercanas, Teresa puede alcanzar las **500** personas la mayoría de los fines de semana del año.

Además, el cultivo de almendras y olivas hace que en los períodos de su recolección el pueblo aumente también su población hasta alcanzar alrededor de **800** personas.

La variación más pronunciada se produce en los períodos de vacaciones, Semana Santa y verano. Las vacaciones y el buen clima empujan a los nacidos en Teresa a reunirse allí con sus parientes y sus familias, llegando a contabilizar **2500** personas.

Del de población y viviendas obtenemos que hay **633** viviendas familiares en el municipio, de las que **140** son viviendas principales, es decir, están habitadas todos los días del año. Con estos la media de habitantes que viven durante todo el año en Teresa es de **2,04 hab/vivienda**. En períodos estivales podemos contabilizar **2500** personas con lo que, contabilizando las **633** viviendas, obtenemos que el ratio de población puede alcanzar los **3,95 hab/vivienda**.

Según datos del IVE, para el año 2011, el número medio de habitantes por hogar en España estaba en **2,9 hab/hogar**, mientras que en la Comunidad Valenciana era de **2,8 hab/hogar**, por lo que podemos suponer que las cifras estimadas no son las óptimas, pero son aceptables teniendo en cuenta la evolución histórica laboral. La necesidad de cambiar el lugar de residencia por las grandes ciudades ha hecho disminuir esta cifra. Aun así, sigue siendo una buena cifra teniendo en cuenta el emplazamiento de Teresa.

2.2.2 Industrias

Aunque no haya grandes polígonos industriales, Teresa cuenta con un par de negocios de renombre que toman agua de la red y que pagan como industrias:

2.2.2.1 Conservas Vicente Palomar

Industria basada en el encurtido y la conserva de productos de mar tales como anchoas y boquerones con diferentes tipos de conserva. Reparto a los negocios del pueblo y a otros pueblos del entorno.

2.2.2.2 Conservas Vicente Flor

Encurtido y conservas con sede industrial en Teresa pero que distribuye principalmente a otros pueblos ya que el dueño es de un pueblo aledaño, Jérica.

2.2.2.3 Patés hnos. Villanueva

Industria familiar que produce patés de variados sabores para la distribución a los negocios del pueblo y fuera de él en otras superficies.

2.2.2.4 Horno salva

El horno tradicional del pueblo que hace cuestión de meses ha cambiado de gerencia.

2.2.2.5 Carnes pedro

Carnicería parte de una cadena "Escavia de Bejís" venta de carnes y elaboración de embutidos.

2.2.2.6 Kiosco-Tienda Tere

Kiosco y estanco del pueblo. Venta de útiles y accesorios de primera necesidad.

2.2.2.7 Ultramarinos visi

Establecimiento de alimentación; frutas, verduras, lácteos...

2.2.2.8 Bar “La Tasca”

Bar situado en la calle central del pueblo, expertos en tapas.

2.2.2.9 Bar “Fernando”

Especialidad en carnes a la brasa y bocadillos. Lugar de encuentro de moteros durante los fines de semana y en períodos estivales.

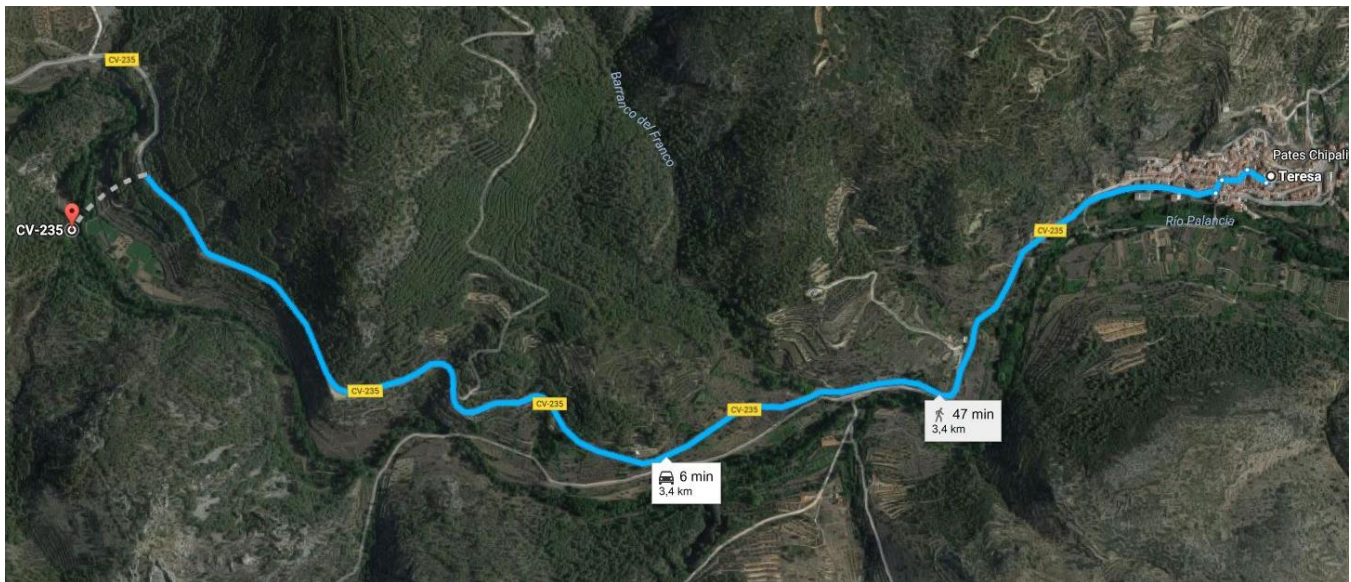
2.2.2.10 Bar “Gil”

Especialidad en platos combinados y tapas.

2.3 FUENTES DE SUMINISTRO

La fuente principal de suministro de agua al Pueblo de Teresa es el llamado **Manantial del Nano**. Es un nacimiento natural que se encuentra a 654 m sobre la altura del mar y a 3,72 km de Teresa tomando la carretera CV-235 en dirección a Bejís y tomando un camino desde esta carretera.

Manantial del Nano	X	Y	Z
CA12110001	697.4211,51	4.419.189,25	653,99



Mapa 3.- Trayecto Teresa – Manantial del Nano

Tiene la capacidad de suministrar 3000 m³ al día, o lo que es lo mismo, 3 millones de litros al día los cuales no son transportados en su totalidad al núcleo urbano porque no tiene tal demanda. Toda esa cantidad de agua que no llega a la población es directamente direccionada al Río Palancia.

Vista la capacidad de suministro del **Manantial del Nano**, y otra de las fuentes pertenecientes al término de Teresa llamada **Fuente del Berro**, desde el ayuntamiento se planteó la idea de instalar una planta embotelladora de agua si se consiguiera el permiso de explotación de la **Fuente del Berro**.

El acceso al **manantial del Nano** es sencillo puesto que, se encuentra dentro de una caseta en un recinto vallado bastante amplio. La puerta de la caseta está cerrada debido a que manos inexpertas o malintencionadas podrían cortar el suministro o bien provocar daños en la instalación.



Foto 3.- Caseta del Nano

En el interior de la misma podemos ver el manantial.



Foto 4.- Manantial del Nano

El agua que suministra el manantial es transportada hacia el núcleo urbano hasta llegar al **Depósito Inferior Viejo**, uno de los 4 depósitos que tiene la población de Teresa.

La conducción desde el Manantial transporta el agua mediante gravedad, utilizando los siguientes materiales, diámetros en distintas longitudes.

Material	Ø (mm)	L (m)
PVC	160	1.944
PEAD	160	1.249,5
Fibro cemento	150	499,8

2.4 DEPÓSITOS

El agua proveniente del Manantial del Nano llega al **depósito inferior viejo**. Desde ahí, el agua es bombeada hasta el **depósito superior**, marcado con un 2 en el plano. Ambos depósitos suministran agua a la población:

El **depósito inferior viejo (1)** suministra tanto a la zona baja como al **depósito superior (2)**.

El **depósito superior (2)**, suministra a la zona alta del pueblo.

El **depósito inferior nuevo (3)**, actúa como una extensión del **depósito inferior viejo (1)**

Finalmente, marcado con un 4 en el mapa, encontramos el **depósito nuevo**. La función de este depósito es cubrir posibles puntas de consumo o la avería de alguno de los otros 3 depósitos. En épocas de riego durante el período estival puede darse el caso de algún fallo en el suministro.

En el siguiente plano podemos ver la localización de los depósitos en el pueblo.

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| 1. Depósito Inferior Viejo | 3. Depósito Inferior Nuevo |
| 2. Depósito Superior | 4. Depósito Superior Nuevo |



Plano 1.- Vista aérea con depósitos señalizados



Plano 2.- Zoom a los depósitos.

A. Depósito Inferior Viejo

Se trata de un depósito Regulador semi-enterrado de sección circular de hormigón en masa. En la caseta anexa al depósito se encuentra el grupo de bombeo que envía el agua al depósito superior, marcado con 2 en el mapa. Además, también encontramos una válvula motorizada para controlar el flujo que llega desde el Manantial del Nano.



Foto 5.- Depósito Inferior Viejo



Foto 6.- Válvula motorizada EMG Topfmer

B. Depósito Superior

Se trata de un depósito de construcción antigua de planta rectangular, con tronco piramidal, enterrado parcialmente y fabricado en hormigón. Anexo al depósito se encuentra la caseta para el acceso al mismo.



Foto 7.- Depósito Superior

C. Depósito Inferior Nuevo

Este depósito está totalmente enterrado y lo que se ve en la foto es la caseta donde se encuentra la trampilla de acceso al depósito. La caseta es utilizada como almacén por el ayuntamiento.



Foto 8.- Depósito Inferior Nuevo

D. Depósito Superior Nuevo

El depósito superior nuevo es un depósito de sección interior circular, aunque el exterior se asemeja a un prisma dodecaedro. Está fabricado en hormigón. El acceso al mismo es por una trampilla situada en el techo.

La función principal de este depósito es abastecer al depósito superior en casos excepcionales de demanda.



Foto 9.- Depósito Superior Nuevo

2.4.1 Localización y dimensiones de los depósitos

Los depósitos comentados en el apartado anterior están localizados en las siguientes coordenadas,

Depósitos	X	Y	Z
DE12110001 Depósito Inferior Viejo	700.248,36	4.419.341,70	643,47
DE12110002 Depósito Superior	700.228,94	4.419.434,64	660,00
DE12110003 Depósito Inferior Nuevo	700.257,27	4.419.339,14	643,16
DE1211004 Depósito nuevo	700.110,96	4.419.473,29	681,20

Tabla 1.- Localización geográfica depósitos

Y tienen las siguientes dimensiones:

Depósito	Longitud (m)	Anchura (m)	Altura (m)	Diámetro (m)	Capacidad (m ³)
Inferior Viejo	-	-	4,20	3,68	45
Superior	7,80	7,70	3,65	-	219
Inferior Nuevo	5,30	5,20	3,60	-	99
Superior Nuevo	-	-	4,25	12,40	513

Tabla 2.- Dimensiones de los depósitos

2.5 BOMBAS

En la caseta anexa al Depósito Inferior viejo, encontramos dos bombas que impulsan el suministro al Depósito Superior



Foto 9.- Grupo de bombas de impulso.



Foto 10.- Bomba modelo MES-407

Se trata de dos bombas verticales modelo **MES-407** del fabricante Aiguapres, posicionadas en serie.

Máxima temperatura del líquido bombeado	+40 °C
Máx. RPM	2900 rpm
Hmax	85
Potencia Motor	4.1 kW

Tabla 3.- Especificaciones bomba

H (m)	Q (m ³ /h)	Q(l/min)	Q (l/s)
85	0	0	0,00
82	3	50	0,83
80	4.5	75	1,25
78	6	100	1,67
75	7	117	1,95
72	9	150	2,50
71	10	167	2,78
68	11	183	3,05
66	12	200	3,33
58	15	250	4,17
44	18	300	5,00
26	21	350	5,83

Tabla 4.- Rango de trabajo bomba

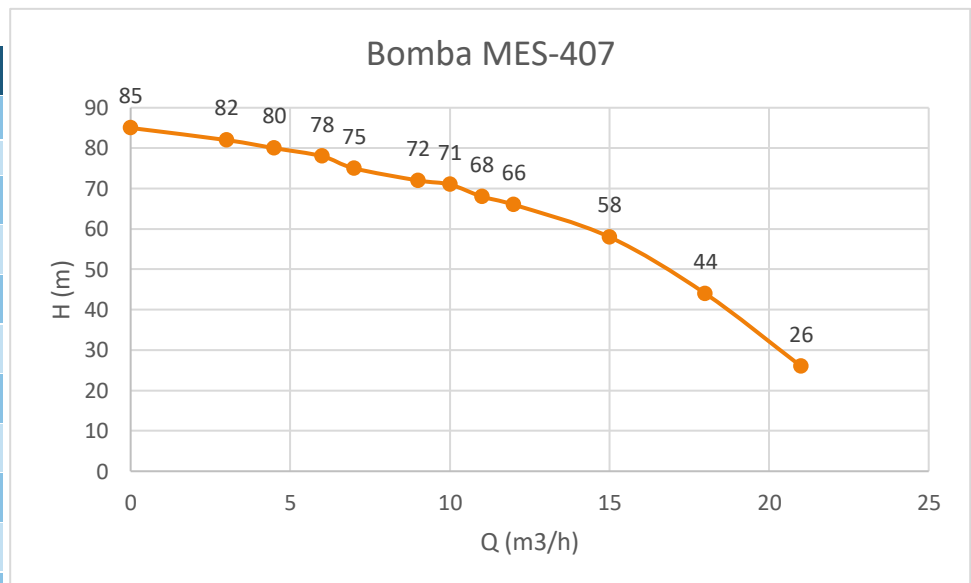


Gráfico 3.- Altura-Caudal de la bomba MES-407

3 INSTALACIÓN A DISEÑAR

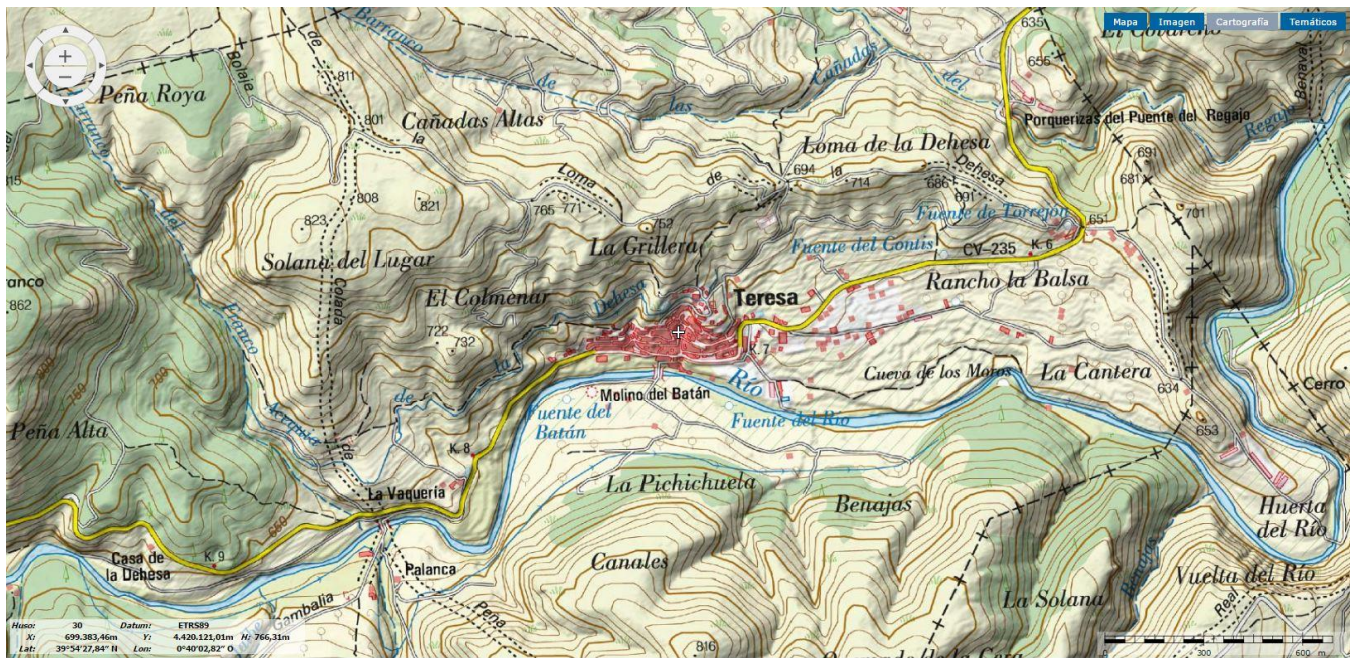
3.1 INTRODUCCIÓN

En este trabajo se procederá a diseñar una red de abastecimiento de tipo mixta. Contará con zonas malladas para poder mantener el suministro cuando se produzcan averías además de algunas ramificaciones para poder acceder a calles sin salida o de geometría complicada.

3.2 TOPOLOGÍA Y TOPOGRAFÍA

Como se ha comentado en el apartado 2.1 Localización geográfica, el pueblo de Teresa se encuentra en un lateral de la cuenca del Río Palancia. Pese a no ser un terreno muy agresivo, lo cierto es que, si avanzamos desde el río hacia el núcleo urbano o simplemente utilizamos un mapa topográfico, comprobaremos que la distribución de las calles se asemeja a una escalera.

Por ello, el pueblo cuenta con un gran número de calles en pendientes que comunicarían los distintos “escalones” a los que podríamos hacer asemejar al pueblo de Teresa.



Mapa 4.- Mapa topográfico de Teresa escala 1:9000

3.3 ELEMENTOS DE RED

A continuación, se enumerarán los elementos, así como sus características que se utilizarán en el diseño de la red:

3.3.1 Tuberías (materiales a usar)

Las tuberías serán de 2 únicos tipos de material:

- Polietileno PE100: para tuberías con diámetro nominal **menor o igual a 200 mm**.



Foto 11.- Polietileno PE100

- Fundición dúctil K9: para tuberías con diámetro nominal **mayor a 200 mm**.



Foto 12.- Fundición dúctil K9

3.3.2 Válvulas

Las válvulas utilizadas serán:

- Válvula de compuerta de cierre elástico
- Válvulas de mariposa



Foto 13.- Válvula de compuerta de cierre elástico



Foto 14.- Válvula de mariposa

3.3.3 Hidrantes contra incendios

Los hidrantes serán todos del tipo Valencia (guitarra) con una dimensión de 100 mm.

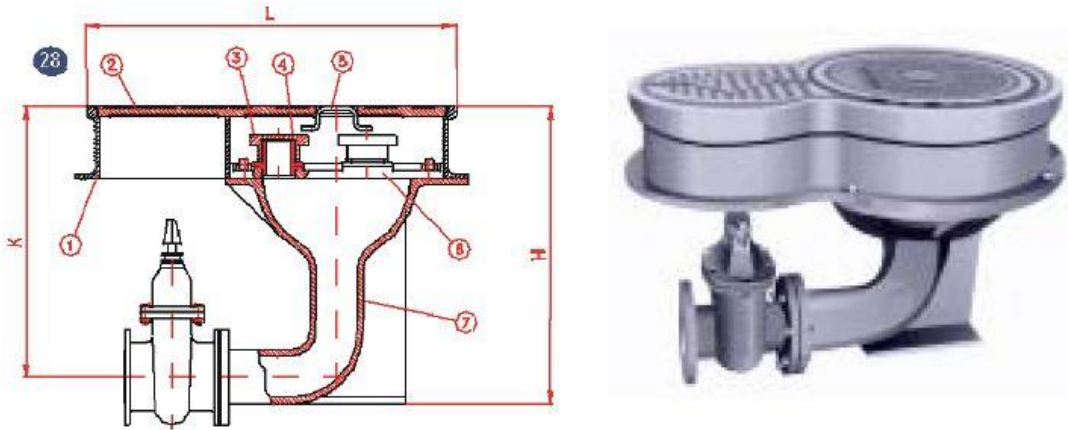


Foto 15.- Hidrante tipo Valencia (guitarra)

3.3.4 Ventosas

Se utilizarán ventosas trifuncionales cuyo diámetro será 1/12 veces el diámetro nominal de la tubería sobre la que vaya montada.



Foto 16.- Ventosa trifuncional

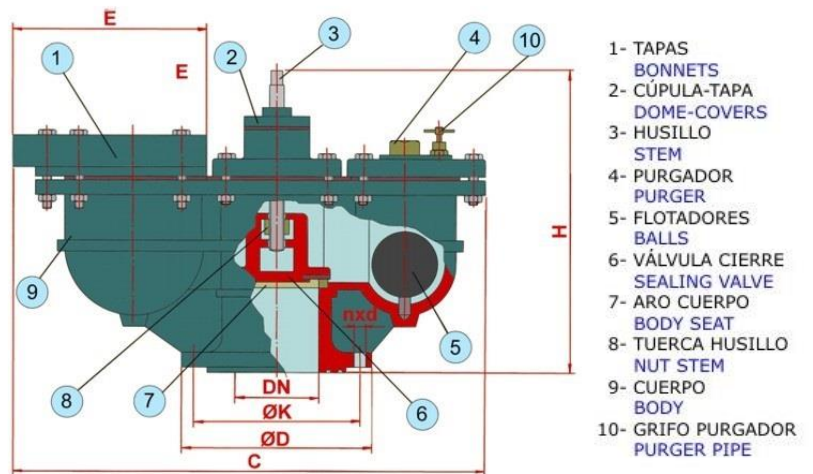


Foto 17.- Esquema de una ventosa trifuncional

3.3.5 Zanjas

Si no se pudieran aprovechar las zanjas que alojan la red actualmente, se procedería a cavar zanjas de dos tipos diferentes:

- Zanja sin talud: para diámetros de tubería **menores o iguales a 200 mm**.

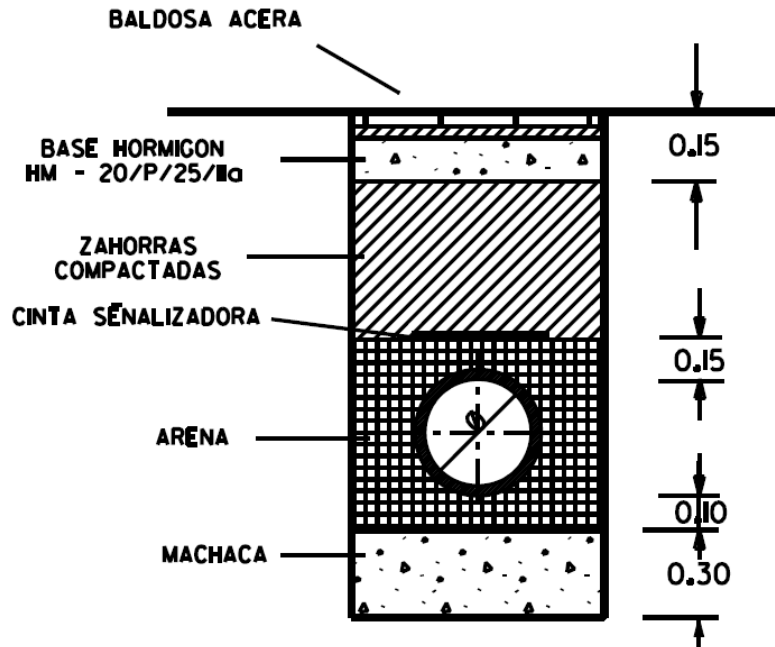


Foto 18.- Esquema de una zanja sin talud

- Zanja con talud: para diámetros de tubería **mayores a 200 mm**.

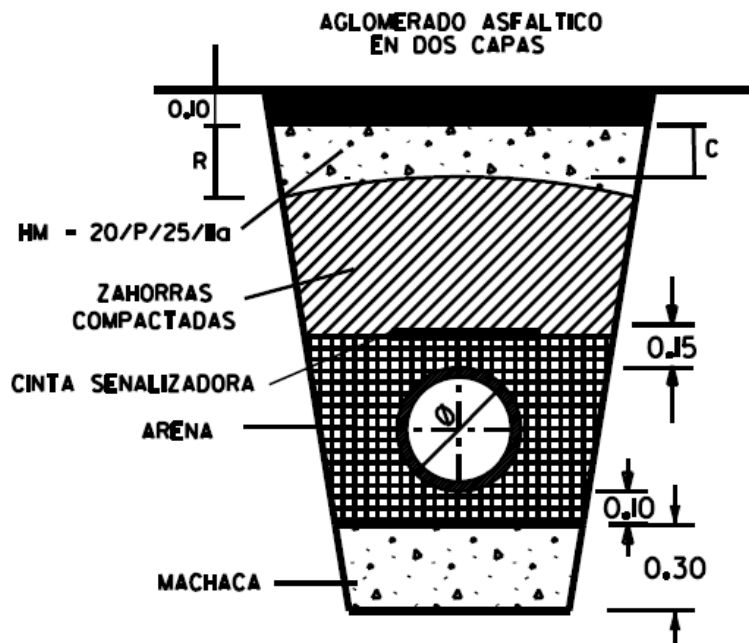


Foto 19.- Esquema de una zanja con talud

4 ANÁLISIS DE LA DEMANDA

4.1 DOTACIONES

Durante el último año, se ha monitorizado los consumos mediante el chequeo a la salida de los depósitos obteniendo los datos que se muestran en la siguiente tabla:

Día	Depósito superior		Dep. Inferior viejo		Entrada al pueblo (Nano)		Suma salida depósitos	Pérdidas (m ³)
	Acumulado	Consumo (m ³)	Acumulado	Consumo (m ³)	Acumulado	Consumo (m ³)		
15-ene-14	131528	1353	121170	2205	205969	4089	3558	531
30-ene-14	132540	1012	122716	1546	208658	2716	2558	158
13-feb-14	133545	1005	123452	736	210579	1894	1741	153
19-feb-14	134465	920	124213	761	212410	1831	1681	150
15-mar-14	135720	1255	125125	912	214736	2326	2167	159
31-mar-14	137095	1375	125940	815	217090	2354	2190	164
15-abr-14	138332	1237	126647	707	219180	2090	1944	146
30-abr-14	140035	1703	127620	973	222023	2843	2676	167
15-may-14	141056	1021	128486	866	224020	1997	1887	110
30-may-14	142755	1699	129162	676	226612	2592	2375	217
16-jun-14	144304	1549	129782	620	228967	2355	2169	186
30-jun-14	146265	1961	131397	1615	232625	3658	3576	82
18-jul-14	149280	3015	132700	1303	237380	4755	4318	437
31-jul-14	151565	2285	133802	1101	240772	3392	3386	6
15-ago-14	154238	2673	135186	1385	244925	4153	4058	95
30-ago-14	157322	3084	136850	1664	249789	4864	4748	116
15-sep-14	159560	2238	138391	1541	253693	3904	3779	125
30-sep-14	160778	1218	140752	2361	257462	3769	3579	190
14-oct-14	162460	1682	143085	2333	261582	4120	4015	105
31-oct-14	164358	1898	144120	1035	264675	3093	2933	160
15-nov-14	166131	1773	145138	1018	267644	2969	2791	178
30-nov-14	167277	1146	146003	865	269789	2145	2011	134
15-dic-14	168600	1323	147166	1163	272474	2685	2486	199
30-dic-14	169515	915	148250	1084	274629	2146	1999	147
15-ene-15	170958	1443	149786	1536	277795	3175	2979	196
31-ene-15	172455	1497	151588	1802	281264	3469	3299	170

Tabla 5.- Tabla de consumos

De la tabla anterior podemos obtener que:

$$V_{\text{inyectado}} = 39340 \text{ m}^3$$

$$\text{Dotación media anual: } d_{\text{inyectado}} = \frac{v(\text{año}) \text{ en litros}}{N \cdot 365} = \frac{39340000}{311 \cdot 365} = 346,56 \text{ l/hab/día}$$

$$Q_m \text{ anual} = \frac{d \cdot N}{86400} = \frac{346,56 \cdot 311}{86400} = 1,25 \text{ l/seg}$$

$$Q_m \text{ día cualquiera} = Q_m \text{ anual} = 1,25 \text{ l/seg}$$

Q_p (caudal punta):

Utilizaremos 5 como k_{hp} (coeficiente punta horario).

$$Q_p = Q_m \cdot k_{hp} = 1,25 \cdot 5 = 6,24 \text{ l/seg}$$

Q_m DMC (caudal día de mayor consumo):

Utilizaremos 2 como k_{dmc} (coeficiente día de mayor consumo)

$$Q_m \text{ DMC} = Q_m \cdot k_{dmc} = 1,25 \cdot 2 = 2,49 \text{ l/seg}$$

Q_p DMC caudal punta máximo:

Utilizaremos el valor 2 como k_p .

$$Q_p \text{ DMC} = Q_m \cdot k_{dmc} \cdot k_{hp} = 1,25 \cdot 2 \cdot 5 = 12,47 \text{ l/seg}$$

4.2 CURVA DE MODULACIÓN HORARIA

Dado que se quiere diseñar una red para una población, necesitamos simular de una manera realista las variaciones de consumo que se podrían producir a lo largo de un día. Para ello, utilizaremos una Curva de Modulación. Con esta curva o patrón, simularemos variaciones a lo largo de las 24 horas de un día. La curva queda definida por los coeficientes que se le asignen a cada uno de los intervalos (en nuestro caso 24 intervalos) en los que el coeficiente modificará la demanda, generando picos de consumo, descensos y planos o valles. Con esto se pretende simular de una manera más representativa como podría variar la demanda.

En este proyecto se utilizará curva de modulación CM2 por ser la adecuada para el tamaño de la población de Teresa:

Hora	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00
K	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	1.1	1.2	1.2	1	1

Hora	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
K	1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.4	1.3	1.2	1	1	0.7	0.7

Tabla 6.- Coeficientes de la curva CM2

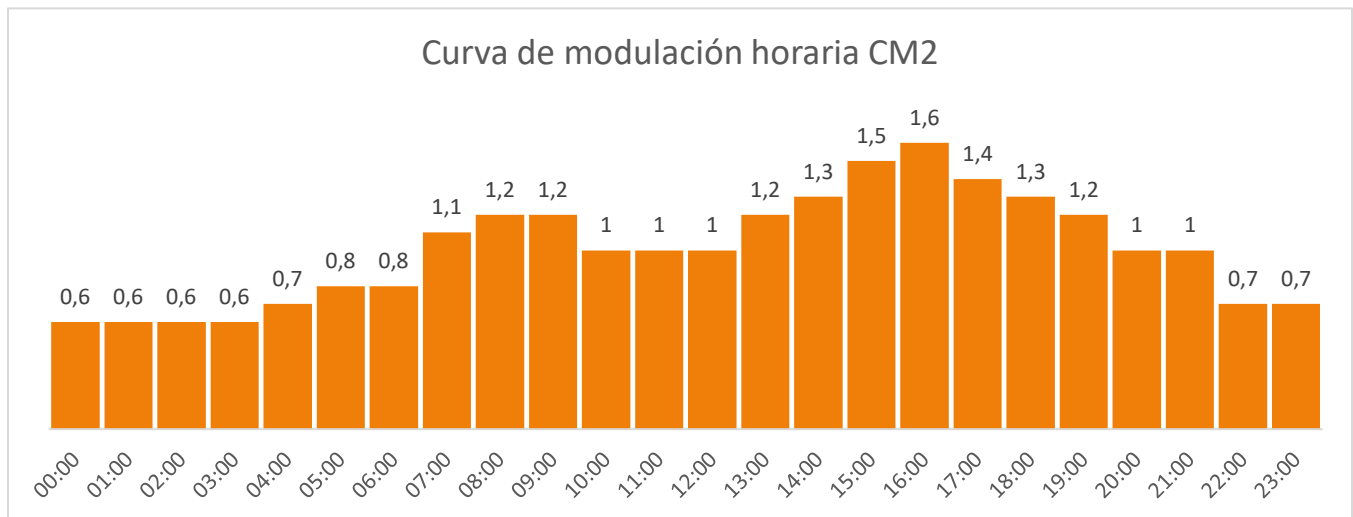


Gráfico 4.- Curva de modulación horaria CM2

5 DISEÑO DE LA RED

Para el diseño de la red es necesario trabajar con un programa que permita un análisis dinámico. En este trabajo se ha utilizado el programa Epanet 2.0. La manera de trabajar de este programa así como todas las posibilidades de cambio y control de variables que ofrece aparecen explicadas en el Anexo 4. Epanet.

El primer paso en el diseño de una red es introducir la red a dimensionar independientemente de que pueda sufrir modificaciones. Para poder trabajar más fácilmente a la hora de introducir embalses, tuberías, nudos... Epanet ofrece la opción de trabajar sobre un fondo.

Introduciendo las dimensiones del fondo y activando la opción de auto dimensionado de tuberías, se ha obtenido el primer esquema de la red a diseñar:



Plano 3.- Plano de la red con ID de nudos y tuberías

Cómo hemos visto en apartados anteriores, los dos depósitos que suministran agua a la población son el depósito superior viejo y el depósito inferior. Además, éste segundo se encarga de suministrar agua al depósito superior. El agua proveniente del Manantial del Nano se almacena en los depósitos inferiores y después es bombeada al depósito superior viejo.

Para el diseño de nuestra red, utilizaremos solamente los depósitos superiores. Utilizaremos el depósito superior viejo como fuente de suministro principal y el depósito superior nuevo como fuente de suministro secundaria o de apoyo.

En el manual de Epanet, se le llama “depósito” a lo que nosotros definimos como “embalse” y “tanque” a lo que nosotros llamaríamos “depósito”. Al fin y al cabo, lo que nos interesa es la definición:

Los depósitos (embalse para nosotros) son nudos que representan una fuente externa infinita o un sumidero para el sistema.

Los depósitos superiores son rellenados por los inferiores y si hubiera un fallo en la conexión entre ambos, los depósitos superiores se quedarían aislados y el suministro estaría comprometido.

En nuestro proyecto, proponemos una nueva definición de la red en la que los depósitos que abastezcan a la población sean sólo los superiores. Con ello, los depósitos inferiores sólo actuarían como aportadores de agua a los depósitos superiores e incluso se podría estudiar la opción de redirigir la canalización que trae agua desde el manantial del Nano.

5.1 INTRODUCCIÓN DE VALORES DE EMBALSES, TUBERÍAS Y NUDOS

5.1.1 Cotas de nudos y embalses

Con la ayuda del IGN se recopiló la cota de cada uno de los nudos y embalses y se introdujeron en Epanet de la siguiente manera nudo a nudo:

Propiedad	Valor
*ID Conexión	N1
Coordenada-X	327.17
Coordenada-Y	188.83
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	651
Demanda Base	0.0859712557643816
Patrón de Demanda	CM2
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	
Calidad Inicial	

Foto 20.- Recorte Epanet: Modificación propiedades de nudo.

Haciendo “doble click” sobre el elemento de la red, en este caso nudos, se despliegan las propiedades del elemento. Para los nudos, introduciremos el valor de la cota con la información de ese mismo punto en el mapa del IGN. En el plano que hay a continuación se pueden ver todos los nudos con sus respectivas cotas una vez introducidas.



Plano 6.- Plano de la red con cotas de los nudos

5.1.2 Diámetros, rugosidad y longitud para tuberías:

Antes de empezar a trazar las tuberías y para no tener que modificarlo luego, Epanet nos ofrece la opción de introducir datos por defecto. De esta manera, todas las tuberías que creemos tendrán el mismo diámetro y la misma rugosidad.

Para ello, desplegamos el menú “proyecto” de la barra de herramientas y hacemos “click” en la opción “valores por defecto”.

En la ventana que se nos abre al hacer “click” introducimos 35.2 como valor de diámetro por defecto y 0.0017 como valor de rugosidad.

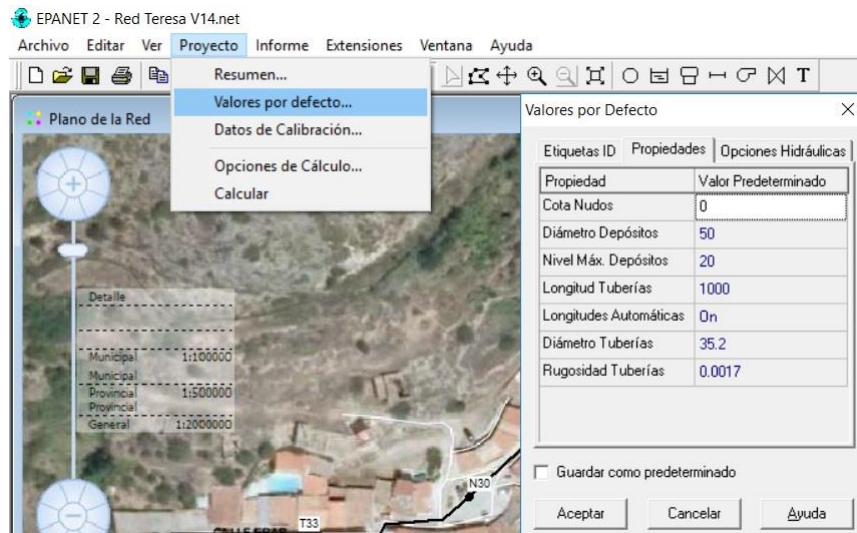


Foto 21.- Recorte Epanet: Valores por defecto

Los valores de diámetro (35,2) y rugosidad (0.0017) vienen dados por el tipo de material que vamos a utilizar para nuestro proyecto. En concreto, utilizaremos tuberías de Polietileno de Alta densidad PE100 (MAT2) para aquellas tuberías con diámetro nominal menor a 200, y Fundición K9 para aquellas tuberías a las que tengamos que asignarle un valor de diámetro nominal mayor a 200. En las tuberías con fundición K9, tendremos también que modificar la rugosidad a 0.03. Epanet trabaja con diámetros internos y 35,2 es el diámetro mínimo para el Polietileno de Alta densidad PE100.

MAT1: PE-100

DN (mm)	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	225
Dint (mm)	35.2	44	55.4	66	79.2	96.8	110.2	123.4	141	158.6	176.2	198.2
Dext (mm)	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	225
e (mm)	2.4	3	3.8	4.5	5.4	6.6	7.4	8.3	9.5	10.7	11.9	13.4
Precio (€/m)	120.95	123.22	125.92	130.20	135.04	143.38	147.98	153.07	160.45	172.14	183.44	201.58

MAT3: Fundición K9

DN (mm)	40	50	60	80	100	125	150	175	200	225	250	300
Dint (mm)	40	50	60	80	100	125	150	175	200	225	250	300
Dext (mm)	55	66	77	98	118	144	170	196	222	248	274	326
e (mm)	7.5	8	8.5	9	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	13
Precio (€/m)	150.77	154.01	157.72	164.46	174.91	187.06	199.17	214.32	229.42	245.20	260.98	338.15

Tabla 7.- Diámetros comerciales para PE-100 y K9

Gracias a la función auto dimensionado, habiendo introducido la dimensión del recorte de fondo, las longitudes de cada tubería las calculará Epanet automáticamente.

Para introducir la dimensión del fondo, nos hemos ayudado de los mapas del IGN. En ellos, medimos la distancia entre los extremos del recorte que utilizamos como fondo para trazar la red por las calles de la población.

En la barra de herramientas superior, hacemos “click” en la pestaña “ver” y después en la opción “dimensiones”.

A continuación, se nos abrirá la siguiente ventana:



Foto 22.- Recorte Epanet: Longitudes automáticas

Tomando la esquina inferior izquierda como punto de inicio, colocamos los valores obtenidos de comparar la imagen de fondo con los mapas del IGN.

A continuación, activamos a opción “Longitudes Automáticas” para que la longitud de las tuberías se calcule respecto a la imagen de fondo. De esta manera, tendremos una longitud de tuberías ajustada a la realidad.

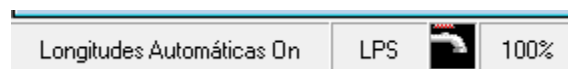


Foto 23.- Recorte Epanet: Longitudes automáticas

Debido a que:

- el depósito superior queda más lejos del pueblo que el recorte que hemos usado como fondo
- y que dibujar la tubería con longitud automática proporcionaría un estudio menos exacto.

Hemos procedido de la siguiente manera:

- Introducimos la cota real del depósito como ya hemos visto que se introducen las cotas.
- Medimos, con ayuda de Google maps, la distancia real del depósito al nudo al que conectaríamos las tuberías que salen de él. Pudiendo modificar manualmente el valor de longitud de dichas tuberías para obtener una simulación más real.



Plano 7.- Medición T50 en Google Maps



Plano 8.- Medición T58 en Google Maps

Una vez obtenidas las longitudes reales en Google Maps, procedemos a modificar las longitudes de las dos tuberías afectadas:

Como hemos hecho para modificar los nudos, hacemos doble "click" en el elemento que queremos modificar, en este caso la tubería T50, y modificamos su longitud con el valor obtenido en Google Maps.

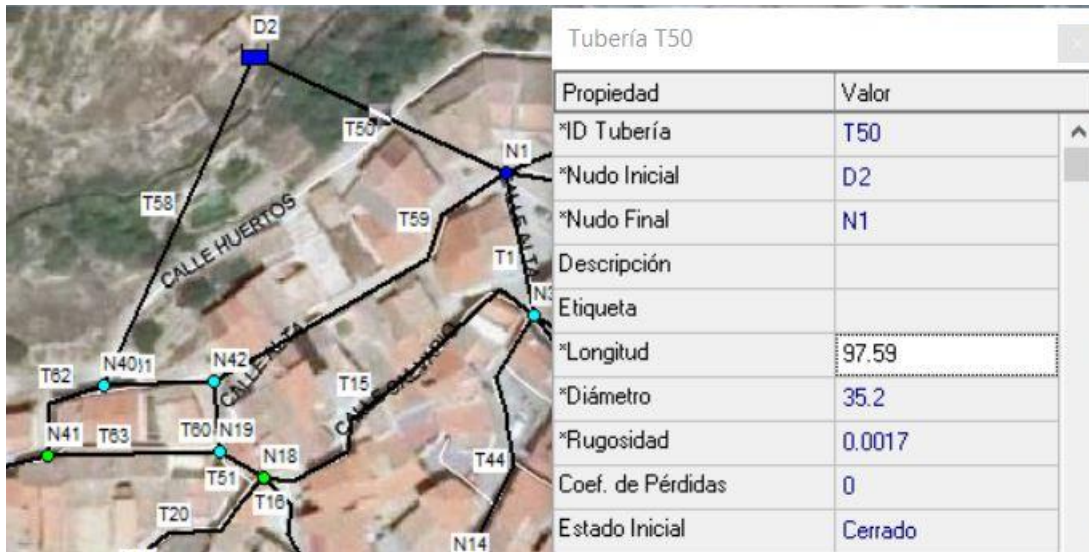


Foto 24.- Recorte Epanet: Modificación longitud tubería T50

De la misma manera, modificaremos la longitud de la tubería T58:



Foto 25.- Recorte Epanet: Modificación longitud tubería T58

Una vez acabada la modificación de cotas y longitudes, continuaremos con la carga del modelo.

5.2 CARGA DEL MODELO

Para realizar los cálculos necesarios para asignar la demanda correspondiente a cada nudo, necesitamos antes:

- Longitud de las tuberías
- Nudos (o embalses) a los que está conectada cada tubería.

Para obtener esta información podríamos:

- A. Crear una lista con todas las tuberías y rellenar individualmente, longitud, nudo inicial y nudo final
- B. Exportar la red desde Epanet a un bloc de notas y copiar esa información a una hoja de Excel.

Utilizaremos la opción B ya que nos supondrá un ahorro de tiempo y una menor probabilidad de cometer un error al introducir los datos manualmente y de uno en uno.

En la barra superior de Epanet, desplegamos el menú Archivo → Exportar → Red

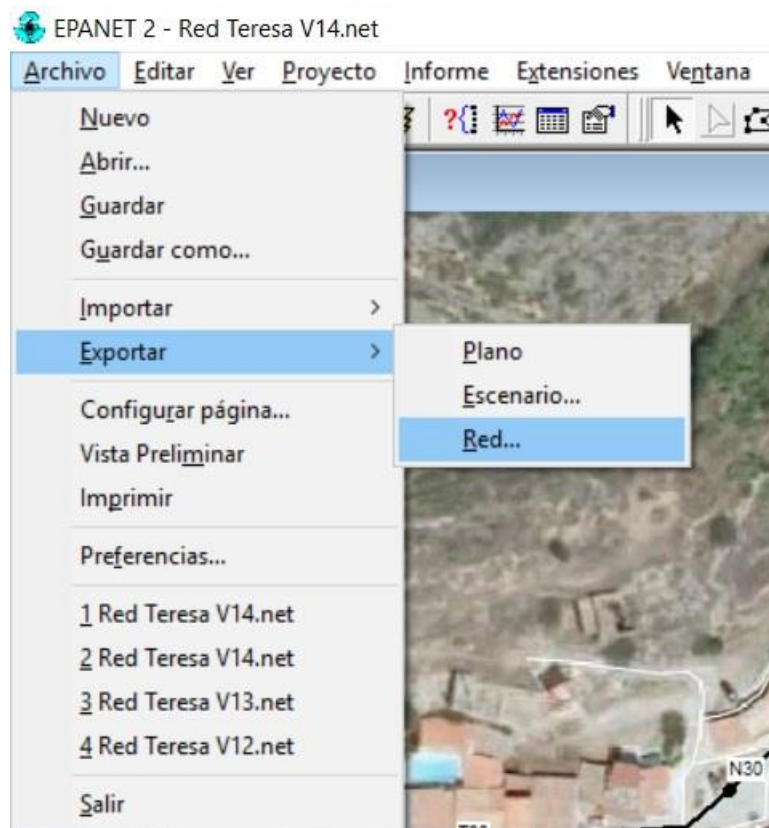


Foto 26.- Recorte Epanet: Exportar red

A continuación, guardamos el archivo:

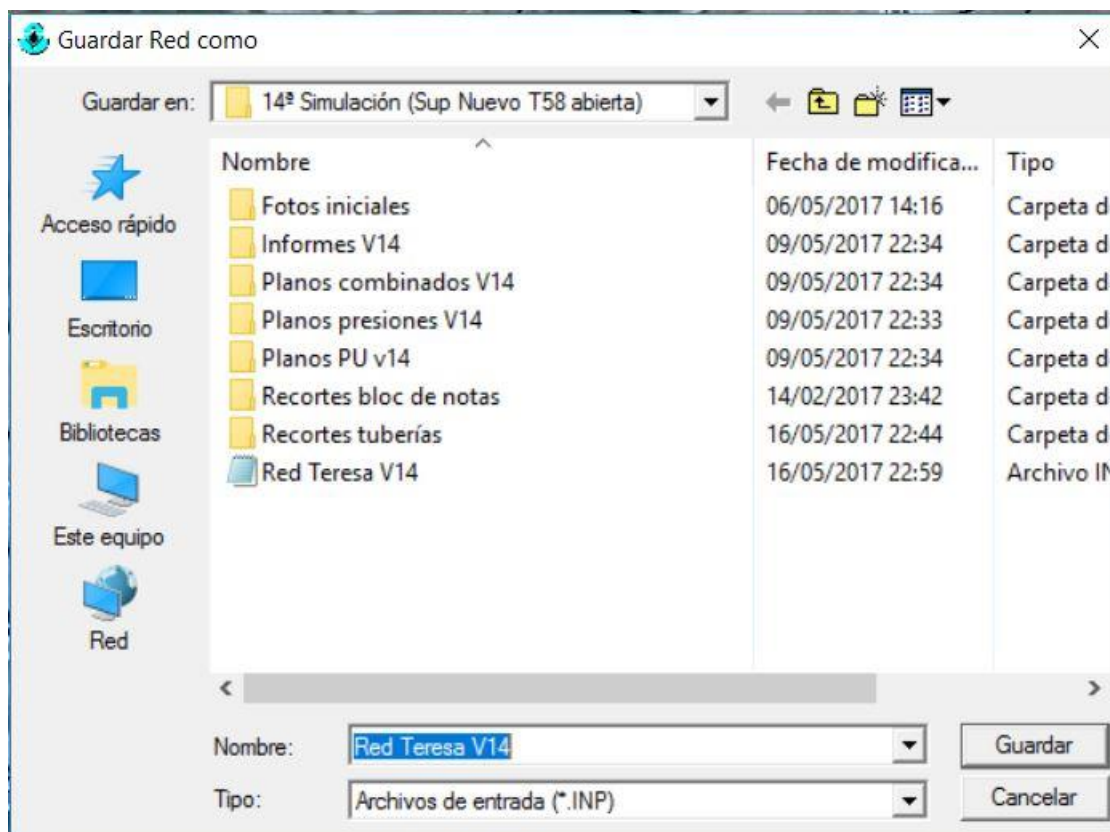


Foto 27.- Recorte Epanet: Guardar red exportada

Una vez exportada la red, la abrimos en el bloc de notas y seleccionamos la parte del archivo que hace referencia a las tuberías [PIPES], y las copiaremos en la primera hoja de nuestro archivo Excel.

[PIPES]								
;ID	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	MinorLoss	Status	
T1	N1	N3	26.76	35.2	0.0017		0 Open	;
T2	N2	N4	14.21	35.2	0.0017		0 Open	;
T3	N4	N5	37.24	35.2	0.0017		0 Open	;
T4	N5	N6	42.38	35.2	0.0017		0 Open	;
T5	N6	N9	148.47	35.2	0.0017		0 Open	;
T6	N7	N5	192.68	35.2	0.0017		0 Open	;
T7	N7	N11	5.24	35.2	0.0017		0 Open	;
T8	N7	N8	23.62	35.2	0.0017		0 Open	;
T9	N8	N10	15.50	35.2	0.0017		0 Open	;
T10	N10	N9	151.15	35.2	0.0017		0 Open	;
T11	N14	N8	48.75	35.2	0.0017		0 Open	;
T12	N15	N4	103.45	35.2	0.0017		0 Open	;
T13	N17	N16	15.35	35.2	0.0017		0 Open	;
T14	N14	N17	13.49	35.2	0.0017		0 Open	;
T15	N3	N18	67.61	35.2	0.0017		0 Open	;
T16	N18	N16	31.53	35.2	0.0017		0 Open	;
T17	N13	N20	39.65	35.2	0.0017		0 Open	;
T18	N20	N21	4.74	35.2	0.0017		0 Open	;
T19	N16	N21	35.89	35.2	0.0017		0 Open	;
T20	N18	N20	35.20	35.2	0.0017		0 Open	;

Foto 28.- Recorte Excel: Listado 1 de tuberías para asignación

T21	N21	N22	16.92	35.2	0.0017	0	Open	;
T22	N17	N24	41.69	35.2	0.0017	0	Open	;
T23	N24	N25	30.52	35.2	0.0017	0	Open	;
T24	N25	N10	44.48	35.2	0.0017	0	Open	;
T25	N24	N22	26.27	35.2	0.0017	0	Open	;
T26	N22	N23	40.15	35.2	0.0017	0	Open	;
T27	N13	N27	53.15	35.2	0.0017	0	Open	;
T28	N27	N26	23.22	35.2	0.0017	0	Open	;
T29	N26	N28	6.07	35.2	0.0017	0	Open	;
T30	N28	N29	82.64	35.2	0.0017	0	Open	;
T31	N29	N23	10.21	35.2	0.0017	0	Open	;
T32	N27	N30	45.03	35.2	0.0017	0	Open	;
T33	N30	N12	136.32	35.2	0.0017	0	Open	;
T34	N12	N31	99.43	35.2	0.0017	0	Open	;
T35	N28	N31	62.98	35.2	0.0017	0	Open	;
T36	N31	N32	17.46	35.2	0.0017	0	Open	;
T37	N32	N29	125.41	35.2	0.0017	0	Open	;
T38	N33	N22	37.53	35.2	0.0017	0	Open	;
T39	N33	N26	42.08	35.2	0.0017	0	Open	;
T40	N13	N33	19.37	35.2	0.0017	0	Open	;
T41	N23	N25	32.31	35.2	0.0017	0	Open	;
T42	N12	N34	14.55	35.2	0.0017	0	Open	;
T43	N32	N34	90.97	35.2	0.0017	0	Open	;
T44	N3	N14	52.36	35.2	0.0017	0	Open	;
T45	N35	N15	24.09	35.2	0.0017	0	Open	;
T46	N3	N35	55.75	35.2	0.0017	0	Open	;
T47	N3	N36	61.15	35.2	0.0017	0	Open	;
T48	N36	N35	24.34	35.2	0.0017	0	Open	;
T49	N36	N2	75.56	35.2	0.0017	0	Open	;
T50	D2	N1	97.59	35.2	0.0017	0	Closed	;
T51	N19	N18	9.67	35.2	0.0017	0	Open	;
T52	N15	N37	14.56	35.2	0.0017	0	Open	;
T53	N37	N14	34.03	35.2	0.0017	0	Open	;
T54	N37	N38	22.16	35.2	0.0017	0	Open	;
T55	N38	N11	11.59	35.2	0.0017	0	Open	;
T56	N1	N39	35.96	35.2	0.0017	0	Open	;

Foto 29.- Recorte Excel: Listado 2 de tuberías para asignación

T57	N39	N36	55.46	35.2	0.0017	0	Open	;
T58	D2	N40	99.86	35.2	0.0017	0	Closed	;
T59	N1	N42	68.63	35.2	0.0017	0	Open	;
T60	N42	N19	13.11	35.2	0.0017	0	Open	;
T61	N42	N40	20.49	35.2	0.0017	0	Open	;
T62	N40	N41	20.28	35.2	0.0017	0	Open	;
T63	N19	N41	31.83	35.2	0.0017	0	Open	;
T64	N41	N13	36.16	35.2	0.0017	0	Open	;
T65	D1	N1	50.44	35.2	0.0017	0	Open	;
T66	D1	N39	34.17	35.2	0.0017	0	Open	;

Foto 30.- Recorte Excel: Listado 3 de tuberías para asignación

Para la asignación de caudales, necesitaremos las columnas:

- ID
- Node 1 (nudo inicial)
- Node 2 (nudo final)
- Length (longitud)

Copiaremos estas columnas en otra hoja de Excel y ya podremos calcular los datos que necesitamos:

- Consumo unitario por metro de tubería en l/s: obtenido del cociente del consumo base medio anual entre la longitud total de las tuberías de la red.
- Consumo total de cada tubería: obtenido de multiplicar el consumo unitario del paso anterior por la longitud de cada tubería.
- Distribución entre los nudos de cada tubería: División del consumo de cada tubería entre dos y asignando este valor a los dos nudos que delimiten esa tubería.
- Caudal de carga para cada nudo: Suma de todos los consumos que recaigan sobre un nudo por ser este la confluencia de varias tuberías.
- Asignación del caudal obtenido para cada nudo como demanda base en Epanet:
Para asignar más rápidamente las demandas bases a cada uno de los nudos, generaremos un escenario con las demandas de los nudos.

La configuración de la página y los cálculos están explicados en el Anexo 1. Cálculos.

5.2.1 Importación de demandas base

Después de trabajar con el Libro de Excel y obtener las demandas base para cada nudo, y habiéndolas listado, el siguiente paso es introducir los valores en Epanet.

De la misma manera que en el apartado anterior necesitábamos extraer datos de Epanet, ahora necesitamos introducirlos. Para ello, disponemos de dos opciones:

- A. Introducir los valores individualmente en cada nudo.
- B. Exportar un escenario desde Epanet y modificarlo con nuestros valores de demanda.

Elegir la opción A, además del gasto en tiempo, supondría realizar los siguientes pasos en cada uno de los 42 nudos:

1. Seleccionar nudo
2. Desplegar sus propiedades
3. Abrir la hoja de Excel
4. Copiar el valor de demanda base
5. Volver a Epanet e introducir el valor.

Realizar todos estos pasos podría provocar errores graves en la asignación y así obtener un dimensionamiento incorrecto.

Por lo tanto, utilizaremos la opción B:

Exportar un escenario desde Epanet, modificarlo con nuestros valores de demanda e importarlo a Epanet.

En la barra de herramientas de Epanet desplegamos el menú Archivo → Exportar → Escenario

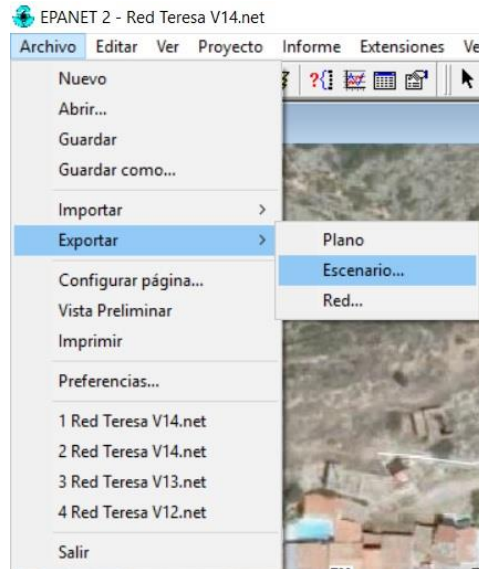


Foto 31.- Recorte Epanet: Exportar escenario

A continuación, se nos abrirá una ventana en la que Epanet nos dará distintas opciones a la hora de plantear el escenario. Seleccionamos “Demanda Nudos” y aceptamos.

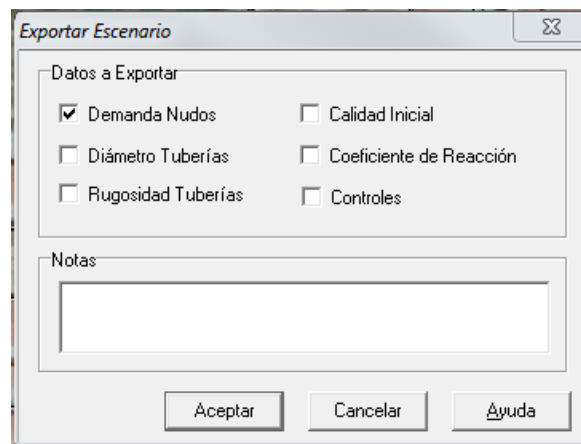


Foto 32.- Recorte Epanet: Selección de opciones de escenario

Por último, guardamos el archivo que se ha generado y la ventana se cerrará automáticamente.

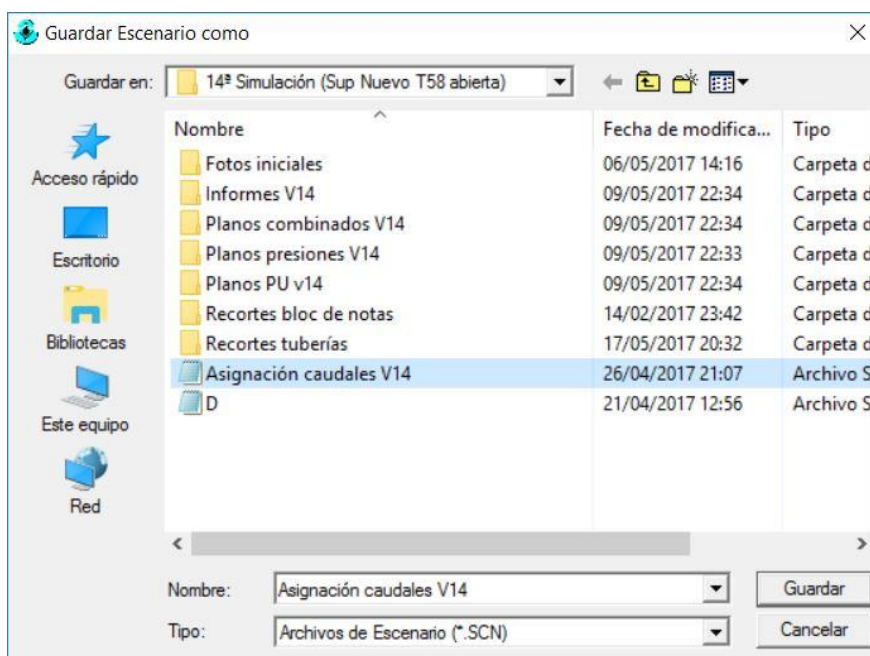


Foto 33.- Recorte Epanet: Guardar escenario exportado

Una vez exportado el escenario, lo pegamos en nuestra hoja de Excel y rellenamos las demandas de cada nudo, copiando la tabla nudo/demanda que hemos obtenido en el punto anterior:

NUDO	Demanda base (l/s)	[DEMANDS]			
		; Junction	Demand	Pattern	Category
N1	0,0859712558	N1	0.0859712557643816	CM2	
N2	0,0180567596	N2	0.0180567596218351	CM2	
N3	0,0530277770	N3	0.0530277769756532	CM2	
N4	0,0311573139	N4	0.0311573138623399	CM2	
N5	0,0547717015	N5	0.054771701515269	CM2	
N6	0,0383884658	N6	0.0383884657884285	CM2	
N7	0,0445615966	N7	0.0445615965982104	CM2	
N8	0,0176745847	N8	0.0176745846938916	CM2	
N9	0,0602669747	N9	0.0602669746896985	CM2	
N10	0,0424676803	N10	0.0424676802824779	CM2	
N11	0,0033852653	N11	0.00338526528278361	CM2	
N12	0,0503465181	N12	0.0503465181390813	CM2	
N13	0,0298357932	N13	0.0298357931904512	CM2	
N14	0,0298961366	N14	0.0298961366001264	CM2	
N15	0,0285826617	N15	0.0285826617161944	CM2	
N16	0,0166487467	N16	0.0166487467294117	CM2	
N17	0,0141867356	N17	0.01418673561466	CM2	

N18	0,0289668481	N18	0.028966848091127	CM2
N19	0,0109845120	N19	0.0109845120078914	CM2
N20	0,0160091066	N20	0.0160091065868537	CM2
N21	0,0115758774	N21	0.0115758774227093	CM2
N22	0,0243123598	N22	0.0243123597581732	CM2
N23	0,0166286323	N23	0.01662863225952	CM2
N24	0,0198087299	N24	0.0198087299494076	CM2
N25	0,0215848376	N25	0.0215848376408502	CM2
N26	0,0143556972	N26	0.0143556971617508	CM2
N27	0,0244189664	N27	0.0244189664485995	CM2
N28	0,0305116394	N28	0.0305116393788144	CM2
N29	0,0439018420	N29	0.0439018419857606	CM2
N30	0,0364775911	N30	0.0364775911487111	CM2
N31	0,0361798970	N31	0.036179896994313	CM2
N32	0,0470356764	N32	0.0470356763948972	CM2
N33	0,0199093023	N33	0.0199093022988664	CM2
N34	0,0212247886	N34	0.0212247886297877	CM2
N35	0,0209552547	N35	0.0209552547332381	CM2
N36	0,0435498388	N36	0.0435498387626548	CM2
N37	0,0142309874	N37	0.0142309874484219	CM2
N38	0,0067886336	N38	0.00678863358846981	CM2
N39	0,0321348771	N39	0.0321348770990796	CM2
N40	0,0483732886	N40	0.0483732886426994	CM2
N41	0,0177550426	N41	0.0177550425734587	CM2
N42	0,0205630226	N42	0.0205630225703487	CM2
TOTAL	1,247463217			

Tabla 8.- Asignación de demandas

Como hemos copiado y pegado el escenario de demandas desde el bloc de notas a Excel, el formato de columnas del bloc de notas se conserva. De esta manera, al copiar las demandas base calculadas en la parte derecha de la tabla, podremos pegarlo directamente en el bloc de notas sin tener problemas de formato al cargarlo más tarde en Epanet.

Asignación caudales V14: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

[DEMANDS]

Junction	Demand	Pattern	Category
N1	0.0859712557643816	CM2	
N2	0.0180567596218351	CM2	
N3	0.0530277769756532	CM2	
N4	0.0311573138623399	CM2	
N5	0.054771701515269	CM2	
N6	0.0383884657884285	CM2	
N7	0.0445615965982104	CM2	
N8	0.0176745846938916	CM2	
N9	0.0602669746896985	CM2	
N10	0.0424676802824779	CM2	
N11	0.00338526528278361	CM2	
N12	0.0503465181390813	CM2	
N13	0.0298357931904512	CM2	
N14	0.0298961366001264	CM2	
N15	0.0285826617161944	CM2	
N16	0.0166487467294117	CM2	
N17	0.01418673561466	CM2	
N18	0.028966848091127	CM2	
N19	0.0109845120078914	CM2	
N20	0.0160091065868537	CM2	
N21	0.0115758774227093	CM2	
N22	0.0243123597581732	CM2	
N23	0.01662863225952	CM2	
N24	0.0198087299494076	CM2	
N25	0.0215848376408502	CM2	
N26	0.0143556971617508	CM2	
N27	0.0244189664485995	CM2	
N28	0.0305116393788144	CM2	
N29	0.0439018419857606	CM2	
N30	0.0364775911487111	CM2	
N31	0.036179896994313	CM2	
N32	0.0470356763948972	CM2	
N33	0.0199093022988664	CM2	
N34	0.0212247886297877	CM2	
N35	0.0209552547332381	CM2	
N36	0.0435498387626548	CM2	
N37	0.0142309874484219	CM2	
N38	0.00678863358846981	CM2	
N39	0.0321348770990796	CM2	
N40	0.0483732886426994	CM2	
N41	0.0177550425734587	CM2	
N42	0.0205630225703487	CM2	

Foto 34.- Recorte bloc de notas: Escenario asignación de demandas

Una vez pegadas las demandas en el bloc de notas, guardamos el archivo y volvemos a Epanet. Esta vez, en el menú Archivo, seleccionaremos “importar” en lugar de “exportar” como habíamos hecho hasta ahora.

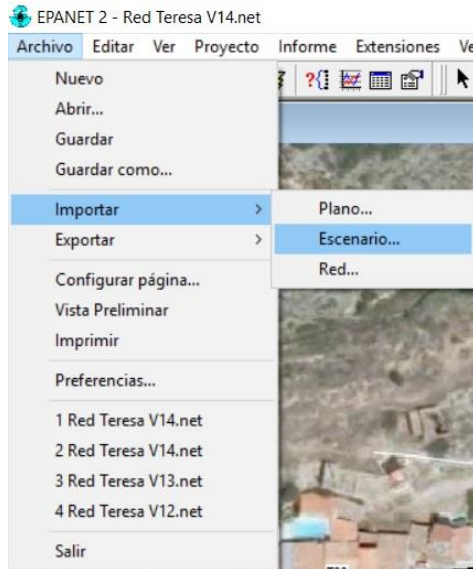


Foto 35.- Recorte Epanet: Importar escenario de asignación de demandas

Ahora ya tenemos asignadas las demandas base en cada nudo de nuestra red y podemos continuar.

5.2.2 Importación de diámetros y rugosidades

Si, por error, no hemos introducido el diámetro y la rugosidad antes de empezar a dibujar la red como hemos explicado anteriormente, podemos hacerlo importando un escenario.

Como para la asignación de demandas, primero exportamos un escenario seleccionando esta vez las opciones “diámetros” y “rugosidades”.

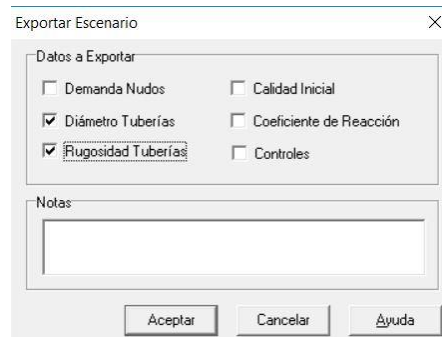


Foto 36.- Recorte Epanet: Selección de opciones de escenario

[DIAMETERS]	
; Pipe	Diameter
T1	35.2
T2	35.2
T3	35.2
T4	35.2
T5	35.2
T6	35.2
T7	35.2
T8	35.2
T9	35.2
T10	35.2
T11	35.2
T12	35.2
T13	35.2
T14	35.2
T15	35.2
T16	35.2
T17	35.2
T18	35.2
T19	35.2
T20	35.2
T21	35.2
T22	35.2
T23	35.2
T24	35.2
T25	35.2
T26	35.2
T27	35.2
T28	35.2
T29	35.2
T30	35.2
T31	35.2
T32	35.2
T33	35.2
T34	35.2
T35	35.2
T36	35.2
T37	35.2
T38	35.2
T39	35.2

[ROUGHNESS]	
; Pipe	Roughness
T1	0.0017
T2	0.0017
T3	0.0017
T4	0.0017
T5	0.0017
T6	0.0017
T7	0.0017
T8	0.0017
T9	0.0017
T10	0.0017
T11	0.0017
T12	0.0017
T13	0.0017
T14	0.0017
T15	0.0017
T16	0.0017
T17	0.0017
T18	0.0017
T19	0.0017
T20	0.0017
T21	0.0017
T22	0.0017
T23	0.0017
T24	0.0017
T25	0.0017
T26	0.0017
T27	0.0017
T28	0.0017
T29	0.0017
T30	0.0017
T31	0.0017
T32	0.0017
T33	0.0017
T34	0.0017
T35	0.0017
T36	0.0017
T37	0.0017
T38	0.0017
T39	0.0017

T40	35.2
T41	35.2
T42	35.2
T43	35.2
T44	35.2
T45	35.2
T46	35.2
T47	35.2
T48	35.2
T49	35.2
T50	35.2
T51	35.2
T52	35.2
T53	35.2
T54	35.2
T55	35.2
T56	35.2
T57	35.2
T58	35.2
T59	35.2
T60	35.2
T61	35.2
T62	35.2
T63	35.2
T64	35.2
T65	35.2
T66	35.2

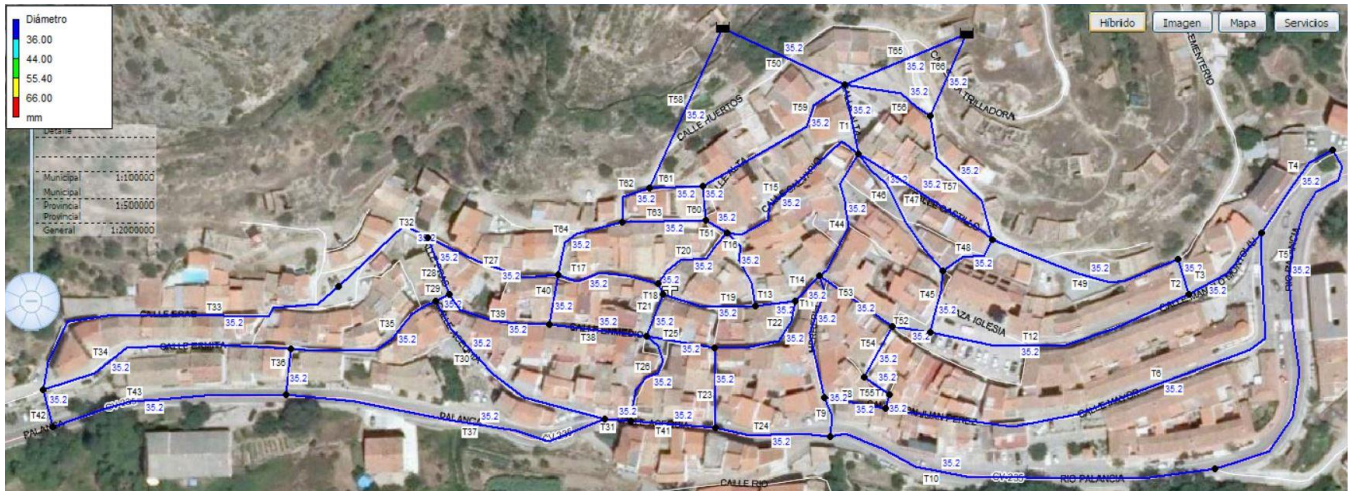
T40	0.0017
T41	0.0017
T42	0.0017
T43	0.0017
T44	0.0017
T45	0.0017
T46	0.0017
T47	0.0017
T48	0.0017
T49	0.0017
T50	0.0017
T51	0.0017
T52	0.0017
T53	0.0017
T54	0.0017
T55	0.0017
T56	0.0017
T57	0.0017
T58	0.0017
T59	0.0017
T60	0.0017
T61	0.0017
T62	0.0017
T63	0.0017
T64	0.0017
T65	0.0017
T66	0.0017

Tabla 9.- Recorte Excel: Importación de diámetros y rugosidades

Como hemos hecho para las demandas, sobrescribimos el archivo de bloc de notas que hemos exportado con los nuevos diámetros y rugosidades y lo importamos a Epanet.

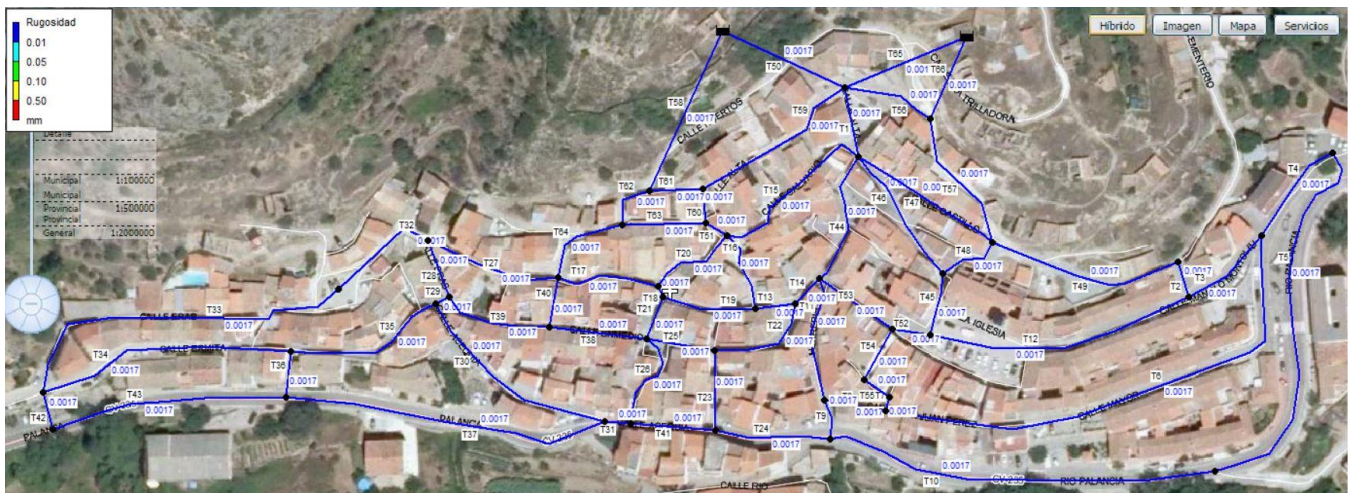
Antes de realizar ninguna simulación, hay que asegurarse de que todas las tuberías tienen el valor correcto de diámetro y rugosidad.

Para ello pediremos a Epanet que nos muestre primero el diámetro de las tuberías:



Plano 9.- Diámetro tuberías antes de iniciar la simulación

Y en segundo lugar las rugosidades:



Plano 10.- Rugosidad tuberías antes de iniciar la simulación

Si en alguno de los dos planos encontráramos una tubería de color diferente a las demás, sabríamos que habríamos cargado mal alguno de los datos. En el plano 9, sabríamos que alguna tubería no tendría el diámetro bien cargado. En el plano 10, el problema lo tendríamos con la rugosidad de alguna tubería.

5.2.3 Creación del patrón de demanda

A continuación desde el creador de patrones de demanda, se añadió la curva de modulación horaria CM2 para simular las variaciones en la demanda a lo largo de un día.



Foto 37.- Recorte Epanet: Editor de patrones, curva de modulación horaria

Hasta aquí tendríamos asignadas las variables que necesitamos para poder comenzar las distintas simulaciones;

- Nudos con sus cotas
- Longitudes de tubería
- Rugosidad de tubería
- Demanda base de cada nudo asignada
- Período de simulación

Una vez realizada toda la introducción de datos y factores ya podemos iniciar la simulación haciendo click sobre el rayo amarillo de la barra de herramientas.



Foto 38.- Recorte Epanet: Barra de herramientas

5.3 CÁLCULO DE DIÁMETROS EN HORA PUNTA

El objetivo de este trabajo, como ya se ha mencionado en apartados anteriores, es diseñar una red urbana de abastecimiento de agua. Para ello se debe diseñar la red con unos requisitos determinados, el primero de ellos es el que hace referencia el título del apartado: consumo en hora punta. Al diseñar una red tenemos que poder asegurar el suministro de la población en las horas más críticas para el consumo. Según la curva de modulación que hemos aplicado (CM2). La hora más crítica para el suministro en la población serían las 16:00h de la tarde.

Por lo tanto, el objetivo debe ser asegurar la mínima presión admisible que, según la norma UNE EN 805, es igual a 30 mca, en el mayor número posible de nudos de la red.

Para conseguir nuestro objetivo, probaremos con 3 configuraciones de red distintas en las que modificaremos la alimentación a la red por parte de los depósitos. Al comienzo de cada una de ellas se explicará con más detalle por qué tuberías se está inyectando agua a la red y a continuación se harán distintas simulaciones dentro de cada configuración.

Después de cada simulación, recogeremos los datos de presión en los nudos y pérdidas unitarias con la ayuda de un libro de Excel.

Epanet es capaz de proporcionarnos un informe completo en cada simulación:

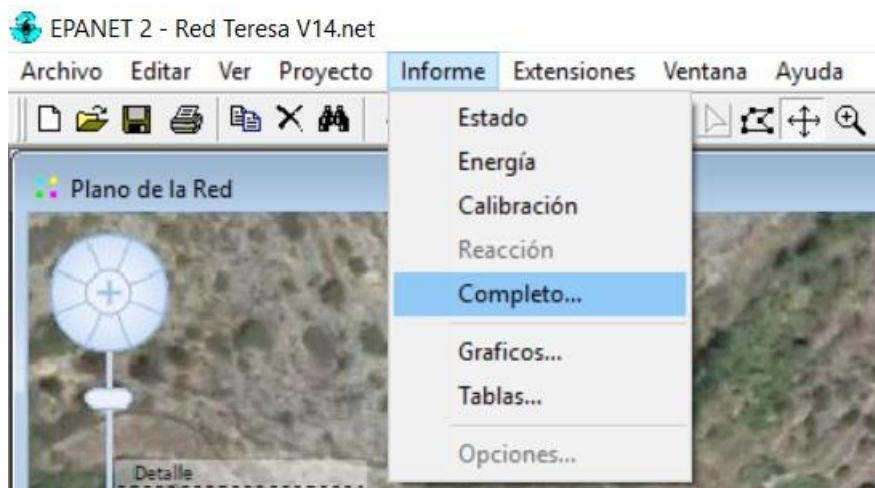


Foto 39.- Recorte Epanet: Informe completo

Después de guardar el informe, lo abrimos y seleccionaremos todos los datos sobre nudos y tuberías a las 16:00h para copiarlos en la hoja de Excel.

En el bloc de notas, podemos seleccionarlos todos de una vez, empezando en la línea que marca la "Página 43" ya que es donde empiezan los resultados de Nudos a las 16:00 h y llegando hasta la última tubería antes del cambio de hora.

Página 43

Resultados de Nudo en 16:00 Hrs:

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad
N1	0.14	658.44	7.44	0.00
N2	0.03	657.74	16.74	0.00
N3	0.08	657.92	14.92	0.00
N4	0.05	657.72	18.72	0.00
N5	0.09	657.64	19.64	0.00
N6	0.06	657.61	21.61	0.00
N7	0.07	657.64	32.14	0.00
N8	0.03	657.63	32.63	0.00
N9	0.10	657.59	34.59	0.00
N10	0.07	657.61	33.61	0.00
N11	0.01	657.65	31.65	0.00
N12	0.08	657.49	24.49	0.00
N13	0.05	657.61	20.61	0.00
N14	0.05	657.69	24.69	0.00
N15	0.05	657.73	23.73	0.00
N16	0.03	657.66	23.66	0.00
N17	0.02	657.66	25.66	0.00
N18	0.05	657.70	19.70	0.00
N19	0.02	657.71	17.71	0.00
N20	0.03	657.63	22.63	0.00
N21	0.02	657.63	23.63	0.00
N22	0.04	657.60	26.60	0.00
N23	0.03	657.57	33.57	0.00
N24	0.03	657.61	27.11	0.00
N25	0.03	657.60	33.60	0.00
N26	0.02	657.55	28.55	0.00
N27	0.04	657.55	23.55	0.00
N28	0.05	657.54	28.54	0.00
N29	0.07	657.55	34.05	0.00
N30	0.06	657.51	20.51	0.00
N31	0.06	657.50	27.50	0.00
N32	0.08	657.50	36.50	0.00
N33	0.03	657.60	26.10	0.00
N34	0.03	657.49	34.49	0.00
N35	0.03	657.86	20.86	0.00
N36	0.07	657.93	12.93	0.00
N37	0.02	657.69	24.19	0.00
N38	0.01	657.66	30.66	0.00
N39	0.05	658.70	10.70	0.00
N40	0.08	657.71	13.71	0.00
N41	0.03	657.69	18.69	0.00
N42	0.03	657.75	9.75	0.00
D2	0.00	680.00	0.00	0.00 Embalse
D1	-2.00	660.00	0.00	0.00 Embalse

Página 44

Resultados de Línea en 16:00 Hrs:

----- Foto 40.- Recorte bloc de notas: Informe parte 1 -----

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Estado
T1	0.72	0.74	19.37	Abierto
T2	0.19	0.20	1.93	Abierto
T3	0.20	0.20	2.07	Abierto
T4	0.11	0.11	0.77	Abierto
T5	0.05	0.05	0.14	Abierto
T6	0.00	0.00	0.00	Abierto
T7	-0.14	0.15	1.21	Abierto
T8	0.07	0.07	0.24	Abierto
T9	0.18	0.19	1.77	Abierto
T10	0.05	0.05	0.13	Abierto
T11	0.14	0.14	1.09	Abierto
T12	0.06	0.06	0.16	Abierto
T13	0.00	0.00	0.00	Abierto
T14	0.18	0.18	1.73	Abierto
T15	0.26	0.26	3.20	Abierto
T16	0.15	0.15	1.23	Abierto
T17	-0.10	0.10	0.55	Abierto
T18	0.07	0.07	0.24	Abierto
T19	0.12	0.12	0.89	Abierto
T20	0.19	0.20	1.99	Abierto
T21	0.17	0.18	1.64	Abierto
T22	0.16	0.16	1.36	Abierto
T23	0.08	0.08	0.31	Abierto
T24	-0.07	0.07	0.20	Abierto
T25	0.04	0.04	0.12	Abierto
T26	0.11	0.12	0.79	Abierto
T27	0.15	0.15	1.21	Abierto
T28	-0.01	0.01	0.02	Abierto
T29	0.11	0.12	0.81	Abierto
T30	-0.04	0.04	0.11	Abierto
T31	-0.20	0.20	2.07	Abierto
T32	0.11	0.12	0.78	Abierto
T33	0.05	0.06	0.15	Abierto
T34	-0.03	0.03	0.08	Abierto
T35	0.10	0.11	0.68	Abierto
T36	0.02	0.02	0.05	Abierto
T37	-0.09	0.09	0.42	Abierto
T38	-0.07	0.07	0.19	Abierto
T39	0.14	0.15	1.18	Abierto
T40	0.11	0.11	0.74	Abierto
T41	-0.11	0.12	0.79	Abierto
T42	0.00	0.00	0.01	Abierto
T43	0.03	0.03	0.08	Abierto
T44	0.31	0.32	4.43	Abierto
T45	0.34	0.35	5.26	Abierto
T46	0.13	0.14	1.06	Abierto

Foto 41.- Recorte bloc de notas: Informe parte 2

↑
 Página 45
 Resultados de Línea en 16:00 Hrs: (continuación)

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Estado
T48	0.24	0.25	2.88	Abierto
T49	0.22	0.23	2.46	Abierto
T50	0.00	0.00	0.00	Cerrado
T51	0.13	0.13	1.02	Abierto
T52	0.24	0.24	2.82	Abierto
T53	0.05	0.06	0.15	Abierto
T54	0.16	0.16	1.44	Abierto
T55	0.15	0.15	1.27	Abierto
T56	-0.41	0.42	7.24	Abierto
T57	0.59	0.61	13.83	Abierto
T58	0.00	0.00	0.00	Cerrado
T59	0.49	0.51	9.95	Abierto
T60	0.26	0.26	3.18	Abierto
T61	0.20	0.21	2.17	Abierto
T62	0.13	0.13	0.97	Abierto
T63	0.11	0.11	0.70	Abierto
T64	0.21	0.21	2.19	Abierto
T65	0.94	0.97	30.99	Abierto
T66	1.06	1.09	38.12	Abierto

Foto 42.- Recorte bloc de notas: Informe parte 3

Una vez seleccionados estos datos, los pegaremos en una hoja de Excel y con la ayuda de las fórmulas, listaremos por un lado nudos con sus respectivas presiones y por otro lado tuberías con sus respectivas pérdidas unitarias.

En la hoja de Excel, inicialmente, las únicas celdas que estarán escritas serán las que llevan los nombres de los nudos (N1, N2...) y de las tuberías (T1, T2...). Pegando los datos copiados desde el bloc de notas siempre en la misma celda, podemos crear fórmulas que extraigan los datos de presiones y tuberías sabiendo que las listas llevan el mismo orden tanto en Excel como en los datos del bloc de notas.

Para poder ordenarlos, Excel necesita que los datos sean números y no fórmulas, así que, preparamos un macro que seleccione las celdas donde están nuestros datos, copie estos datos, los pegue y les cambie los “puntos” por “comas decimales”.

A continuación, crearemos dos macros más que seleccionen:

1. La columna de presiones
2. La columna de pérdidas unitarias.

87							T27	0.15	0.15	1.21	Abierto
88							T28	-0.01	0.01	0.02	Abierto
89							T29	0.11	0.12	0.81	Abierto
90							<u>Foto 43.- Recorte Excel: Toma de datos</u>				
91							T31	-0.20	0.20	2.07	Abierto
92							T32	0.11	0.12	0.78	Abierto
93							T33	0.05	0.06	0.15	Abierto
94							T34	-0.03	0.03	0.08	Abierto
95							T35	0.10	0.11	0.68	Abierto
96							T36	0.02	0.02	0.05	Abierto
97							T37	-0.09	0.09	0.42	Abierto
98							T38	-0.07	0.07	0.19	Abierto
99							T39	0.14	0.15	1.18	Abierto
100							T40	0.11	0.11	0.74	Abierto
101							T41	-0.11	0.12	0.79	Abierto
102							T42	0.00	0.00	0.01	Abierto
103							T43	0.03	0.03	0.08	Abierto
104							T44	0.31	0.32	4.43	Abierto
105							T45	0.34	0.35	5.26	Abierto
106							T46	0.13	0.14	1.06	Abierto
107							T47	-0.06	0.07	0.18	Abierto

108													
109													
110													
111								Página		45			
112								Resultados	de	Línea	en	16:00	
113								-----					
114								ID	Caudal	Velocidad	Pérd.	Unit.	
115								Línea	LPS	m/s	m/km		
116								-----					
117							T48	0.24	0.25	2.88	Abierto		
118							T49	0.22	0.23	2.46	Abierto		
119							T50	0.00	0.00	0.00	Cerrado		
120							T51	0.13	0.13	1.02	Abierto		
121							T52	0.24	0.24	2.82	Abierto		
122							T53	0.05	0.06	0.15	Abierto		
123							T54	0.16	0.16	1.44	Abierto		
124							T55	0.15	0.15	1.27	Abierto		
125							T56	-0.41	0.42	7.24	Abierto		
126							T57	0.59	0.61	13.83	Abierto		
127							T58	0.00	0.00	0.00	Cerrado		
128							T59	0.49	0.51	9.95	Abierto		
129							T60	0.26	0.26	3.18	Abierto		
130							T61	0.20	0.21	2.17	Abierto		
131							T62	0.13	0.13	0.97	Abierto		
132							T63	0.11	0.11	0.70	Abierto		
133							T64	0.21	0.21	2.19	Abierto		
134							T65	0.94	0.97	30.99	Abierto		
135							T66	1.06	1.09	38.12	Abierto		
							T66	1.06	1.09	38.12	Abierto		

Foto 44.- Recorte Excel: Toma de datos

El motivo de ordenar las presiones de menor a mayor es tener una visión de cómo evoluciona la presión mínima en nuestra red y, además, contabilizar cuantos de los nudos están por encima de los 30 mca de presión. Por otro lado, hemos ordenado las tuberías en orden descendente de pérdidas unitarias, es decir, de mayor a menor.

El sentido de dar ese orden a las tuberías es ver cuál de ellas tiene mayor número de pérdidas unitarias y entonces aumentar el diámetro de esa tubería al siguiente mayor. Aumentar el diámetro de la tubería reduce el número de pérdidas unitarias y aumenta la presión en el nudo inicial de la tubería.

Visto de otra manera, aumentar el diámetro reduce la velocidad en el interior de la tubería, lo que reduce por ende el caudal y las pérdidas unitarias. Por lo tanto, la presión aumenta. Este punto está explicado en el Anexo 2. Teoría de flujo a presión

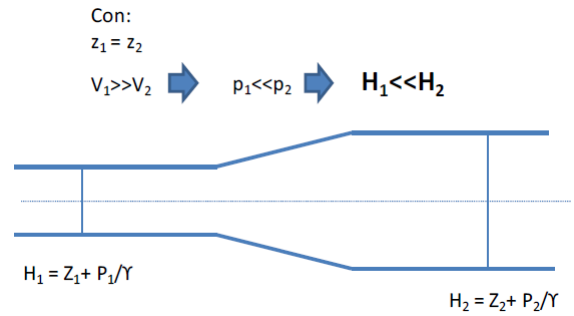


Foto 45.- Línea de alturas piezométricas creciente

5.3.1 Configuración de red nº1

En esta primera configuración, las tuberías T58 y T50 que conectan el **depósito superior nuevo** estarán cerradas. Con esta configuración, se pretende simular como sería el abastecimiento de la red solamente con el **depósito superior viejo**, sin ayuda del **depósito superior nuevo**.

Para cerrar estas tuberías, simplemente tenemos que hacer doble “click” en la tubería que queremos modificar y cambiar su estado de “abierto” a “cerrado”.

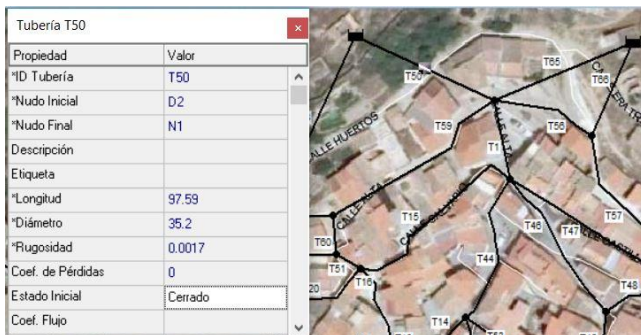


Foto 46.- Recorte Epanet: T50 cerrada

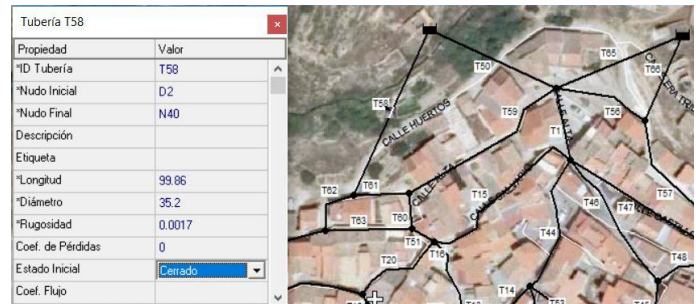


Foto 47.- Recorte Epanet: T58 cerrada



Plano 11.- Configuración de red nº1 (T58 y T50 cerradas)

Según los datos introducidos en Epanet, el resultado de la simulación inicial es el siguiente:



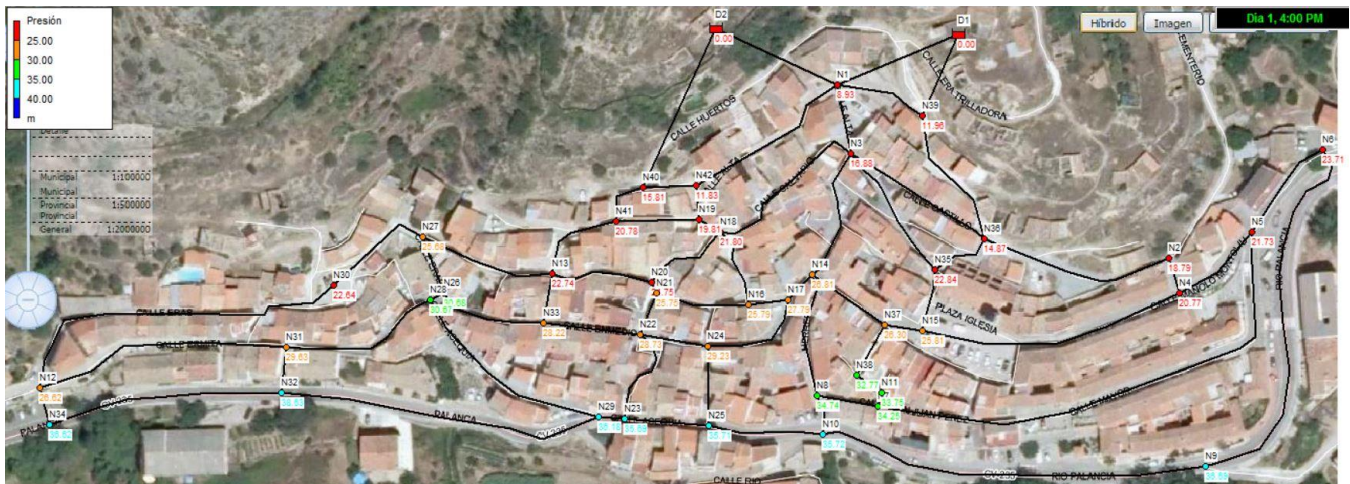
Plano 12.- Presiones en simulación inicial configuración n°1



Plano 13.- Pérdidas unitarias en simulación inicial configuración n°1

Tras 20 simulaciones (los planos de esas simulaciones están en el **Anexo X. Simulaciones intermedias**), podemos concluir que:

Los cambios de diámetro en las distintas tuberías no producen grandes cambios de presión y la línea de tendencia no muestra que vaya a mejorar a corto plazo en las siguientes simulaciones.



Plano 14.- Presiones en simulación 20 configuración n°1

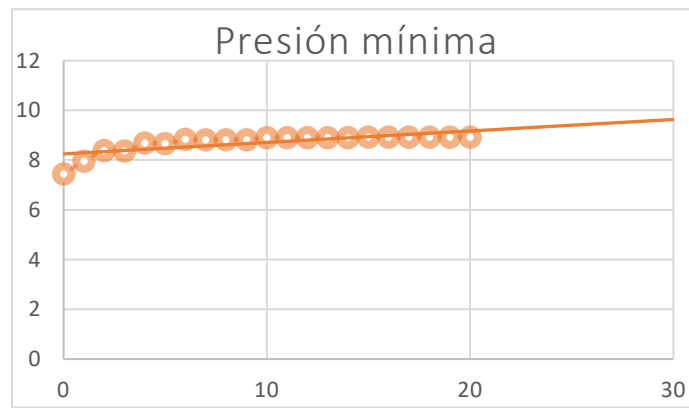
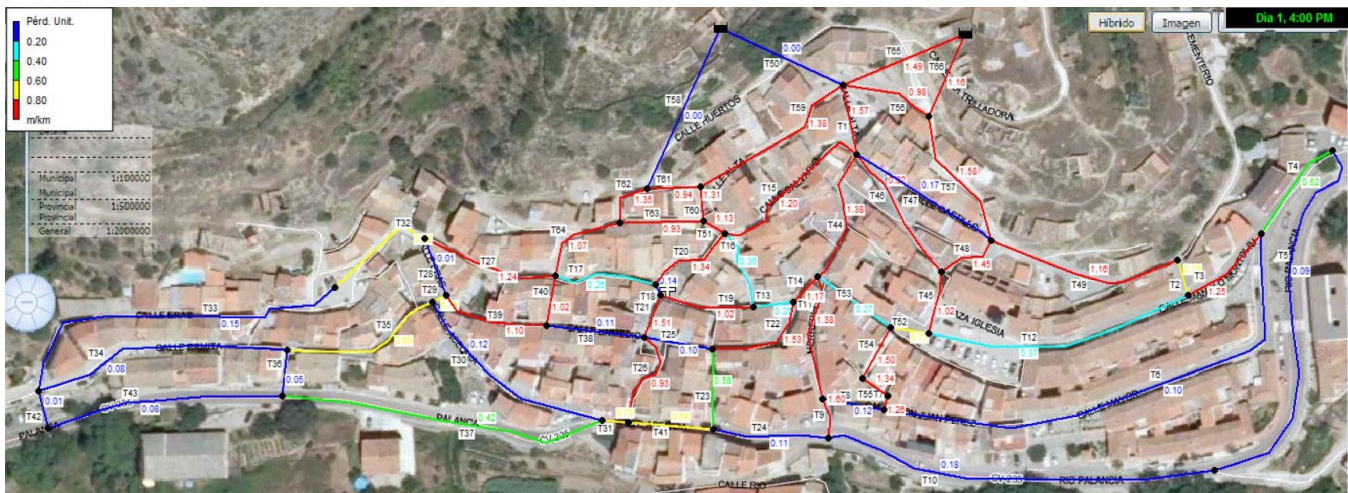


Gráfico 1.- Evolución y tendencia presiones configuración de red n°1

En la simulación inicial de la configuración de red n°1, el número de nudos de la red cuyas presiones eran superiores a 30 mca eran 11. Después de 20 simulaciones, los nudos con presiones superiores a 30 mca son 13.

Por otra parte, los valores máximos de pérdidas unitarias cada vez son más cercanos a 0. Si las pérdidas unitarias llegaran a 0, tendríamos que parar esta simulación debido a que, precisamente, es la existencia de pérdidas unitarias lo que nos permite compensarlas aumentando los diámetros y así obtener mayores presiones.



Plano 15.- Pérdidas unitarias en simulación 20 configuración n°1

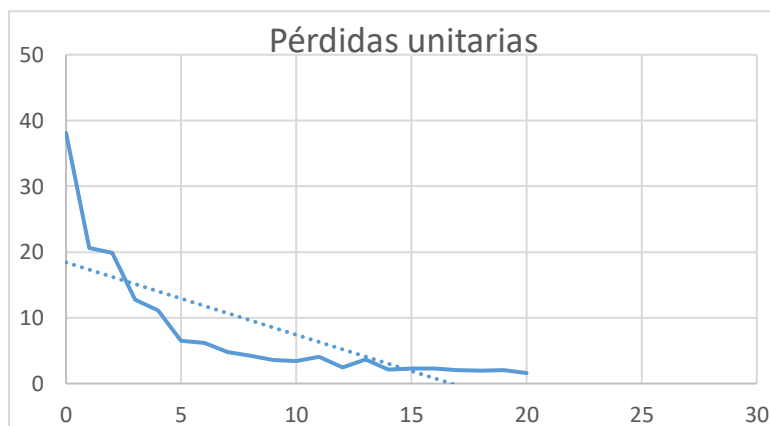
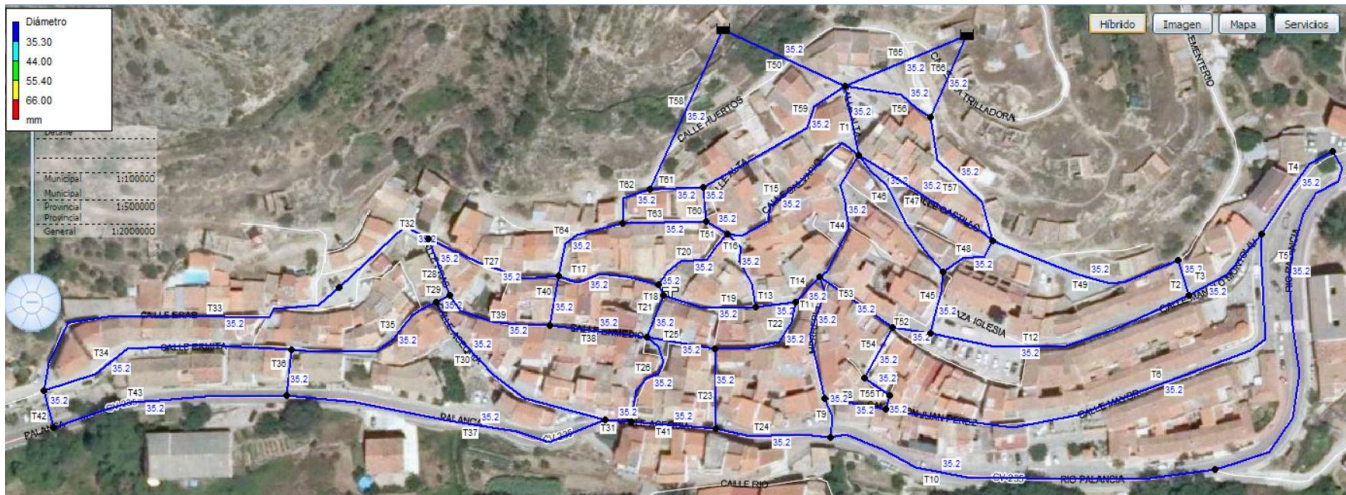


Gráfico 2.- Evolución y tendencia pérdidas unitarias configuración de red n°1

Viendo los resultados de las simulaciones para la configuración de red nº1, tendremos que utilizar el **depósito superior nuevo**. Por lo tanto, habrá que abrir alguna de las dos tuberías que conectan este depósito con la red.

5.3.2 Configuración de red nº2

Antes de empezar con esta segunda configuración de red, tenemos que devolver el diámetro inicial a todas tuberías. Para ello, de la misma manera que lo hemos hecho en apartados anteriores, importaremos un escenario con el diámetro inicial.



Plano 16.- Reinicio a diámetro inicial

En esta segunda configuración, permitiremos que el **depósito superior nuevo** aporte agua a la red por una de las dos tuberías que lo comunican con la red. Concretamente, cambiaremos el estado de la tubería T50 de “cerrado” a “abierto”.

Propiedad	Valor
*ID Tubería	T50
*Nudo Inicial	D2
*Nudo Final	N1
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	97.59
*Diámetro	35.2
*Rugosidad	0.0017
Coef. de Pérdidas	0
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	

Foto 48.- Recorte Epanet: Apertura tubería T50

Una vez reiniciados los diámetros de las tuberías y abierta la tubería T50, procedemos a simular.



Plano 17.- Presiones en simulación inicial configuración n°2

En esta configuración observamos que, hay 13 nudos por encima de la presión objetivo. Esto iguala el mejor resultado obtenido en las simulaciones de la configuración de red n°1. Por lo tanto, podemos afirmar que esta configuración es mejor que la configuración de red n°1



Plano 18.- Pérdidas unitarias en simulación inicial configuración n°2

Después de 38 simulaciones encontramos el siguiente problema:

La hoja de Excel nos muestra que la siguiente tubería necesitaría un diámetro mayor de 700 mm. Esto no es posible con los materiales con los que estamos trabajando en este proyecto, por lo tanto, habría que detener las simulaciones con esta configuración.

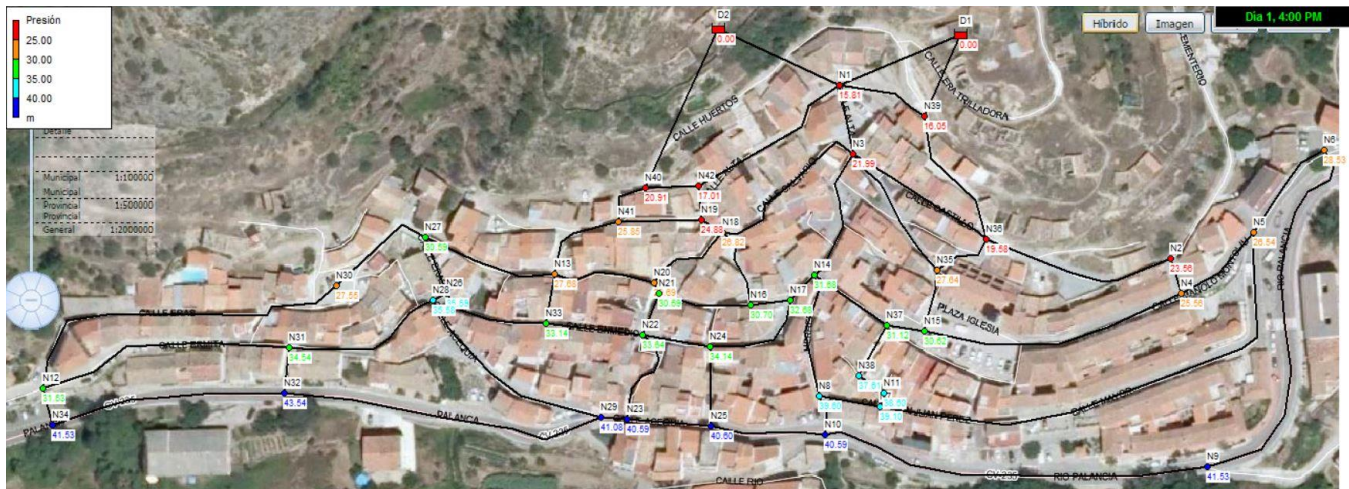
	A	B	C	D	E	F	G
1							
2	Simulación	Presión mínima	Nudo mín (P)	Tubería con + pérdidas	Valor pérdidas (m/km)	D actual	D siguiente (a colocar para simular)
3	0	N1	9,52	T50	199,59	35,2	44
4	1	N1	11,98	T50	174,38	44	55,4
5	2	N39	17,17	T65	167,42	35,2	44
6	3	N1	14,97	T50	143,75	55,4	66
7	4	N39	18,59	T65	208,72	44	55,4
8	5	N1	16,04	T65	139,57	55,4	66
9	6	N1	13,44	T50	159,45	66	79,2
10	7	N39	17,22	T65	168,86	66	79,2
11	8	N1	14,24	T50	151,23	79,2	96,8
12	9	N39	18,17	T65	196,55	79,2	96,8
13	10	N1	14,84	T50	145,06	96,8	110,2
14	11	N39	17,43	T65	174,86	96,8	110,2
15	12	N1	15,11	T50	142,32	110,2	123,4
16	13	N39	17,35	T65	172,63	110,2	123,4
17	14	N1	15,29	T50	140,53	123,4	141
18	15	N39	17,81	T65	186,14	123,4	141
19	16	N1	15,44	T50	138,97	141	158,6
20	17	N39	17,66	T65	181,77	141	158,6
21	18	N1	15,54	T50	137,96	158,6	176,2
22	19	N39	17,53	T65	177,89	158,6	176,2
23	20	N1	15,6	T50	137,29	176,2	225
24	21	N39	19,27	T65	228,43	176,2	225
25	22	N1	15,68	T50	136,46	225	250
26	23	N39	17,71	T65	183,23	225	250
27	24	N1	15,71	T50	136,13	250	300
28	25	N39	19,07	T65	222,67	250	300
29	26	N1	15,75	T50	135,75	300	350
30	27	N39	18,61	T65	209,38	300	350
31	28	N1	15,77	T50	135,54	350	400
32	29	N39	18,26	T65	199,44	350	400
33	30	N1	15,79	T50	135,41	400	450
34	31	N39	18	T65	191,76	400	450
35	32	N1	15,79	T50	135,33	450	500
36	33	N39	17,79	T65	185,68	450	500
37	34	N1	15,8	T50	135,28	500	600
38	35	N39	19,12	T65	224,58	500	600
39	36	N1	15,8	T50	135,21	600	700
40	37	N39	18,64	T65	210,64	600	700
41	38	N1	15,81	T50	135,18	700	0

Foto 49.- Recorte Excel: Tabla de cambios en diámetros

Esta tabla nos ayuda a saber a qué diámetro aumentar la tubería que ha tenido el mayor valor de pérdidas unitarias. Desde una lista adyacente, esta tabla comprueba que diámetro tiene la tubería que introducimos, y te sugiere el siguiente mayor.

De esta manera llevamos un seguimiento de las tuberías que han sido modificadas y que diámetro tienen actualmente.

Viendo las líneas de tendencia de presión y pérdidas unitarias, también observamos que no habría cambios sustanciales ni mejoras en próximas simulaciones.



Plano 19.- Presiones en simulación 38 configuración n°2

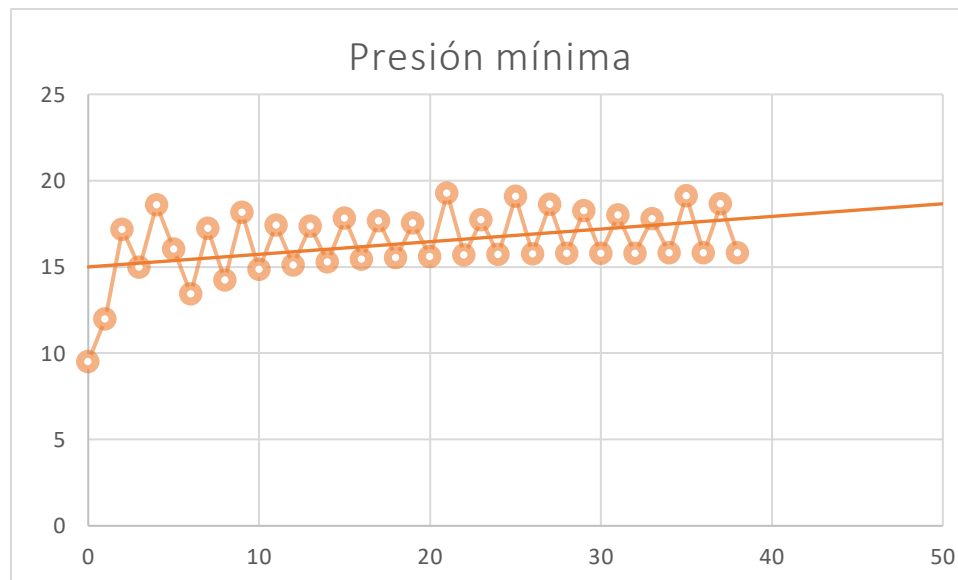
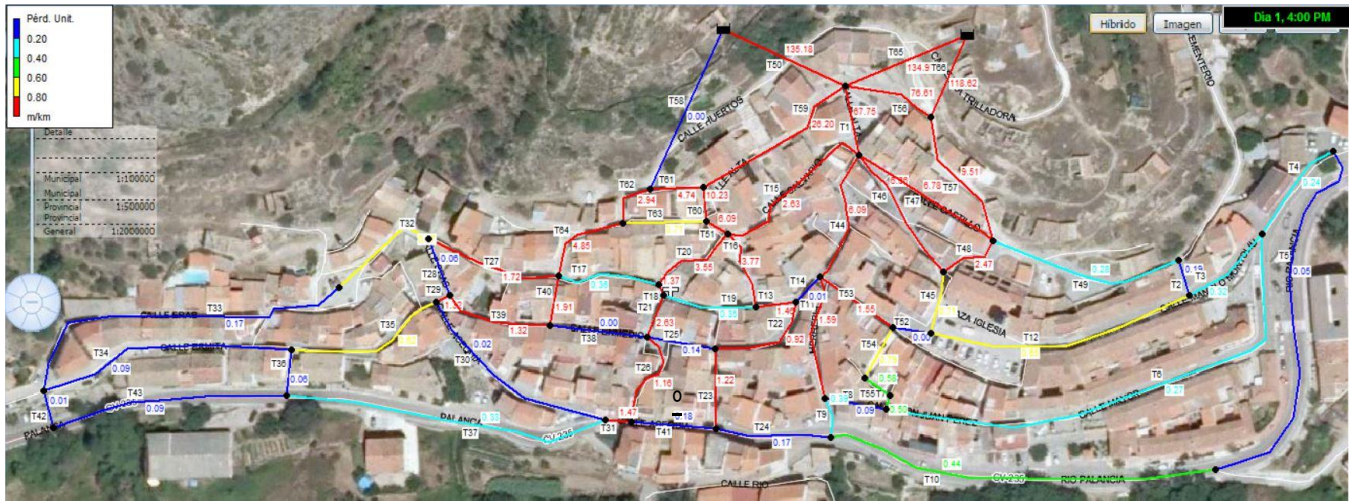


Gráfico 3.- Evolución y tendencia presiones configuración de red n°2

Con esta configuración, hemos conseguido que sean 25 los nudos que están por encima de la presión objetivo. Si tuviéramos que elegir entre las dos configuraciones, la configuración de red n°2 sería la elegida aun habiendo llegado hasta el límite de diámetro de materiales.



Plano 20.- Pérdidas unitarias en simulación 38 configuración n°2

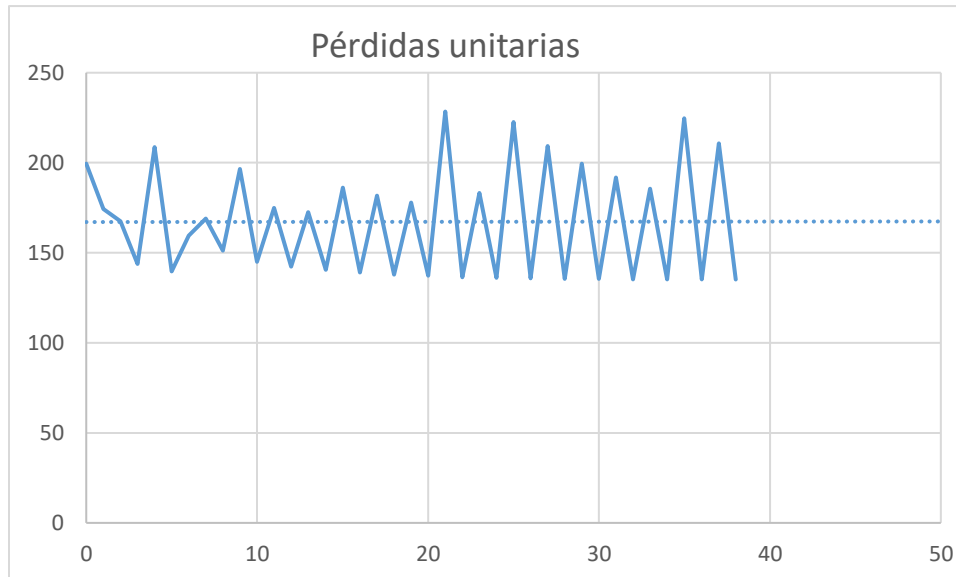


Gráfico 4.- Evolución y tendencia pérdidas unitarias configuración de red n°2

El número de pérdidas unitarias es alto, pero, no tiene una tendencia descendente.

5.3.3 Configuración de red nº3

En esta configuración, la tubería que abriremos para dejar que el **depósito superior nuevo** aporte agua a la red será la tubería T58.

De la misma forma que para empezar con la segunda configuración, tendremos que devolver todos los diámetros a su valor inicial.

También, tendremos que cerrar la tubería T50 que ha estado abierta para la configuración de red nº2 y finalmente abrir la tubería T58.

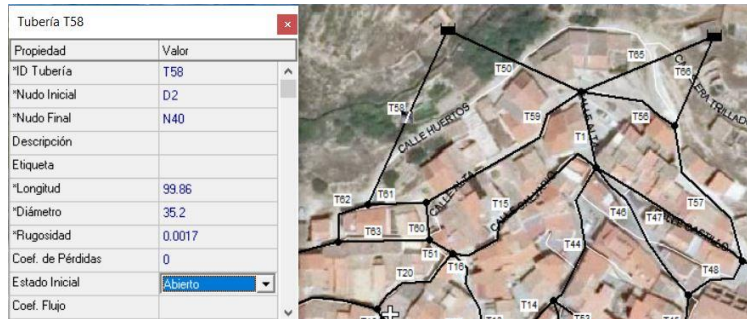


Foto 50.- Recorte Epanet: Tubería T58 abierta

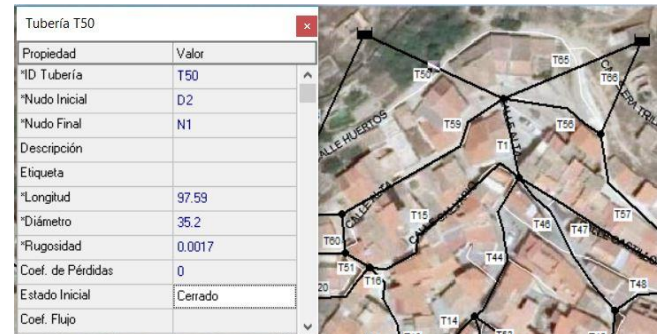


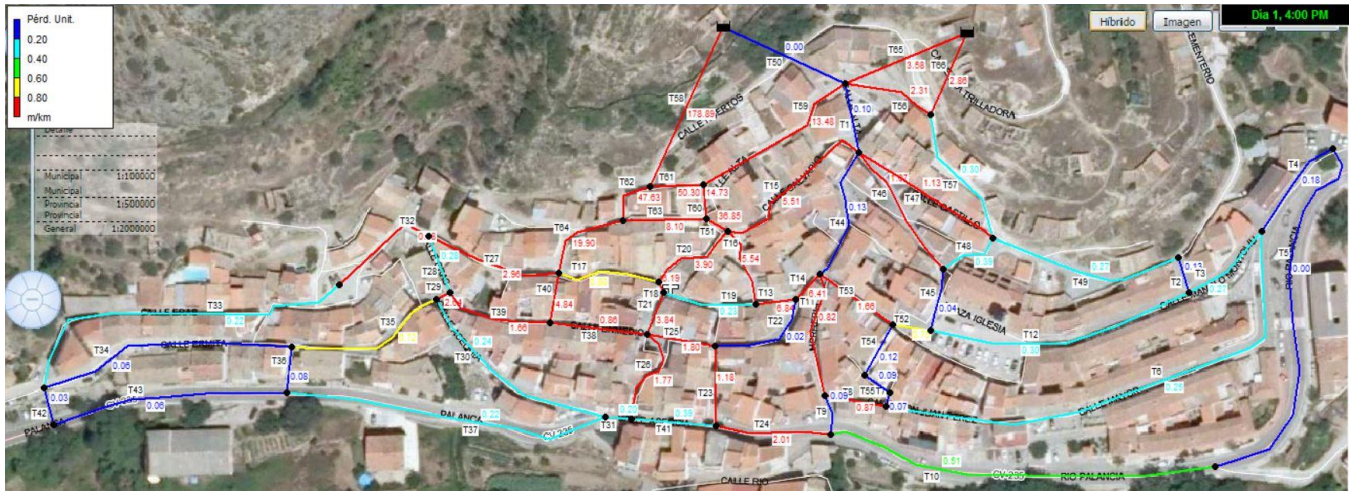
Foto 51.- Recorte Epanet: Tubería T50 cerrada

Una vez cerrada la tubería T50 y abierta la tubería T58 podemos empezar con las simulaciones.



Plano 21.- Presiones en simulación inicial configuración nº3

Con la configuración de red nº3, encontramos 14 nudos por encima de la presión objetivo. No supera el resultado de 25 nudos por encima de la presión objetivo que alcanzó la simulación 38 de la configuración de red nº2, pero, es el mejor de los tres comienzos.



Plano 22.- Pérdidas unitarias en simulación inicial configuración n^o3

Tras 46 simulaciones, consultables en el Anexo 3. Simulaciones intermedias, éste fue el resultado:



Plano 23.- Presiones en simulación 46 configuración n^o3

En la simulación 46 de la configuración n^o3, encontramos el máximo de nudos por encima de la presión objetivo: 35.

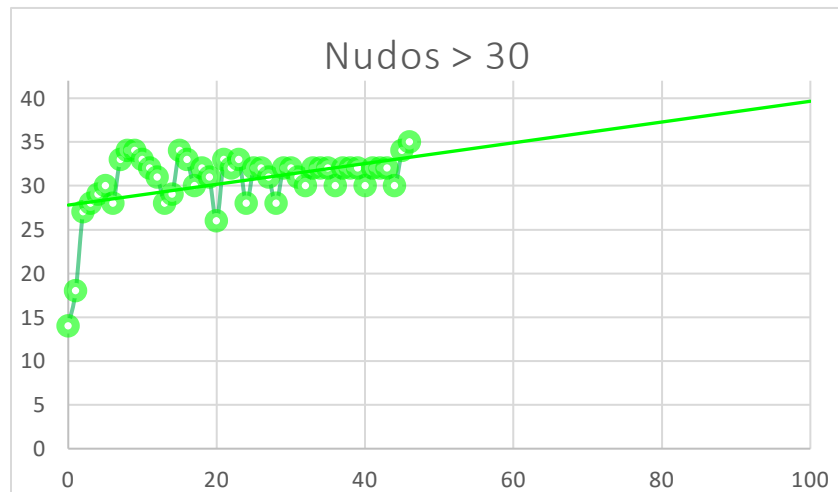


Gráfico 5.- Evolución y tendencia nudos por encima de presión objetivo configuración n^o3

NUDO	Presión
N1	15,13
N39	15,18
N36	22,58
N3	25,16
N42	26,48
N2	27,16
N4	29,28
N5	30,45
N35	31,09
N40	31,40
N6	32,50
N19	33,64
N30	34,37
N15	34,48
N18	34,65
N13	34,93
N41	35,36
N37	35,39
N14	36,43
N20	36,81
N27	37,46
N16	37,47
N21	37,63
N12	38,21
N17	38,59
N33	40,07
N22	40,32
N24	40,33
N31	41,22
N38	41,97
N28	42,35
N26	42,41
N11	43,01
N7	43,53
N8	44,37
N10	45,52
N9	45,85
N25	46,68
N23	47,10
N29	47,63
N34	48,21
N32	50,20

Además de tener 35 nudos por encima de la presión objetivo, de los 7 restantes:

- El valor de presión del nudo N4 es 29,28 que está muy cercano a la presión objetivo.
- Los nudos N1 y N39 están a la salida de los depósitos por lo tanto no ponen en peligro el suministro.
- Los nudos N3, N42 y N2 están por encima de 25 mca que es una presión aceptable para el suministro.

Por lo tanto, el más crítico sería el nudo N36 que está situado en una zona de pajares y aperos, si bien es cierto que su presión es relativamente baja.



Plano 24.- Pérdidas unitarias simulación 46 configuración de red n°3.

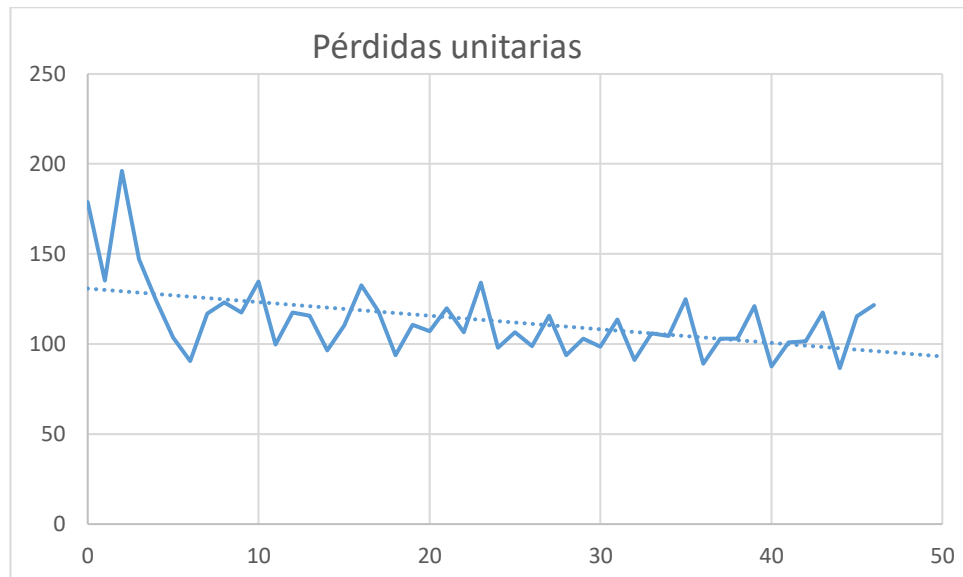


Gráfico 6.- Evolución y tendencia pérdidas unitarias configuración n°3

Después de evaluar los resultados obtenidos en esta última simulación, podríamos determinar que es la correcta para introducir en el pueblo ya que:

- Hemos conseguido que 35 de los 42 nudos estén por encima de la presión objetivo.
- Los demás nudos que no alcanzan la presión objetivo no están en zonas críticas del pueblo.

Además, continuar modificando diámetros aumentaría el coste de la red, y con 35 nudos cuya presión supera los 30 mca conseguiríamos un suministro óptimo por todo el pueblo.

6 CONCLUSIONES

Después de realizar las simulaciones necesarias con las tres configuraciones que hemos planteado, podemos decir que la mejor de las configuraciones y, por tanto, la que sería aplicable al pueblo de Teresa, es la configuración nº3.

Además de los datos que hemos conseguido de presión en los puntos de la red, elegir este planteamiento nos generaría también otras ventajas:

Puesto que en el planteamiento de red que hemos hecho, los depósitos que surten a la población son los superiores, podríamos anular los depósitos inferiores porque hemos demostrado que la red sería capaz de soportarlo.

Esto nos generaría otra ventaja, ya que, se podría conseguir que los depósitos superiores se llenaran directamente del manantial del Nano, lo que nos evitaría tener que bombear el agua de los depósitos inferiores hacia los superiores como se hace ahora. El ahorro en el consumo eléctrico sería notable y además eliminaríamos los problemas derivados del desgaste que puedan sufrir las bombas.

7 ANEXOS

ANEXO 1: Cálculos

7.1 CÁLCULOS

7.1.1 Cálculo para la asignación de caudales:

7.1.1.1 Consumo unitario

Para asignar la demanda base correspondiente a cada nudo primero calcularemos el **caudal unitario** para cada tubería, dividiendo el caudal medio anual entre la longitud total de las tuberías de nuestra red.

Q _{m.anual}	1,247	l/seg.
L _{total}	3100,91	m
Q _{unitario}	0,00040229	l/seg. /m

7.1.1.2 Consumo total de cada tubería

Para saber el caudal que circula por esa tubería, multiplicamos el **caudal unitario** por la longitud de cada tubería.

Tubería	Longitud (m)	Caudal (l/seg)
T1	26,76	0,011
T2	14,21	0,006
T3	37,24	0,015
T4	42,38	0,017
T5	148,47	0,060
T6	192,68	0,078
T7	5,24	0,002
T8	23,62	0,010
T9	15,50	0,006
T10	151,15	0,061
T11	48,75	0,020
T12	103,45	0,042
T13	15,35	0,006
T14	13,49	0,005
T15	67,61	0,027

T16	31,53	0,013
T17	39,65	0,016
T18	4,74	0,002
T19	35,89	0,014
T20	35,20	0,014
T21	16,92	0,007
T22	41,69	0,017
T23	30,52	0,012
T24	44,48	0,018
T25	26,27	0,011
T26	40,15	0,016
T27	53,15	0,021
T28	23,22	0,009
T29	6,07	0,002
T30	82,64	0,033
T31	10,21	0,004
T32	45,03	0,018
T33	136,32	0,055
T34	99,43	0,040
T35	62,98	0,025
T36	17,46	0,007
T37	125,41	0,050
T38	37,53	0,015
T39	42,08	0,017
T40	19,37	0,008
T41	32,31	0,013
T42	14,55	0,006
T43	90,97	0,037
T44	52,36	0,021
T45	24,09	0,010
T46	55,75	0,022
T47	61,15	0,025
T48	24,34	0,010
T49	75,56	0,030
T50	97,59	0,039
T51	9,67	0,004
T52	14,56	0,006
T53	34,03	0,014
T54	22,16	0,009
T55	11,59	0,005
T56	35,96	0,014
T57	55,46	0,022
T58	99,86	0,040

T59	68,63	0,028
T60	13,11	0,005
T61	20,49	0,008
T62	20,28	0,008
T63	31,83	0,013
T64	36,16	0,015
T65	50,44	0,020
T66	34,17	0,014
TOTAL	3100,91	1,24746322

7.1.1.3 Distribución entre los nudos de cada tubería

Para obtener las demandas de cada nudo, dividiremos el consumo de cada tubería entre 2 y asignaremos ese valor a cada uno de los nudos. Para eso, rellenaremos la primera fila del Excel con los 42 nudos.

Mediante una fórmula copiada en la matriz, le daremos la orden a Excel para que busque el nudo que haya en la primera celda de cada columna en las columnas “entrada” y “salida”. Cada vez que Excel encuentre esa coincidencia, buscará en la columna “caudal (l/seg)” y dividirá el valor entre 2 por tener cada tubería un inicio y un final.

No ocurrirá lo mismo en los nudos que sean el final de una tubería que empieza en un embalse. En estos casos, el nudo final recibirá todo el caudal de la tubería de la que sea el nudo final.

Como un nudo puede ser el final y el inicio de infinitas tuberías, debemos sumar todos los caudales de los nudos y así sabremos la demanda a asignar a cada uno. La suma de todos los caudales se encuentra en la última fila de la matriz.

Tubería	Entrada	Salida	Caudal (l/seg)	Entrada	Salida	Caudal (l/seg)	...	Caudal (l/seg)
T59	N1	N2	0,014	N2	N3	0,014		
T60	N1	N4	0,0025	N4	N5	0,0025		
T61	N1	N6	0,004	N6	N7	0,004		
T62	N1	N8	0,004	N8	N9	0,004		
T63	N1	N10	0,0065	N10	N11	0,0065		
T64	N1	N12	0,0075	N12	N13	0,0075		
T65	N1	N14	0,01	N14	N15	0,01		
T66	N1	N16	0,007	N16	N17	0,007		
TOTAL								

Esta tabla se encuentra en el archivo Excel de cada una de las configuraciones. Por el tamaño, no se ha podido incorporar a la versión de papel, pero es consultable en el DVD.

7.1.1.4 Caudal de carga para cada nudo

En la última fila de las tablas anteriores (en negrita) está la suma de todos caudales para esos nudos.

Ahora los listaremos de la misma manera en la que Epanet lo hace para poder asignar los caudales mediante un bloc de notas en lugar de hacerlo de nudo en nudo en Epanet.

NUDO	Demanda base (l/s)
N1	0,0859712558
N2	0,0180567596
N3	0,0530277770
N4	0,0311573139
N5	0,0547717015
N6	0,0383884658
N7	0,0445615966
N8	0,0176745847
N9	0,0602669747
N10	0,0424676803
N11	0,0033852653
N12	0,0503465181
N13	0,0298357932
N14	0,0298961366
N15	0,0285826617
N16	0,0166487467
N17	0,0141867356
N18	0,0289668481
N19	0,0109845120
N20	0,0160091066
N21	0,0115758774
N22	0,0243123598
N23	0,0166286323
N24	0,0198087299
N25	0,0215848376
N26	0,0143556972
N27	0,0244189664
N28	0,0305116394
N29	0,0439018420
N30	0,0364775911
N31	0,0361798970
N32	0,0470356764
N33	0,0199093023
N34	0,0212247886
N35	0,0209552547

NUDO	Demanda base (l/s)
N36	0,0435498388
N37	0,0142309874
N38	0,0067886336
N39	0,0321348771
N40	0,0483732886
N41	0,0177550426
N42	0,0205630226
TOTAL	1,247463217

En esta tabla vemos las demandas bases para cada nudo obtenidas mediante la suma de las mitades de los caudales unitarios de cada una de las tuberías que está conectada a un nudo concreto.

ANEXO 2:

Teoría del flujo a presión

7.2 TEORÍA DEL FLUJO A PRESIÓN

7.2.1 Introducción:

Los apartados siguientes en los que se trata sobre

- Pérdidas de carga en las tuberías
- Pérdidas de carga localizadas
- Línea de altura geométrica, piezométrica y total

Han sido extraídos del material de la asignatura Fluidos impartida en el Grado en Ingeniería Mecánica por miembros del ITA UPV

7.2.1.1 CALCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN LAS TUBERÍAS

Un análisis cualitativo de la pérdida de energía unitaria ($J = h_f/L$) debida al rozamiento del fluido con las paredes de la tubería, permite evidenciar su dependencia de un conjunto de parámetros:

- Dos de carácter geométrico que, obviamente, tienen unidades de longitud. Por orden de importancia el diámetro de la tubería (D) al que es muy sensible y la rugosidad, ϵ , la longitud media de las discontinuidades de la pared que la constituye (tal vez por ello convendría hablar de “aspereza” de las paredes de la conducción). Y, obviamente, si nos referimos a la pérdida de energía total, h_f , en un tramo de tubería de longitud L , habrá un tercer parámetro de carácter geométrico que intervendrá en su determinación (h_f), la referida longitud L .
- Uno de carácter cinemático: Mayor velocidad de circulación del fluido, V , (que equivale a un mayor caudal Q transportado) también genera una mayor pérdida de carga unitaria del sistema. Si el régimen de circulación del fluido es turbulento ($Re > 4000$), la pérdida varía con el cuadrado de la velocidad, mientras que si es laminar resulta proporcional a la primera potencia de la velocidad.
- Dos dependientes del fluido. En concreto de la viscosidad μ y del peso específico, γ , producto de densidad, ρ , por la aceleración de la gravedad, g , es decir $\gamma = \rho \cdot g$. Alternativamente estas dos variables (μ y γ) pueden ser representadas por otras dos, densidad ρ y viscosidad cinemática ν (recuérdese $\nu = \mu/\rho$)

En definitiva, de manera cualitativa, se puede establecer la expresión cualitativa:

$$J = \frac{h_f}{L} = J(D, \epsilon, V, \nu, g)$$

Algunas de estas variables intervienen en la pérdida de carga de manera indirecta a través del coeficiente adimensional de fricción (f). Es el caso de la rugosidad y la viscosidad. Otras, es el caso de la velocidad y del diámetro, tienen mucho mayor protagonismo toda vez que de una parte influyen en el valor del coeficiente de fricción y, de otra, también figuran de manera explícita en la ecuación de Darcy – Weisbach que es la que, finalmente, permite concretar el valor de la pérdida de energía. En definitiva:

$$J = \frac{h_f}{L} = \frac{f V^2}{D 2g}$$

El coeficiente, o factor de fricción, cual se ha dicho, depende cuatro variables que se pueden agrupar en dos parámetros adimensionales. De este modo se puede establecer:

$$f = f(\epsilon, D, V, \vartheta) = f\left(\frac{\epsilon}{D}, \frac{VD}{\vartheta}\right) = f(\epsilon_r, R_E)$$

El segundo de los parámetros adimensionales es el conocido número de Reynolds, RE , un indicador que pondera la influencia de las fuerzas de inercia (proporcionales al cuadrado de la velocidad) con las viscosas (proporcionales a la velocidad). De otra parte, el cociente entre rugosidad absoluta y diámetro, llamado rugosidad relativa, permite valorar la influencia de la aspereza de la tubería. Porque es evidente que la misma rugosidad absoluta no perturba el flujo del mismo modo en tuberías de diferente diámetro. Cuanto mayor es su tamaño, menos influyen las discontinuidades existentes en la pared de la conducción.

Queda ya una única cuestión pendiente, el cálculo del coeficiente de fricción f . Cuando el flujo es turbulento lo proporciona la ecuación (8.9), una relación a la que Colebrook y White llegaron por vía semiempírica. Es una expresión a resolver mediante iteraciones sucesivas, toda vez que el factor de fricción figura de manera explícita. Cual se constata, figura en los dos términos

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{R_e \sqrt{f}}\right) = -2 \log\left(\frac{\epsilon_r}{3.7} + \frac{2.51}{R_e \sqrt{f}}\right)$$

Conviene comprobar que cuando el fluido circulante es agua, el número de Reynolds casi con seguridad indicará que el régimen es turbulento. Al ser la viscosidad del agua a 20 °C, $\nu = 10^{-6}$, el número de Reynolds resulta $Re = 10^6 \cdot D \cdot V$ (m) V(m/s). Como quiera que cuanto menor sea el diámetro menor es el Reynolds, la hipótesis más desfavorable corresponde a las tuberías más estrechas que podamos encontrar en la práctica, las de las instalaciones interiores de una vivienda. Unos 10 mm = 0,01 m. En ellas el Reynolds resultante es 10.000 V por lo que sólo para valores inferiores a 0.4 m/s sería inferior a 4000 el umbral que ya no garantiza la turbulencia del flujo.

Entre este límite superior del Reynolds (4000) y el umbral de garantía del régimen laminar, 2400, el flujo puede ser laminar o turbulento, dependiendo de circunstancias externas (como el nivel de las perturbaciones externas que la tubería soporte). Ya por debajo de 2400, cual se ha dicho, el flujo es laminar en cuyo caso el factor de fricción ya no depende de la rugosidad de la tubería siendo función exclusiva del número de Reynolds, todo ello de acuerdo con la relación característica del régimen laminar, conocida como relación de Poiseuille:

$$f = \frac{64}{R_e} = \frac{64\vartheta}{VD}$$

La sustitución de este valor del factor de fricción f en la fórmula de Darcy - Weisbach evidencia que, en régimen laminar, la pérdida de carga es proporcional a la primera potencia de la velocidad de acuerdo con la expresión que sigue:

$$J = \frac{h_f}{L} = \frac{64\theta}{VD} \frac{V^2}{2g} = \frac{64\theta}{2gD^2} V = kV$$

razón por la cual, rozamiento es viscoso es el proporcional a la primera potencia de la velocidad. Sin embargo, conviene subrayar que en un flujo turbulento y, contrariamente a lo que pudiera parecer, el flujo no es, estrictamente hablando, siempre proporcional a la velocidad. Lo sería si el factor de fricción no dependiese también de la velocidad (a través del número de Reynolds). Como quiera que al aumentar Re el factor de fricción f disminuye, es proporcional a V^{2-n} , con n tendiendo a cero a medida que la turbulencia aumenta y el valor de f tiende a un valor constante. En el diagrama de Moody se aprecia con claridad la zona en la que f se independiza del valor del número de Reynolds y sólo depende de la rugosidad relativa. Es la parte del diagrama situada a la derecha de la zona de puntos (turbulencia completa, tuberías rugosas).

La incomodidad de calcular el factor de fricción f por procedimientos iterativos le ha otorgado un notable protagonismo al diagrama de Moody (sobre todo antes de que el uso de los ordenadores digitales popularizara) que no es sino la representación de tal relación. Cual se ve, a partir de los dos parámetros adimensionales de los que el factor de fricción depende, de inmediato se determina el valor de f . En la figura se visualiza el cálculo para una tubería de fundición (de acuerdo con la leyenda, cast iron) de 600 mm de diámetro, con una rugosidad relativa de 0.26 mm. En consecuencia, la rugosidad relativa será 0.00043. Si la velocidad del fluido en la tubería es 1 m/s (caudal transportado 282 l/s), el número de Reynolds es 600.000, resultando un factor de fricción ligeramente superior a 0.017.

Con el diagrama de Moody, pues, se soslaya con sencillez el tedioso cálculo de f por la expresión de Colebrook y White. Con todo, existen excelentes simplificaciones de esta expresión y que permiten calcular directamente el valor del coeficiente de fricción. De entre todas destaca la de Swamee y Jain que, de hecho, es la que utiliza EPAnet en su algoritmo de cálculo.

$$f = \frac{0.25}{\left[\text{Log} \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

La sustitución de los valores precedentes en esta expresión proporciona, efectivamente, un factor de fricción $f = 0.0172$, análogo al que se obtiene a partir del adjunto diagrama de Moody.

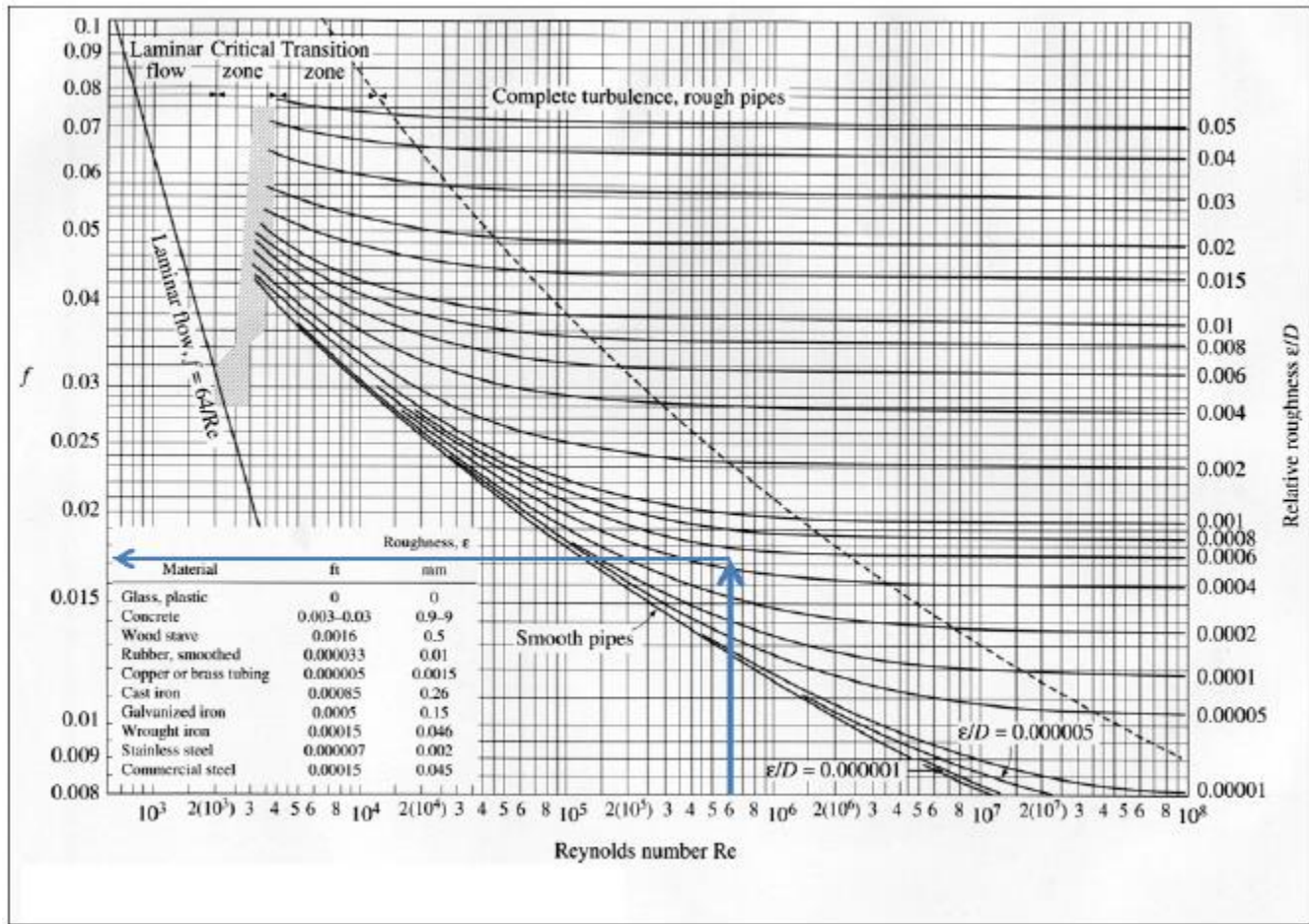


Diagrama de Moody para el cálculo del factor de fricción

En el diagrama de Moody se detallan, conviene insistir en ello, cuatro zonas bien diferenciadas.

- La primera es la que corresponde al régimen laminar, una recta debido a la escala logarítmica con que se representa el diagrama de Moody.
- La segunda zona es la crítica y corresponde al intervalo $2400 < Re < 4000$ en que el carácter del flujo no se sabe a priori cuál es. Ya se ha dicho que la existencia de perturbaciones externas (como vibraciones de la tubería provocadas por cargas exteriores) puede propiciar una anticipada transición al régimen turbulento. En cualquier caso, y cual se ve, en esta zona el factor de fricción no se puede concretar.
- La tercera zona es la de transición. En ella el flujo ya es turbulento, pero, cual se ve, el factor de fricción f es muy sensible al valor del número de Reynolds (piénsese en la escala logarítmica del diagrama), disminuyendo de manera notable su valor. Es en esta zona en la que la pérdida de carga no es proporcional al cuadrado de la velocidad ya comentada anteriormente.
- Por último, encontramos la zona turbulenta en la que el factor de fricción tiende a independizarse del número de Reynolds y prácticamente es función exclusiva de la rugosidad, particularmente a medida que su valor aumenta.

En el diagrama de Moody está representada por las líneas horizontales en las que el factor de fricción cualquiera sea el número de Reynolds, siempre es el mismo. De este modo a cada rugosidad relativa le corresponde un valor del coeficiente de fricción.

Ya para concluir comentar que existen otras expresiones que permiten calcular el factor de fricción. Entre todas ellas destacan las dos que también contempla el programa EPAnet (ver en las opciones

Hidráulicas el desplegable “fórmula de pérdidas”). Además de la Darcy – Weisbach (que en el programa figura como D-W), otras dos se contemplan. La de Hazen Williams (H-W en EPAnet), que es la expresión que habitualmente se utiliza en los USA y en el Reino Unido (en EPAnet es la primera opción). Su sistema de unidades es el sajón (y no en el SI, habitual en toda Europa, excepción hecha del Reino Unido). La tercera es la de Chezy - Manning (C-M en EPAnet) y que es, ya se ha visto, la más habitual en canales. Pero también se utiliza en tuberías a presión.

7.2.1.2 PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS

Aunque en diámetros pequeños, se pueden tender longitudes notables de tuberías de plástico sin necesidad de recurrir a accesorios de unión (un tubo de notable longitud se enrolla en un carrete), a partir de determinados diámetros en tuberías de plástico y siempre en el resto de materiales (fundición, acero, hormigón,...) las conducciones se fabrican en tubos, generalmente de 6 m de longitud, que posteriormente hay que enlazar con juntas y uniones para adecuar el tendido de la conducción a las necesidades del trazado. A tal efecto, así como para cambiar de diámetro, se necesitan diversos accesorios. En ellos se generan pérdidas que denominaremos localizadas.

Estos elementos son absolutamente necesarios. Uniones, codos (de ángulos diversos), conos de reducción que permiten adecuar el diámetro de la conducción a las necesidades, “tes” que permiten dividir una tubería de notable diámetro en otras de menor entidad y, en fin, entronques de las tuberías en los depósitos de alimentación del sistema son solo algunos de la infinidad de elementos que en la práctica encontramos. Y a todos estos elementos complementarios aún hay que añadir las válvulas de corte y regulación que permiten dirigir el flujo en la dirección que interese o, en fin, variar el caudal circulante, así como otros muchos tipos de válvulas. En definitiva, un sistema hidráulico a presión lo conforman, además de tramos de tuberías rectas, un sinfín de elementos complementarios y válvulas.

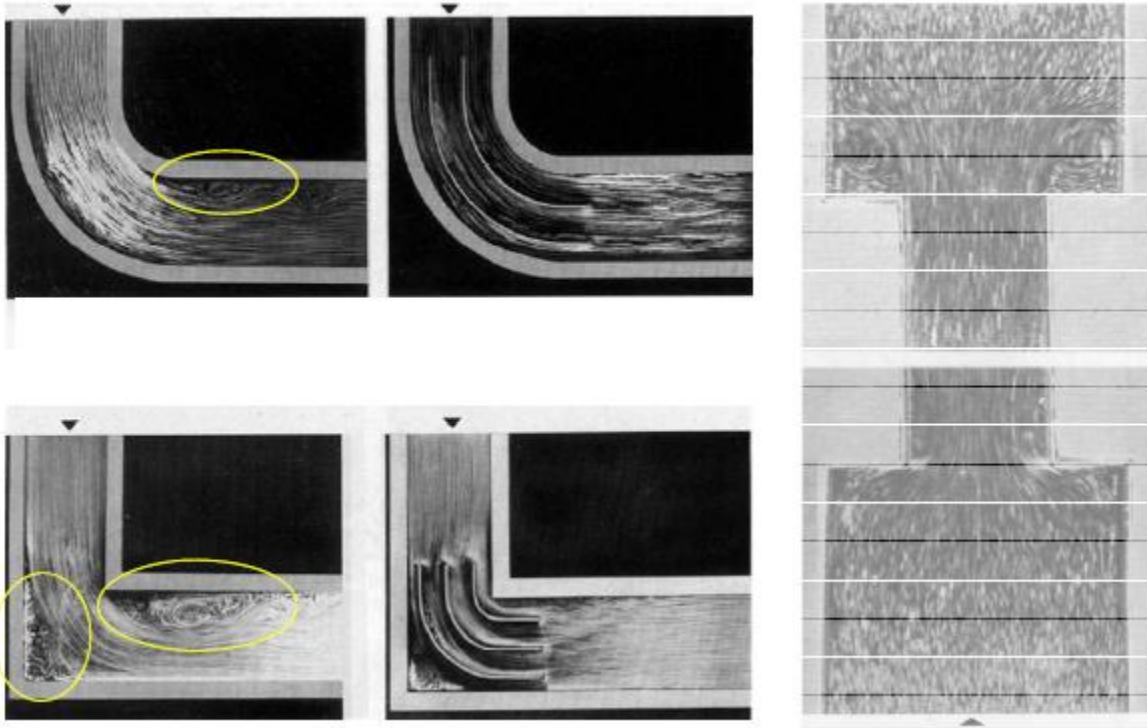
En todos estos elementos el flujo se perturba (en mayor o menor medida, según el elemento) y, por ello, se genera una pérdida de energía localizada en sus inmediaciones. De ahí el nombre de pérdida localizada, también en ocasiones denominada pérdida menor (en contraposición a las pérdidas por fricción en las tuberías, generalmente llamadas mayores y que ya se han explicado en el epígrafe precedente). Conviene, con todo, subrayar que el término pérdida menor es en algunas ocasiones contradictorio porque estas pérdidas pueden superar a las “mayores”. Pero lo cierto es que es un término muy utilizado y que, por tanto, conviene conocer.

Estas pérdidas, se expresan siempre como una fracción de altura de velocidad ($V^2/2g$), lo que supone admitir que en estos elementos el flujo es turbulento. Si no se indica lo contrario esta fracción se refiere a la altura de velocidad del diámetro nominal del elemento que, en el caso, por ejemplo, de válvulas y codos está bien definido. Si tenemos un elemento que une dos secciones diferentes (como los estrechamientos y ensanchamientos a la salida y llegada de las tuberías a los depósitos, o los conos de reducción) casi siempre viene especificado el diámetro de la sección a la que está referida la pérdida. Por lo general es la sección de menor diámetro y, en consecuencia, la de mayor velocidad. Lo veremos en algunos casos (ensanchamiento y estrechamiento bruscos) que a continuación se presentan.

Las imágenes que aparecen a continuación muestran las líneas de corriente de algunos de estos elementos perturbadores del flujo. En la parte derecha de la imagen se muestran cuatro codos de 90° con diferentes pérdidas localizadas dependientes de la ejecución del cono. En la parte superior se ven codos sin aristas en los que se aprecia que el flujo presenta muchas menos turbulencias que cuando no se suprimen. Y aún se pueden disminuir estas pérdidas introduciendo perfiles que contribuyan a que el flujo se adapte mucho más al contorno, una solución a la que se recurre excepcionalmente en las tuberías de aspiración de las bombas en las que existe riesgo de cavitación y, por tanto, es necesario reducir las pérdidas tanto como se pueda. A la izquierda de la imagen se muestra un estrechamiento (parte inferior) y un ensanchamiento (parte superior). Con claridad se aprecia que las pérdidas serán mayores en este segundo caso, toda vez que las turbulencias que se generan

también lo son. De hecho, la modelación de las pérdidas por un ensanchamiento las proporciona la fórmula que aparece encima de la imagen donde la sección 1 es la de aguas arriba del flujo, es decir, la más estrecha,

$$h_e = \frac{V_1^2}{2g} \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$$



a) Visualización de turbulencias (pérdidas localizadas) en diferentes codos de 90 °.

b) Turbulencias (pérdidas localizadas) en contracción y ensanchamiento.

Por otra parte, la expresión que permite el cálculo de una contracción (Streeter, 1963) es:

$$h_c = \frac{V_2^2}{2g} \left(\frac{1}{C_c} - 1\right)^2$$

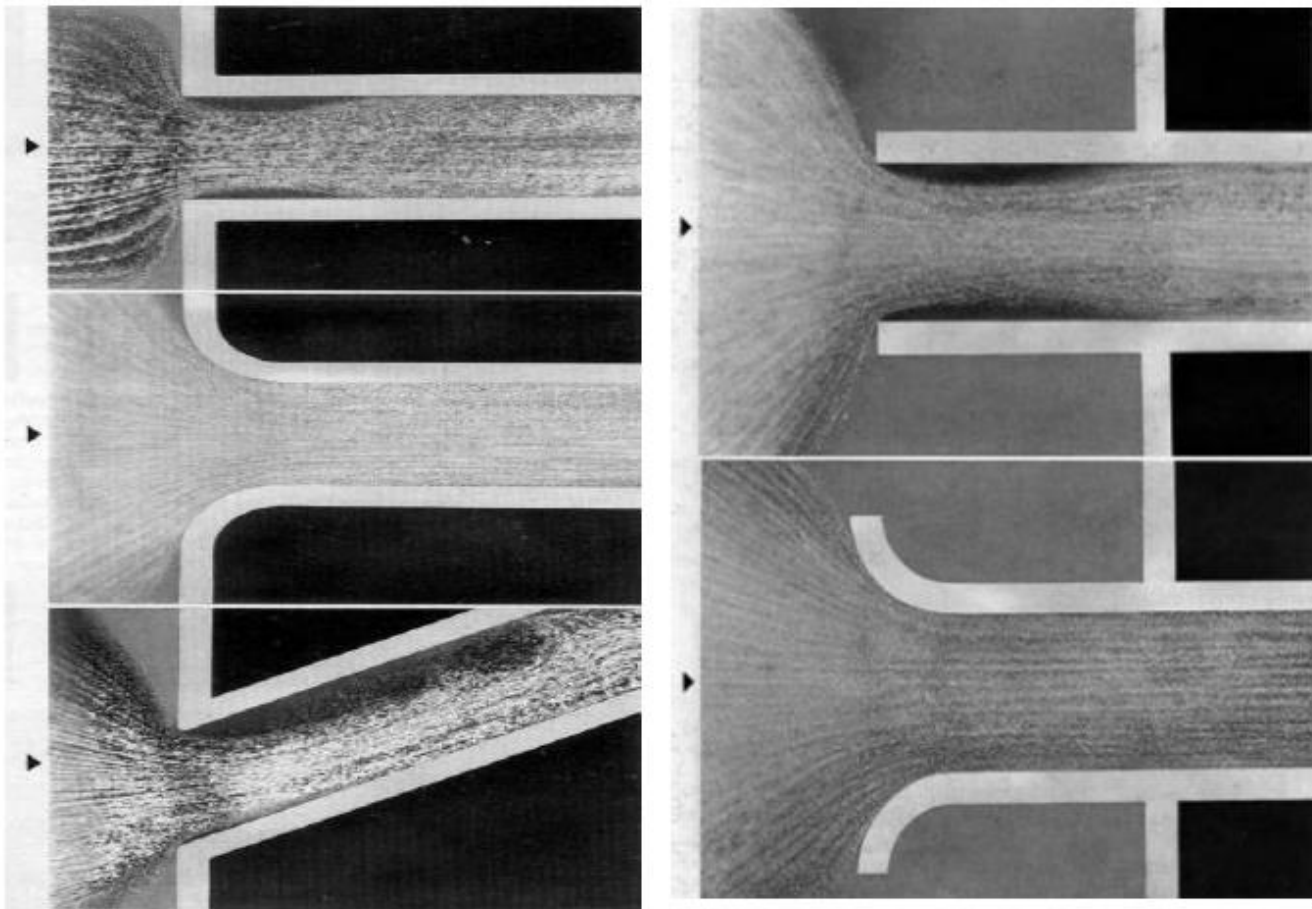
siendo V_2 la velocidad aguas abajo (la mayor, pues es un estrechamiento), y C_c el coeficiente de contracción de la vena fluida dependiente de la relación de áreas. Lo detalla la tabla que hay a continuación de este párrafo, que fue el propio Weisbach quien, hace más de 150 años, tras un histórico trabajo experimental, la publicó:

A_2/A_1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
C_c	0.624	0.632	0.643	0.659	0.681	0.712	0.755	0.813	0.892	1.0

Valor del coeficiente de contracción en diferentes estrechamientos bruscos.

Es fácil, aplicando las expresiones anteriores, confirmar que la pérdida de energía es mayor en un ensanchamiento que en una contracción. Por ejemplo, supóngase un brusco cambio de diámetro de 200 mm a 400 mm siendo el caudal circulante de 100 l/s. Las velocidades en las dos secciones correspondientes son 3.18 y 0.80. Una relación de áreas de 0.25 indica que el coeficiente de contracción es 0.638, al que le corresponde (ecuación 8.15) una pérdida localizada en el ensanchamiento $h_e = 0.29$ m. Sin embargo, con idéntica relación de secciones, la pérdida en la contracción es $h_c = 0.17$ m, lo que confirma numéricamente lo que, en las imágenes de la derecha del grupo anterior, se visualiza perfectamente. Conviene decir que las diferencias crecen a medida que el cambio es mayor llegando a coincidir cuando la relación de áreas es la unidad. No puede ser de otro modo, pues en este caso no hay ni ensanchamiento ni estrechamiento. La sección es la misma y, en consecuencia, la pérdida menor como tal es nula.

La imagen que aparece a continuación de este párrafo visualiza las líneas de corriente para diferentes modos de entroncar una tubería en un depósito. De entre los tres casos de la izquierda claramente se observa que es el inferior el más desfavorable (una conexión oblicua que obliga al fluido a cambios muy bruscos) mientras el más favorable corresponde a la embocadura gradual. Por último, el entronque recto superior se puede asimilar a una contracción brusca con una relación de áreas igual a 0, toda vez que A_1 , es el área del depósito que se puede suponer (frente a A_2) infinita.



Visualización de las pérdidas localizadas en diferentes entronques depósito - tubería

De otra parte, las entradas de la derecha (el tubo ingresa) en el interior del depósito, conocidas como conexiones Borda (en honor del hidráulico francés que las estudió), proporciona pérdidas superiores a las del entronque enrasado al depósito. Las turbulencias existentes así lo demuestran.

Con la excepción de las válvulas, estos elementos complementarios son todos estáticos, por lo que una constante k basta para determinar las pérdidas localizadas h_L que introducen ($h_L = k \cdot V^2/2g$). La Tabla que aparece a continuación, es la que para valorar el comportamiento de algunos componentes se incluye el manual de EPAnet. Cual se ve, contempla válvulas, pero siempre indicando su posición. También, entre otras, detalla las pérdidas en ensanchamiento y estrechamiento bruscos que se acaban de analizar con más detalle. Conviene subrayar al respecto dos puntos. De una parte, se constata que, en efecto, las pérdidas en un ensanchamiento superan las de un estrechamiento. Y de otra que sólo se aportan los valores máximos de estas pérdidas. Y así si en la relación, – ensanchamiento-, se hace la sección $A_2 = \infty$ (descarga en un depósito), el valor de k es la unidad, justo el que figura en la Tabla adjunta que sigue:

Coefficientes de pérdidas menores que figuran en el manual de EPAnet

<i>Elemento</i>	<i>Coefficiente de pérdidas, k</i>
Válvula de globo, completamente abierta	10,0
Válvula de ángulo, completamente abierta	5,0
Válvula de retención, tipo clapeta	2,5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0,2
Codo, radio de curvatura pequeño	0,9
Codo, radio de curvatura mediano	0,8
Codo, radio de curvatura grande	0,6
Codo (45°)	0,4
Inversión de sentido (curva 180°)	2,2
T estándar (flujo recto)	0,6
T estándar (con variación de la dirección del flujo)	1,8
Estrechamiento brusco	0,5
Ensanchamiento brusco	1,0

Sin embargo, y cual se ha dicho, las válvulas presentan unos coeficientes de pérdidas menores variables con el grado de apertura, siendo el valor máximo de dicho coeficiente el que corresponde a la válvula cerrada ($k = \infty$) y el mínimo el de válvula abierta. Unas válvulas que se pueden clasificar bien atendiendo al obturador que controla el paso del flujo (compuerta, mariposa, bola, globo...) a su través, bien al cometido que se le encarga (seccionamiento, regulación, reducción de la presión, limitación de caudal, mantenimiento de la presión, etcétera).

Finalmente conviene referirse a un modo alternativo de contabilizar las pérdidas localizadas de un elemento complementario. Es la longitud equivalente, L_e , igual al tramo de tubería ficticia que genera la misma pérdida de carga que el elemento en cuestión. Obviamente sólo tiene sentido en elementos estáticos, toda vez que una válvula daría lugar a diferentes L_e , en función de su grado de apertura. Su cálculo es inmediato. En efecto, refiriendo ambas pérdidas a la velocidad de la tubería en cuestión, e igualando sus valores:

$$f \frac{L_e V^2}{D 2g} = k \frac{V^2}{2g}$$

Resulta la equivalencia:

$$L_e = k \frac{D}{f}$$

Un valor que no suele ir más allá de unas decenas de metros. En efecto, para la contracción brusca ($k=1$) desde un depósito a una tubería de 400 mm de diámetro y con un coeficiente de fricción $f=0.02$, la longitud equivalente es 20 m. Con todo, y ya para concluir, conviene hacer al respecto dos comentarios.

- En primer lugar, que, para una tubería dada (D) no hay una relación biunívoca perfecta entre L_e y k , pues en ella interviene el coeficiente de fricción función del flujo a través del número de Reynolds. Y aunque es cierto que la horquilla de variación es estrecha, cual se ha dicho, la correspondencia no está completamente cerrada.
- En segundo lugar, indicar que se pueden incluir en EPANet las pérdidas localizadas a lo largo de un tramo de tubería bien incluyendo el valor de k , bien aumentando artificialmente su longitud. Esta es una solución menos recomendable, pues al distorsionar la realidad física del conducto no deja de ser un modo un tanto ficticio. De ahí que conviene siempre utilizar siempre el valor de k .

7.2.1.3 LÍNEA DE ALTURA GEOMÉTRICA, PIEZOMÉTRICA Y TOTAL

En el transporte de fluidos a presión, ya se ha visto, las tres formas básicas de almacenar la energía hidráulica son, posicional, elástica (o de presión) y cinética, además, lógicamente, de la térmica cuyo papel, ya se ha visto en temas precedentes, en hidráulica es muy menor. A la suma de las tres formas básicas de energía hidráulica se la denomina trinomio de Bernoulli. Expresada en energía por unidad de peso (unidades de longitud), es:

$$B_e = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$$

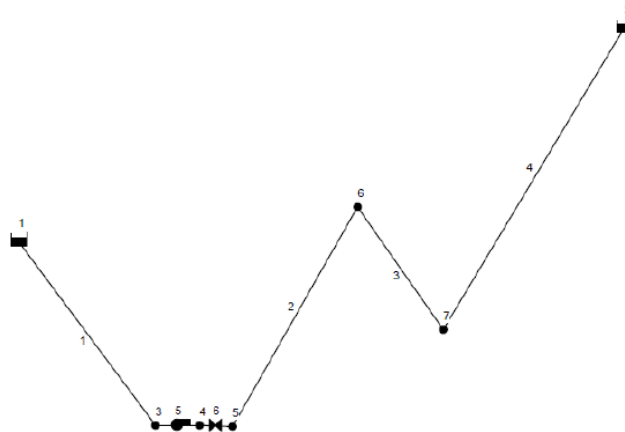
Si durante el movimiento del fluido no hubiese que vencer un rozamiento, el trinomio de Bernoulli se mantendría constante. Pero, con fricción o sin ella, puede aumentar un término a costa de otro. De hecho, en un flujo a presión el fluido puede ascender por una tubería porque la energía elástica que almacena se va transformando en posicional (o gravitacional). Y viceversa, si un fluido desciende por una tubería de presión (es el caso de una tubería forzada en un aprovechamiento hidroeléctrico) parte de la energía potencial que almacena se va transformando en presión. Estos intercambios son posibles gracias a la capacidad de almacenar energía elástica, tanto por parte del fluido (recuérdese la definición de módulo de compresibilidad volumétrico) como de la propia tubería cuyas paredes están constituidas por materiales elásticos.

En cualquier caso, y antes de volver sobre los alternativos cambios de un tipo de energía (elástica) en otra (posicional), o viceversa, y que caracterizan los flujos a presión, convendrá referirse por un momento al cuarto modo de almacenar la energía que tiene un fluido. Es la térmica, destino final de las pérdidas de energía ocasionadas por la fricción. Pero como quiera que cuando el fluido es incompresible los procesos térmicos se desacoplan de los mecánicos, estos análisis no interfieren en los del propio movimiento. En hidráulica, en cualquier caso, como el calor específico del agua es muy alto, sobre todo si se tiene en cuenta las cantidades de energía disipada por fricción, las variaciones de temperatura son, ya se ha visto, muy pequeñas, razón por la cual en la práctica a estos análisis apenas se les presta atención. Sólo en la termo hidráulica (son los flujos propios de un reactor nuclear, con el objetivo fundamental de extraer el calor que en su interior se genera), los asuntos térmicos adquieren el máximo protagonismo. Pero ello queda lejos de los objetivos de este curso.

Así, pues, nos centramos en los tres modos de almacenar energía que caracterizan el flujo a presión. Y para ello seguimos su evolución a lo largo de una conducción. En primer lugar, contabilizando en cada sección recta el primero de los sumandos (z) para así obtener la línea de *altura geométrica*. Como es lógico esa línea coincide con el eje de la conducción. Y así, en la siguiente imagen,

la línea de alturas geométrica del bombeo de una tubería de perfil irregular coincide con su propio trazado. En concreto es la línea quebrada cuyas cotas se adjuntan:

NUDO	COTA (m)
Embalse 1	33
Nudo 3	0
Nudo 4	0
Nudo 5	0
Nudo 6	40
Nudo 7	17
Embalse 2	73

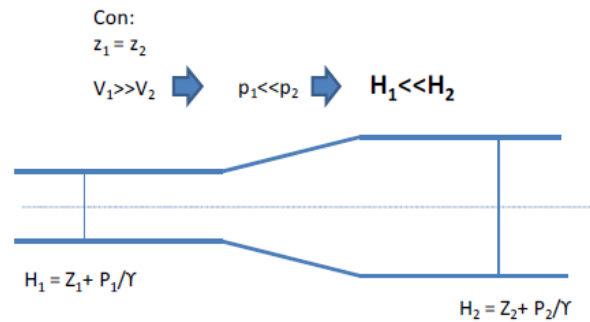


Impulsión de perfil irregular (la propia conducción es la línea de alturas geométrica)

Si en cada sección recta de la tubería, a la altura geométrica se le suma la presión del fluido en su eje, iremos obteniendo la altura piezométrica ($H = z + p/\gamma$) de la tubería. Se la denomina de este modo porque es la altura hasta la que ascendería el agua en un piezómetro (tubo vertical) montado en cada una de las secciones rectas de la tubería. De hecho, agujereando una tubería con agua a presión en su interior, el chorro que saldría también alcanzaría esta altura despreciando, claro está, la fricción del chorro con el aire, rozamiento que, claro está, evita el piezómetro. EPAnet, una vez ha realizado los cálculos permite de inmediato dibujar la línea de alturas piezométricas. Tan sólo hay que sumar cota y presión (altura en EPAnet), una terminología que no es rigurosamente correcta.

Y no lo es porque ya se ha visto que la altura total la proporciona el trinomio de Bernoulli para lo que hay que sumar a la piezométrica el término cinético. Pero llegados a este punto convendrá recordar la hipótesis ya realizada de que el tercer sumando del trinomio es, en la práctica, despreciable algo que ya ha sido debidamente justificado. Una línea, la de *alturas totales*, que sólo difiere de la piezométrica en el término cinético y cuyo interés práctico es muy limitado. En cualquier caso, conviene decir que esta línea (que representa la energía total del fluido en una sección recta) es, en el sentido de avance del flujo siempre decreciente o, a lo sumo, si no hay fricción o es despreciable, horizontal.

No es este el caso de las otras dos líneas previamente definidas. La geométrica, coincide con el trazado. Y ya se ha visto que, si el perfil es irregular, puede ascender y descender. Y también, en ocasiones, la piezométrica puede ascender. Supongamos una tubería horizontal con un cambio de sección tal cual nos muestra la imagen situada a continuación de este párrafo. Dado que la variación es muy gradual, se supone que las pérdidas por fricción en el ensanchamiento son despreciables. Tampoco en el tramo de tubería que, por otra parte, es corto. Pues bien, en este caso la ralentización del flujo propicia un crecimiento de la presión en el sentido de aguas abajo de manera que se obtiene una línea de alturas piezométricas creciente. Un caso muy bien tipificado. La brusca ralentización del flujo posibilita que la presión se recupere y que, por tanto, la altura piezométrica aumente. Una situación que también es muy típica aguas abajo de las válvulas reductoras de presión.



Cono de reducción como ejemplo de línea de alturas piezométricas creciente

En general, y salvo que haya recuperación de la presión a costa de energía cinética o una bomba aporte energía, la línea de alturas piezométricas siempre es decreciente.

Los restantes datos de la instalación (además de las cotas de los nudos, ya detalladas, y que definen la línea geométrica) son los que siguen. De una parte, la bomba cuyo punto de trabajo es $Q = 200 \text{ l/}$ y $H = 50 \text{ m}$. De otra la válvula de regulación.

La línea de alturas piezométricas que se muestra corresponde a dos situaciones diferentes. En primer lugar, se simula el funcionamiento con la válvula de regulación (300 mm) completamente abierta (su constante de pérdidas es $k = 0.43$) y después se cierra casi por completo (ángulo de apertura igual a 10° , $k=1084.08$). El resto de datos de la red son los que se adjuntan y, obviamente, son los mismos en ambos casos:

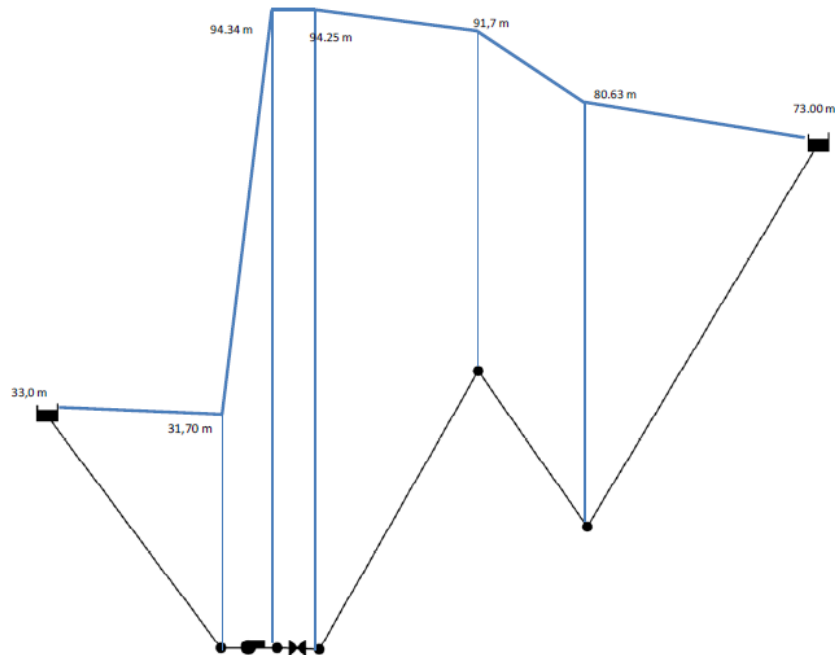
ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Rugosidad mm
Tubería 1	1000	400	0,1
Tubería 2	1000	350	0,1
Tubería 3	2000	300	0,1
Tubería 4	3000	350	0,1

La línea de alturas piezométricas se representa a partir de la solución del problema con EPAnet. En efecto estableciendo Bernoulli entre el depósito de cabecera, nudo (1) y el nudo (3) ubicado aguas arriba de la aspiración de la bomba y, como siempre, despreciando los términos cinéticos, la diferencia de piezométricas coincide con las pérdidas en ese tramo de tubería. Es decir:

$$B_e(1) - B_e(3) \approx H_p(1) - H_p(3) = f_1 \frac{L_1 V_1^2}{D_1 2g}$$

que evidencia que la pérdida de carga unitaria en ese tramo J1 es igual a la pendiente de la línea de alturas piezométricas, de acuerdo con la relación:

$$\frac{H_p(1) - H_p(3)}{L_1} = \frac{f_1 V_1^2}{D_1 2g}$$

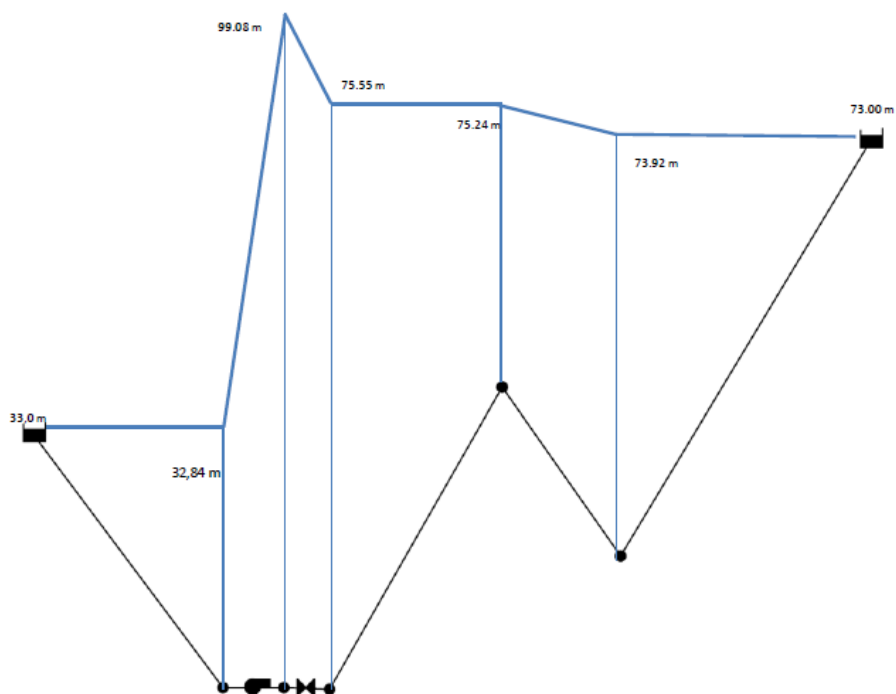


Línea de alturas piezométrica de la impulsión del esquema anterior (Válvula abierta)

La imagen anterior muestra cómo, para un mismo caudal, a mayor diámetro de la conducción, menor pendiente de la línea piezométricas. La pendiente más suave corresponde a la tubería 1 ($D_1= 400$ mm) y la máxima la tubería 3 ($D_1= 300$ mm), con una pendiente intermedia en los dos tramos restantes (2 y 4), tal cual corresponde a un diámetro intermedio. Conviene subrayar que la figura está bien escalada en ordenadas, aunque en abscisas, por lo que la figura es sólo orientativa. También se observa cómo la altura que aporta la bomba queda claramente reflejada con la “subida” de la línea de alturas piezométricas entre los nudos de aspiración e impulsión (nudos 3 y 4) de la bomba. Finalmente se ve como la válvula reguladora de caudal apenas introduce pérdidas en el sistema (los nudos 4 y 5 tienen, prácticamente, la misma altura piezométrica).

Finalmente, la imagen que hay a continuación, muestra la línea de alturas piezométricas, pero con la válvula de regulación casi cerrada ($\alpha = 10^\circ$). La única variación en los datos de partida del sistema es cambiar la constante de pérdidas de la válvula desde un valor casi nulo ($k=0.43$) a un valor notable ($k=1084.08$). La respuesta que se obtiene es, desde la óptica hidráulica, de lo más previsible. La válvula introduce en el sistema una resistencia muy superior, lo que a la postre se traduce tanto en aumentar la altura de impulsión de la bomba como en una reducción del caudal. La curva característica de la bomba así lo exige. En concreto un caudal inicial de 98,32 l/s se reduce hasta 32,04 l/s. La línea de alturas piezométricas de la última imagen reproduce este comportamiento. Conviene subrayar que:

- Apenas hay pérdida de carga entre el embalse y el nudo de aspiración (el caudal es ahora mucho menor).
- La válvula de regulación introduce una pérdida de carga significativa (casi 25 m).
- La altura que genera la bomba aumenta en casi 4 m (para vencer la superior resistencia) ya que, aunque la fricción en las tuberías disminuye, el aumento de la pérdida a través de la válvula compensa la disminución holgadamente.
- Las pendientes de las líneas piezométricas se suavizan notablemente como consecuencia de circular un caudal menor y, por tanto, la pérdida de carga unitaria (proporcional al cuadrado del caudal) es ahora mucho menor.



Línea de alturas piezométrica de la impulsión del primer esquema (Válvula casi cerrada)

Otro punto merece destacarse. La presión que soporta en cada punto la tubería es igual a la ordenada existente entre la línea de alturas piezométricas y la geométrica.

Anexo 3:

Simulaciones intermedias

7.3 SIMULACIONES INTERMEDIAS

En este anexo se mostrarán los planos de presiones, pérdidas unitarias y una combinación de ambos, de 3 simulaciones (inicial, intermedia y final) de cada una de las 3 configuraciones diferentes. El DVD se encuentra el anexo en su versión normal con todas y cada una de las simulaciones.

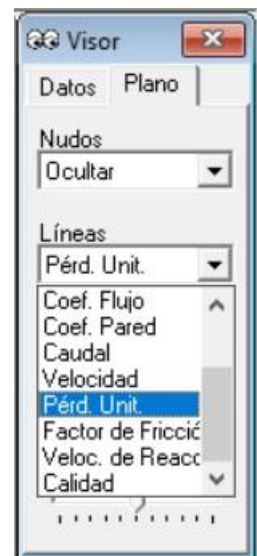
La ventana “visor” de Epanet, ofrece una gama de variables a mostrar respecto a los nudos y a las líneas:



1.- Visor Epanet



2.- Opciones de nudos



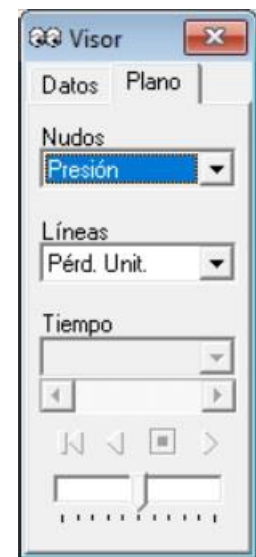
3.- Opciones de tuberías



4.- Planos presiones



5.- Planos pérdidas



6.- Planos combinados

7.3.1 Configuración 1

7.3.1.1 planos presiones

7.3.1.1.1 Simulación inicial



7.3.1.1.2 Simulación 10

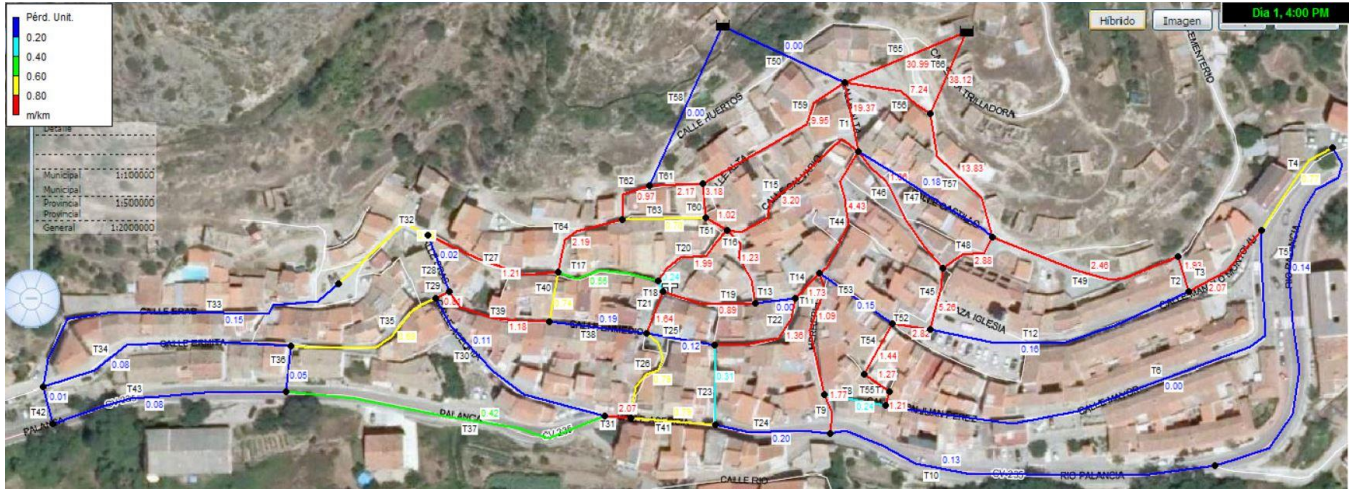


7.3.1.1.3 Simulación 20

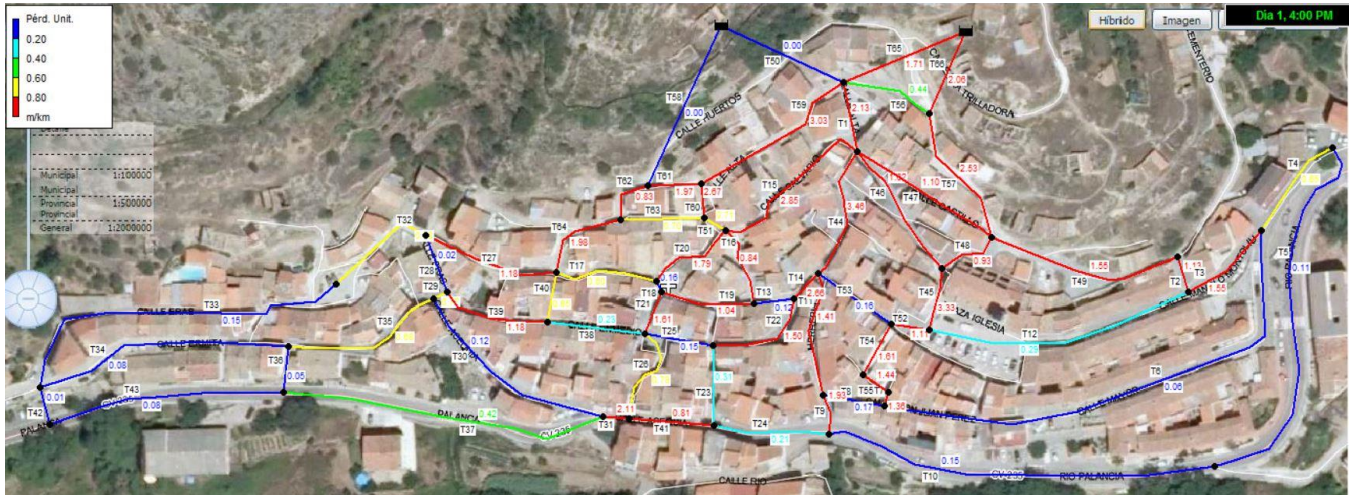


7.3.1.2 Planos pérdidas unitarias

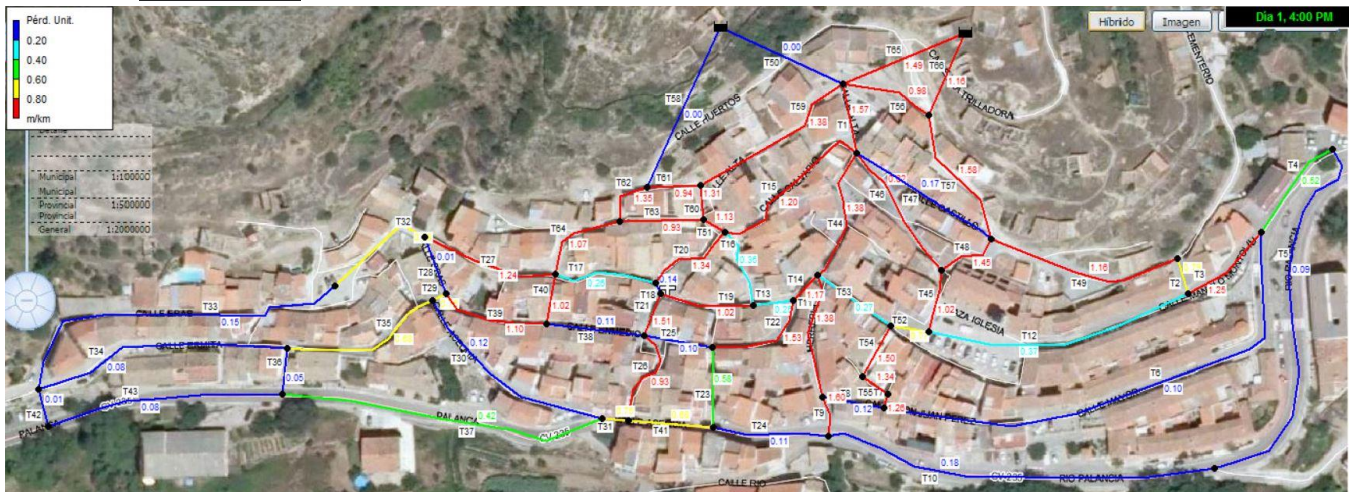
7.3.1.2.1 Simulación inicial



7.3.1.2.2 Simulación 10

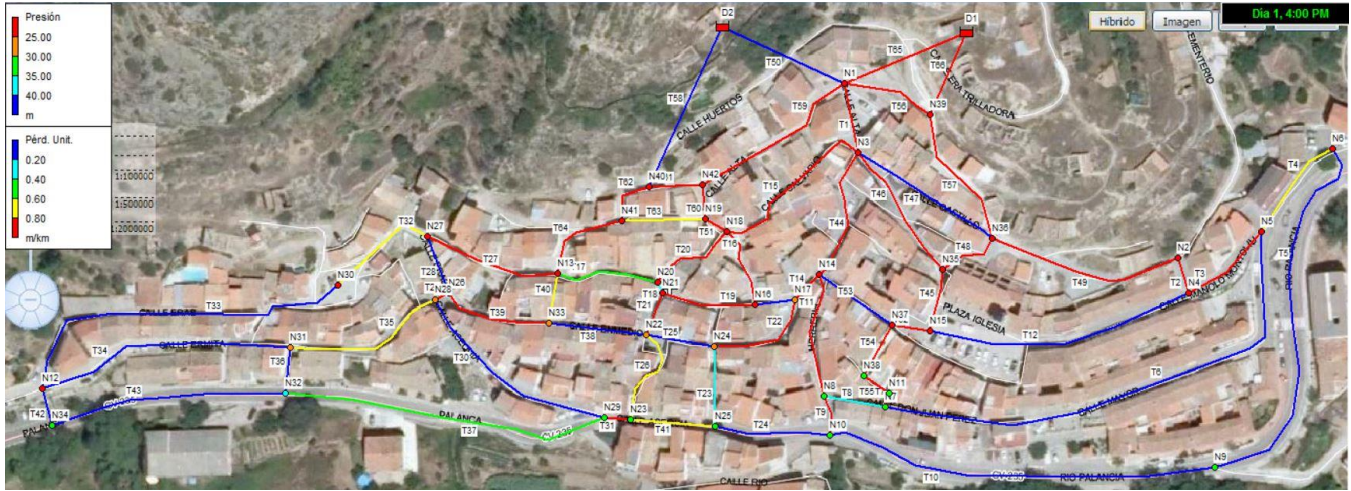


7.3.1.2.3 Simulación 20

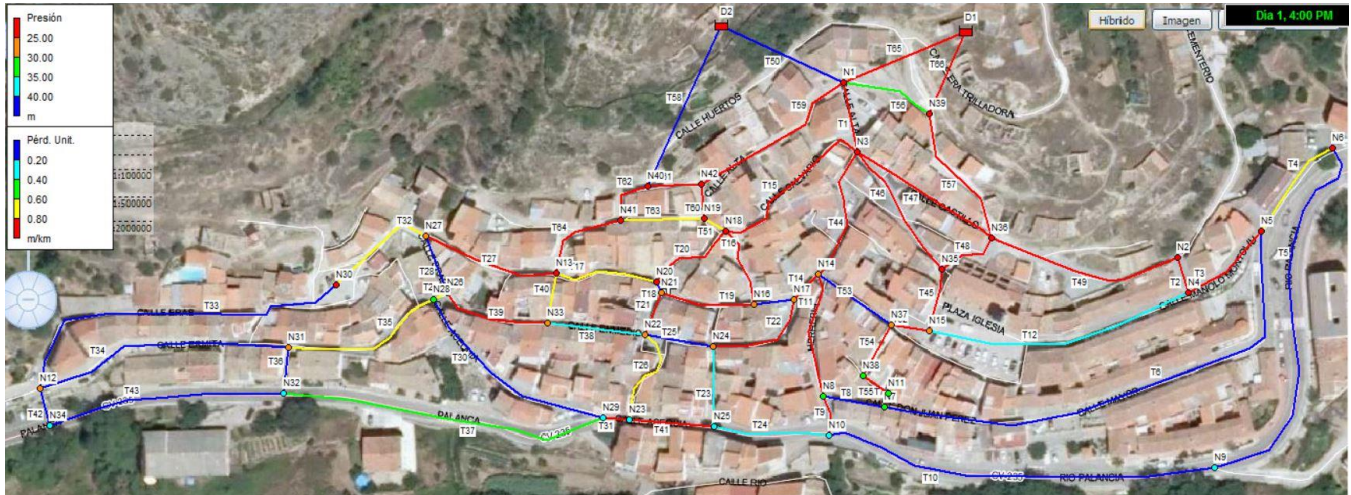


7.3.1.3 Planos combinados

7.3.1.3.1 Simulación inicial



7.3.1.3.2 Simulación 10



7.3.1.3.3 Simulación 20



7.3.2 Configuración 2

7.3.2.1 Planos presiones

7.3.2.1.1 Simulación inicial



7.3.2.1.2 Simulación 19

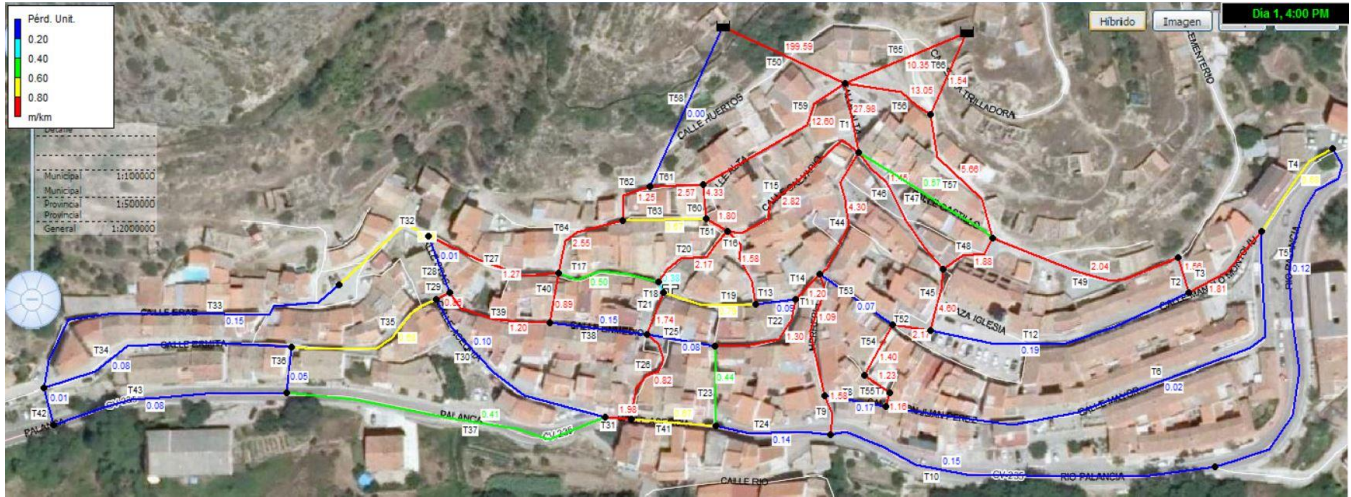


7.3.2.1.3 Simulación 38

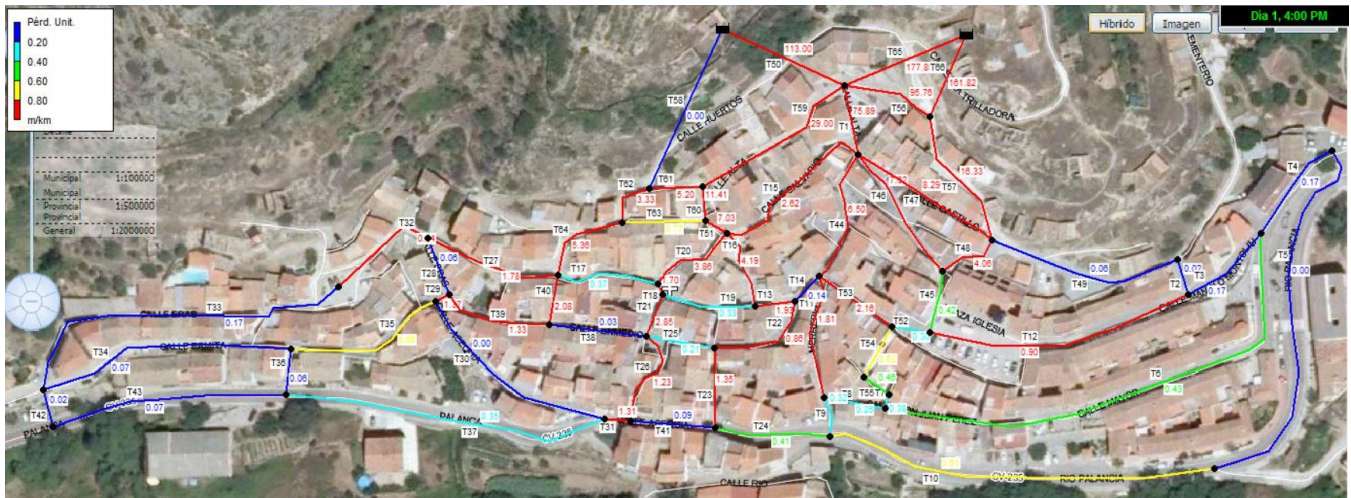


7.3.2.2 Planos pérdidas unitarias

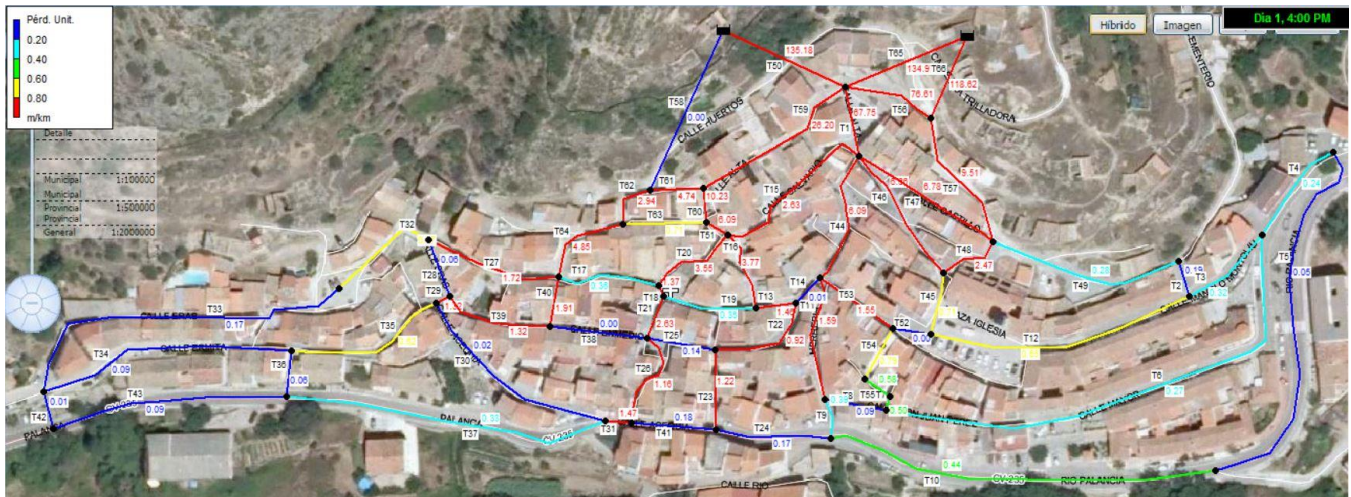
7.3.2.2.1 Simulación inicial



7.3.2.2.2 Simulación 19



7.3.2.2.3 Simulación 38

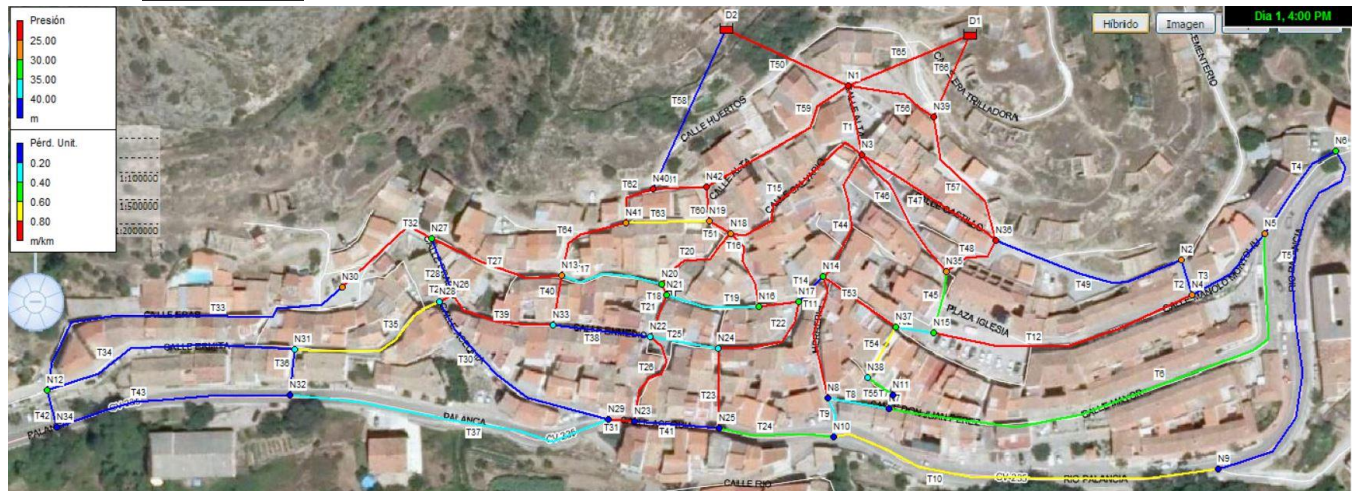


7.3.2.3 Planos combinados

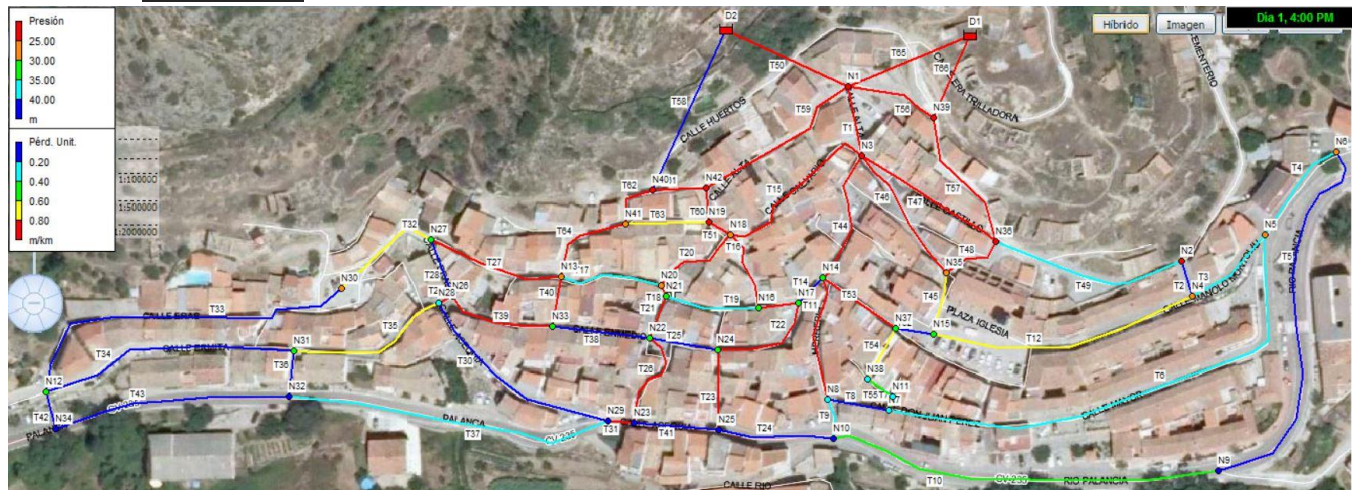
7.3.0 Simulación inicial



7.3.0.1.1 Simulación 19



7.3.0.1.2 Simulación 38



7.3.3 Configuración 3

7.3.3.1 Planos presiones

7.3.3.1.1 Simulación inicial



7.3.3.1.2 Simulación 23

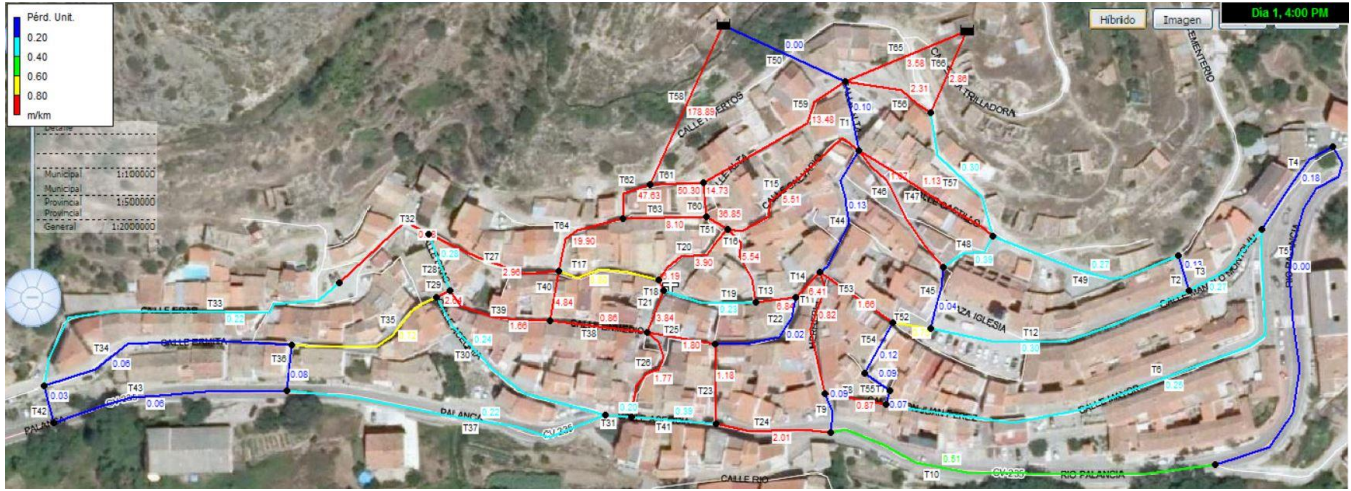


7.3.3.1.3 Simulación 46

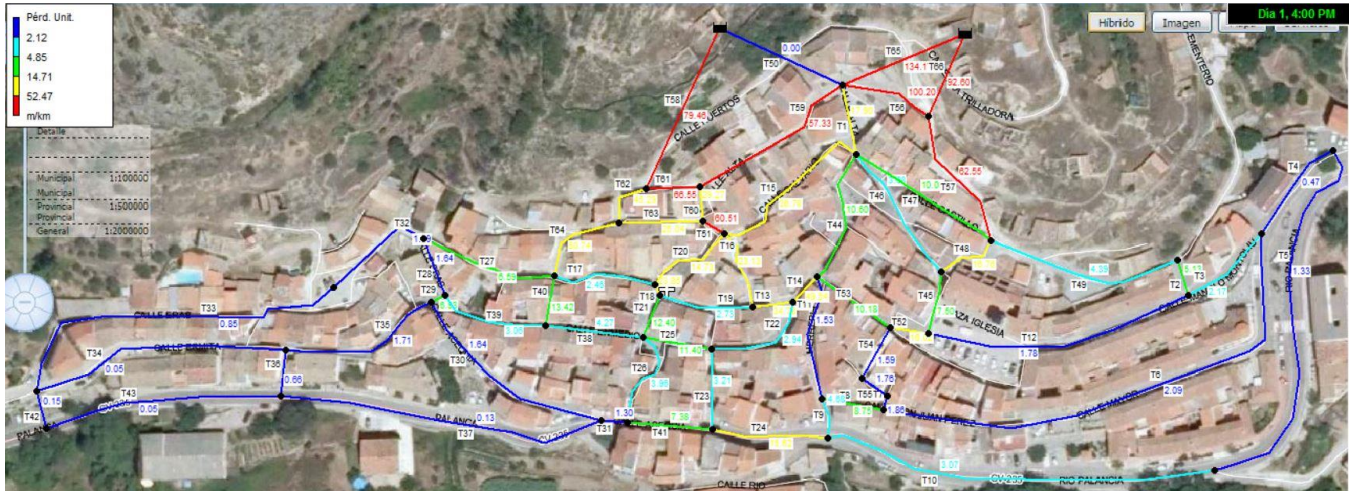


7.3.3.2 Planos pérdidas unitarias

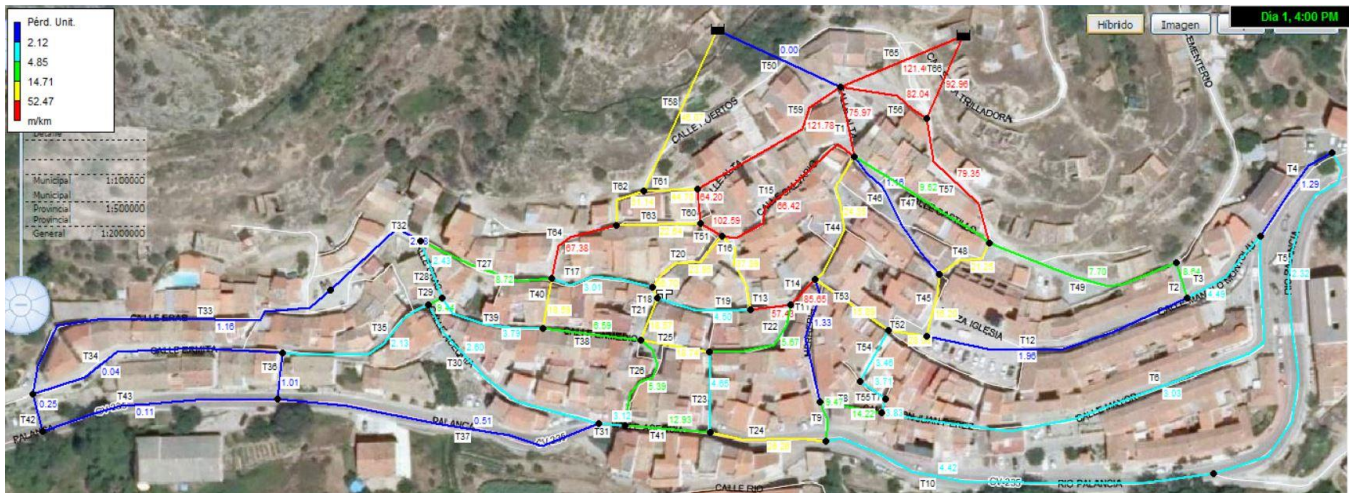
7.3.3.2.1 Simulación inicial



7.3.3.2.2 Simulación 23

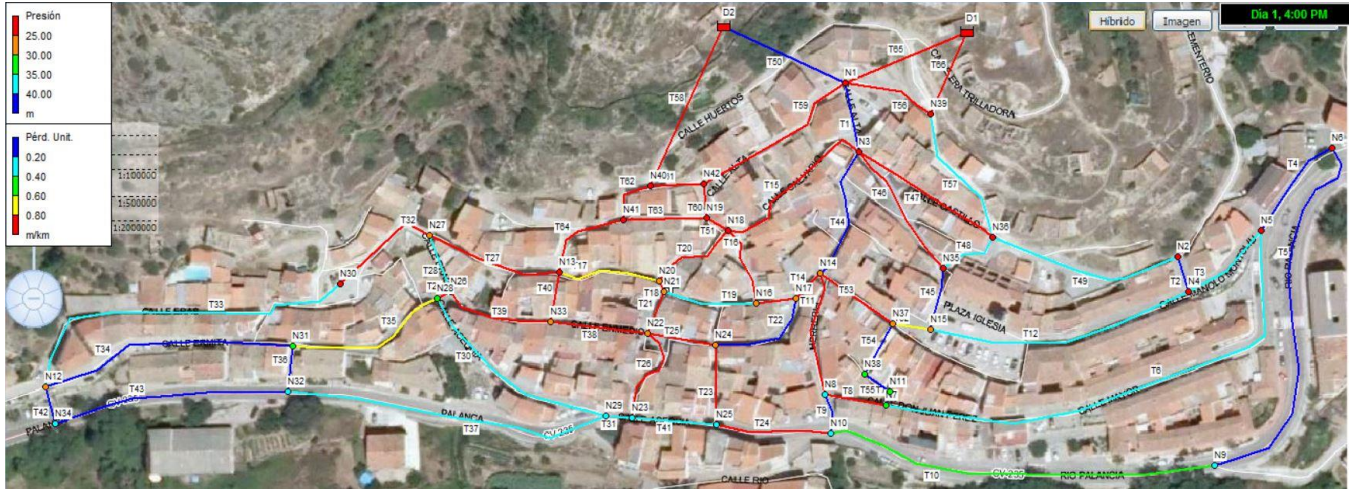


7.3.3.2.3 Simulación 46

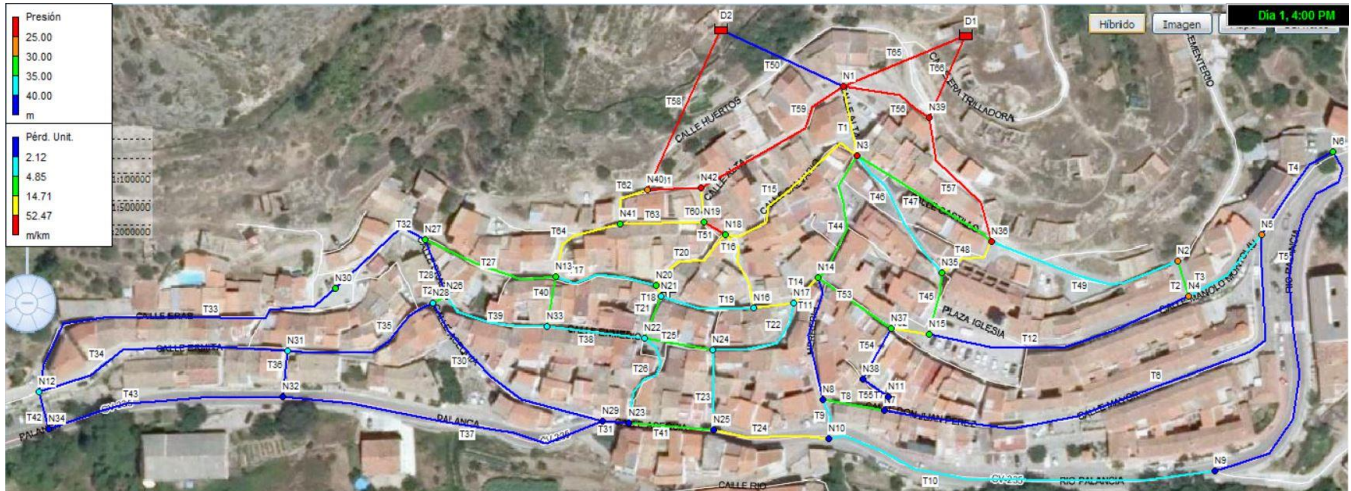


7.3.3.3 Planos combinados

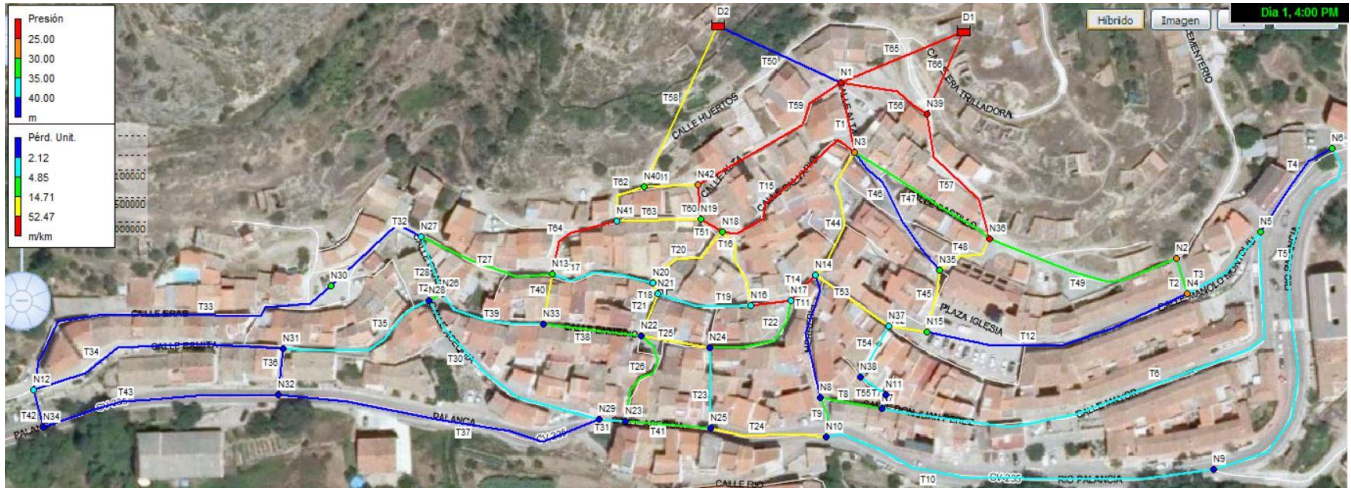
7.3.3.3.1 Simulación inicial



7.3.3.3.2 Simulación 23



7.3.3.3.3 Simulación 46



ANEXO 4: Epanet

7.4 EPANET

7.4.1 Introducción: ¿Qué es EPANET?

Epanet es un programa de ordenador que realiza simulaciones en periodo extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de distribución a presión. En general, una red consta de:

- Tuberías
- Nudos
- Bombas,
- Válvulas
- Tanques de almacenamiento o depósito

Epanet determina:

- El caudal que circula por cada una de las conducciones
- La presión en cada uno de los nudos
- El nivel de agua en cada tanque
- Concentración de diferentes componentes químicos durante un determinado periodo de simulación.

Epanet está diseñado para ser una herramienta de desarrollo en el aumento del conocimiento relacionado con el movimiento y el destino de los constituyentes del agua en una red de distribución. De hecho, puede emplearse para multitud de aplicaciones en el análisis de sistemas de distribución. Diseño de programas de muestreo, calibración de modelos hidráulicos, análisis del cloro residual y cloración del riesgo a que se encuentran sometidos los consumidores son algunas de las aplicaciones que pueden llevarse a cabo. Asimismo, Epanet puede servir de ayuda para la evaluación de diferentes estrategias alternativas de gestión de los sistemas de distribución encaminadas todas ellas a la mejora de la calidad del agua dentro del sistema. Esto incluye:

- Utilización alternativa de las fuentes de suministro en sistemas que disponen de múltiples fuentes de abastecimiento.
- Variación de los esquemas de bombeo y de llenado y vaciado de los depósitos
- Uso de técnicas de tratamiento satélite, tales como la recloración en determinados depósitos de almacenamiento.
- Determinación de conducciones que deben ser limpiadas o sustituidas.

Epanet ofrece un entorno de trabajo integrado para la edición de los datos de entrada de la red, para el cálculo hidráulico y las simulaciones de calidad del agua, y para poder visualizar los resultados obtenidos en una amplia variedad de formatos. Esta variedad de formatos incluye:

- Planos de la red con códigos de colores
- Tablas de datos
- Gráficos con evoluciones temporales de diferentes variables
- Planos de isoniveles.

7.4.1.1 Características del modelo hidráulico

Epanet es un motor de análisis hidráulico actual que incluye las siguientes características:

- No existe límite en el tamaño de la red que se desea analizar
- Calcula las pérdidas por fricción en las conducciones mediante las expresiones de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, o Chezy-Manning
- Incluye pérdidas menores en elementos tales como codos, acoplamientos, etc.
- Modela bombas funcionando tanto 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, de retención, de aislamiento, reductoras de presión, de control de caudal...
- 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 el nivel de agua en el tanque y controles de tiempo o utilizar un complicado sistema de regulación temporal.

7.4.1.2 Pasos en la utilización de Epanet

A continuación, se enumeran los pasos básicos a seguir en la utilización de Epanet para modelar un sistema de distribución de aguas:

1. Dibujar una representación de la red del sistema de distribución o importar una descripción básica de la red en un fichero de texto
2. Editar las propiedades de los objetos que conforman el sistema
3. Describir como trabajar el sistema
4. Determinar las opciones de análisis
5. Inicia un análisis hidráulico o de calidad del agua
6. Obtener los resultados del análisis.

7.4.2 Modelo del sistema

7.4.2.1 Componentes físicos

Epanet modeliza un sistema de distribución de agua como una serie de líneas conectadas a nudos.

Las líneas representan:

- Tuberías
- Bombas
- Válvulas

Los nudos representan:

- Conexiones
- Tanques
- Depósitos

7.4.2.1.1 Conexiones

Las conexiones son puntos de la red donde se unen las líneas o por donde entra o sale el agua de la red. La información básica que se requiere para las conexiones es:

- Cota
- Demanda de agua
- Calidad del agua inicial (sólo para análisis de Calidad del Agua)

Los resultados que se obtienen de las conexiones a lo largo de toda simulación son:

- Altura piezométrica
- Presión
- Calidad del agua (sólo para análisis de Calidad del Agua)

Las conexiones también pueden;

- Tener una demanda que varíe con el tiempo
- Tener diferentes categorías de demanda asignadas
- Tener una demanda negativa indicando que el agua entra en la red
- Ser fuente de calidad de agua por donde los constituyentes entran en la red
- Contener emisores (o aspersores) haciendo que el caudal descargado dependa de la presión

7.4.2.1.2 Depósitos

Los depósitos son nudos que representan una fuente externa infinita o un sumidero para el sistema. Son utilizados para modelizar lagos, ríos, acuíferos subterráneos y conexiones a otros sistemas. Los depósitos también pueden servir como fuente de Calidad de Agua.

Las principales características de un depósito son:

- Altura piezométrica o altura (altura por encima del nivel del mar)

- Calidad inicial (sólo para análisis de Calidad del Agua)

Ya que el depósito es un punto frontera de la red, su altura y calidad del agua no pueden verse afectadas por lo que ocurra en el resto del sistema. Por lo tanto, no se ordenan características de salida. A pesar de todo, podemos hacer variar su altura con el tiempo si les asignamos un patrón de tiempo.

7.4.2.1.3 Tanque

Los tanques son nudos con capacidad de almacenamiento, donde el volumen de agua almacenada puede variar con el tiempo a lo largo de la simulación. Las características principales para los tanques son:

- Cotar (donde el nivel de agua es cero)
- Diámetro (o geometría si no es cilíndrico)
- Valores iniciales máximos y mínimos del nivel de agua
- Calidad del agua inicial

Los principales valores que se piden a lo largo del tiempo son:

- Nivel de la superficie libre de agua
- Calidad del agua

Los tanques operan limitados por sus niveles máximos y mínimo. Epanet detiene el aporte de caudal si el nivel del tanque está al mínimo y detiene el consumo de caudal si el nivel del tanque se encuentra en su máximo. Los tanques también pueden servir como fuente de calidad del agua.

7.4.2.1.4 Emisores

Los emisores son mecanismos asociados a las conexiones que modelizan la descarga de caudal a la atmósfera a través de unos orificios. El caudal que atraviesa el emisor varía en función de la presión del nudo.

Los emisores son usados para modelizar el caudal a través de rociadores o sistemas de irrigación en la red. También pueden ser usados para modelizar pérdidas en las conexiones entre tuberías o para modelizar una boca de extinción de fuegos.

7.4.2.1.5 Tuberías

Las tuberías son líneas que llevan el agua de un punto de la red a otro. Epanet asume que todas las tuberías se encuentran completamente llenas en todo momento. La dirección de caudal va desde el extremo con altura piezométrica mayor hacia el extremo de la conducción con menor altura, siguiendo siempre el sentido de la disminución de la altura. Los parámetros hidráulicos más importantes para las tuberías son:

- Nudos de entrada y salida

- Diámetro
- Longitud
- Coeficiente de rugosidad (para determinar pérdidas)
- Estado (Abierta, cerrada o con una válvula)

Los parámetros de estado de las tuberías se emplean para contemplar elementos tales como válvulas de corte o seccionamiento o válvulas de retención.

Las características de calidad del agua para las tuberías consisten en:

- Coeficiente de reacción del flujo
- Coeficiente de reacción de parad

Los principales valores que podemos obtener son:

- Caudal
- Velocidad
- Pérdidas
- Factor de fricción de Darcy-Weisbach
- Variación de la velocidad de reacción (a lo largo de su longitud)
- Variación de la calidad del agua (a lo largo de su longitud)

Las pérdidas de carga en la conducción debido a la rugosidad de las paredes de la tubería pueden medirse utilizando tres métodos diferentes:

- Método de Hazen-Williams:
Es el más utilizado en el ámbito anglosajón. No se puede usar con otro líquido que no sea agua y fue desarrollado originalmente únicamente para régimen turbulento.
- Método de Darcy-Weisbach
Es el más exacto teóricamente. Se puede aplicar para cualquier líquido en cualquier régimen que se encuentre.
- Método de Chezy-Manning
Es el más utilizado para conductos en lámina libre.

Con el método de Darcy-Weisbach, Epanet utiliza diferentes expresiones correspondientes a las distintas zonas en las que el factor de fricción f presenta comportamientos distintos. Así, dependiendo del régimen de trabajo:

- Para régimen laminar ($Re < 2000$) utiliza la fórmula de Hagen-Poiseuille
- Para régimen turbulento ($Re > 4000$) utiliza la aproximación de Swamee y Jain de la ecuación de Colebrook-White.
- Para flujo transitorio ($2000 < Re < 4000$) utiliza una interpolación cúbica del ábaco de Moody.

Las tuberías pueden abrirse o cerrarse en determinados instantes de tiempo o cuando existan unas condiciones específicas, como por ejemplo cuando el nivel del tanque cae o llega a determinado punto, o cuando la presión en los nudos cae o llega a determinados valores

7.4.2.1.6 Pérdidas menores

Las pérdidas menores, o pérdidas locales, se deben a la existencia de turbulencias en codos y conexiones. La importancia de incluir estas pérdidas depende de la distribución en planta de la red y el

grado de exactitud requerido. Pueden contabilizarse asignando a la tubería un coeficiente de pérdidas menores. Las pérdidas menores se calculan multiplicando este coeficiente por la energía cinética de entrada en la tubería.

7.4.2.1.7 Bombas

Las bombas son elementos que aportan energía al fluido incrementando su altura piezométrica. Las características más importantes para una bomba son:

- Su entrada y salida
- Su curva característica (relación entre la altura y el caudal de la bomba)

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.

También se puede considerar la variación de velocidad de las bombas. La cual puede fijarse y modificarse bajo las condiciones descritas anteriormente. Por definición. La curva característica que aporta el programa tiene un corrector de velocidad de 1. Si se dobla la velocidad de bomba, entonces el corrector será de 2; si la velocidad es igual a la mitad, el corrector tendrá el valor de 0,5. Cambiando la velocidad se modifica la posición y la curvatura de la curva característica.

Al igual que las tuberías, las bombas pueden activarse (arranque) y desactivarse (desconectarse) en determinados momentos establecidos por el usuario o bien cuando existan ciertas condiciones en la red. El modo de operación de la válvula puede describirse asignándole un patrón de tiempos con los correctores de velocidad. Epanet también puede tener en cuenta el consumo de energía y el coste de la bomba. A cada bomba se le puede asignar una curva de eficiencia y una lista de precios de energía. Si no se dispone de estos valores entonces utiliza unas condiciones energéticas generales.

El caudal que atraviesa una bomba es unidireccional. Si las condiciones del sistema requieren que la bomba trabaje fuera de sus posibilidades, Epanet intentará desconectarla. Si el sistema requiere un caudal mayor que el que puede trasegar, Epanet extrapolará una curva para el caudal requerido, aunque produzca una altura negativa. En ambos casos aparecerá un mensaje de advertencia.

7.4.2.1.8 Válvulas

Las válvulas son líneas que limitan la presión y el caudal en puntos específicos de la red. Sus principales parámetros característicos son:

- Nudos de entrada y salida
- Diámetro
- Consigna (tarado)
- Estado

Los valores de salida suelen ser:

- Caudal
- Pérdidas

Los diferentes tipos de válvulas que incluye Epanet son:

- Válvulas reductoras de presión
- Válvulas sostenedoras de presión
- Válvulas de rotura de carga
- Válvulas controladoras de caudal
- Válvulas reguladoras por estrangulación
- Válvulas propósito general

7.4.2.2 Componentes no físicos

Además de los componentes físicos, Epanet utiliza tres tipos de objetos informativos:

- Curvas
- Patrones
- Controles

Éstos, describen el comportamiento y los aspectos operaciones de un sistema de distribución.

7.4.2.2.1 Curvas

Las curvas son objetos que representa la relación existente entre pares de datos por medio de dos magnitudes o cantidades. Dos o más objetos pueden formar parte de la misma curva. Un modelo de Epanet puede utilizar los siguientes tipos de curvas:

- Curva característica de una bomba
- Curva de rendimiento
- Curva de volumen
- Curva de pérdidas.

7.4.2.2.2 Patrones de tiempo

Un patrón de tiempo es una colección de factores (multiplicadores) que pueden aplicarse a una cantidad para representar que varía a lo largo del tiempo;

- Demandas en los nudos
- Alturas de depósitos
- Programas de bombas
- Fuentes de calidad de agua

Pueden tener patrones de tiempo asociados. El intervalo de tiempo utilizando en todos los patrones es un valor fijo, determinado con las Opciones de Tiempo del proyecto. Dentro de este intervalo la cantidad asociada permanece constante, igual al producto de su valor nominal y el factor en ese periodo de tiempo. Además, todos los patrones deben utilizar el mismo intervalo de tiempo, cada uno puede tener un número de periodos. Cuando el reloj de la simulación exceda del número de periodos en el patrón, el patrón se reiniciará de nuevo al primer periodo.

7.4.2.2.3 Controles

Los controles son consignas que determinan como la red trabaja a lo largo del tiempo. En ellos se especifica el comportamiento de las líneas seleccionadas como una función del tiempo, niveles de agua en el tanque y presiones en puntos determinados del sistema. Existen dos categorías que pueden utilizarse:

- Controles simples
- Controles programados

Los controles simples cambian el estado o el tarado de un elemento basándose en:

- El nivel de agua en el tanque
- La presión en una conexión
- De tiempo de simulación
- Hora diaria

Los controles programados permiten determinar el estado de un elemento y su caracterización por medio de una combinación de condiciones que podrían existir en el sistema después de que el estado inicial hidráulico este programado.

8 BIBLIOGRAFÍA

Teoría del flujo a presión.

*“Apuntes de Mecánica de Fluidos”. F. Arregui, E. Cabrera; R. Cobacho; E. Gómez; J. Soriano.
2016. Universitat Politècnica València*

Manual Epanet 2.

*Lewis A. Rossman Water Supply and Water Resources Division National Risk Management
Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection
Agency Cincinnati, OH 45268*

Datos sobre la red.

Excmo. Ayuntamiento de Teresa

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo fin de grado:

Diseño de una red de abastecimiento de agua:
PRESUPUESTO

Autor:

Ángel Lázaro Pérez

Tutor del proyecto:

Ricardo Cobacho Jordán

PRESUPUESTO

El siguiente presupuesto contabiliza los costes derivados del diseño del proyecto. Si el proyecto fuera aceptado por las entidades interesadas, se procedería a realizar el presupuesto relacionado con la realización de la obra.

1 DESGLOSE DEL PRESUPUESTO

1.1 MANO DE OBRA:

- Horas dedicadas por el alumno: 223 h

Resumen	Tiempo unitario (mins)	Cantidad	Tiempo total (h)
-Tiempo de edición de la memoria			120
-Tiempo de edición de la presentación			8
-Tiempo de edición de los anexos			16
-Búsqueda de información			20
-Configuración Epanet			2
-Configuraciones previas			15
-Desplazamientos a Teresa (ida-vuelta)	120	8	16
-Configuración 1 (20 simulaciones)	15	20	5
-Configuración 2 (38 simulaciones)	15	38	10
-Configuración 3 (47 simulaciones)	15	47	12
		TOTAL	223

- Horas dedicadas por el profesor tutor de TFG: 20 h

1.2 MATERIALES:

- Ordenador portátil Toshiba averiado por sobreesfuerzo: 300 €
- Ordenador portátil HP adquirido por necesidad de sustitución del anterior: 899 €.
- Monitor Samsung para trabajar a doble pantalla: solamente el coste eléctrico por encontrarse el monitor previamente en la casa.

2 PRESUPUESTO

Concepto	Resumen	cantidad	precio	Importe
Mano de obra				
	Horas del alumno	223	9	2.007,00 €
			Subtotal	2.007,00 €
Concepto	Resumen	cantidad	precio	Importe
Materiales				
	Ordenador averiado por sobreesfuerzo	1	300	300,00 €
	Ordenador HP adquirido	1	899	899,00 €
	Días de consumo eléctrico derivado del uso del ordenador	7,79167	1,3	10,13 €
	Licencia de Microsoft Office	12	7	84,00 €
			Subtotal	1.293,13 €
			Total	3.300,13 €

3 RESUMEN DEL PRESUPUESTO

PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO.....3.300,13 €

Gastos generales	10%	330,01 €
Beneficios industriales	6%	198,01 €
	Subtotal	3.828,15 €
IVA	21%	803,91 €
	TOTAL	4.632,06 €

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo fin de grado:

Diseño de una red de abastecimiento de agua:

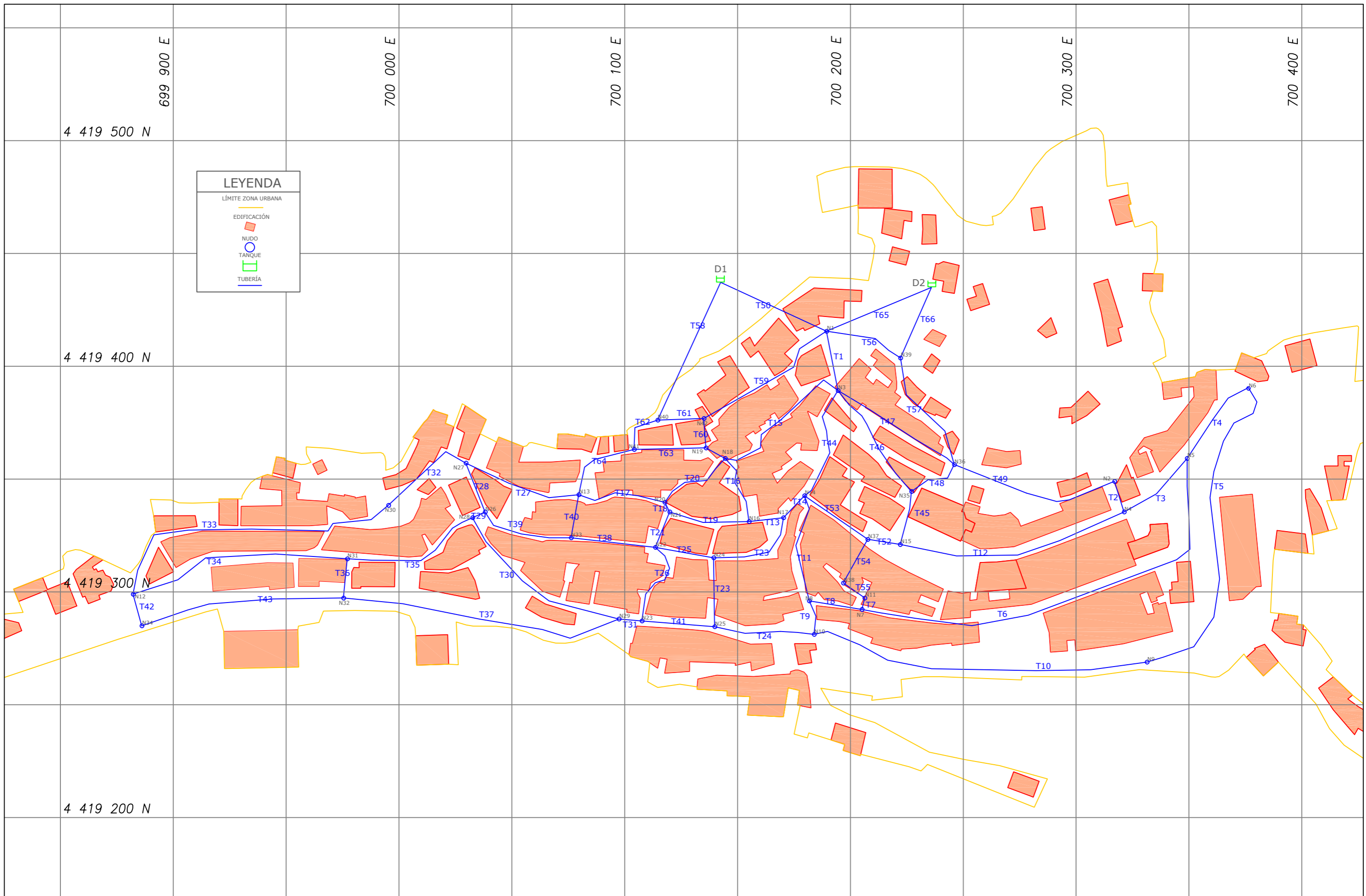
PLANO

Autor:

Ángel Lázaro Pérez

Tutor del proyecto:

Ricardo Cobacho Jordán



LEYENDA

- LÍMITE ZONA URBANA
- EDIFICACIÓN
- NUDO
- TANQUE
- TUBERÍA