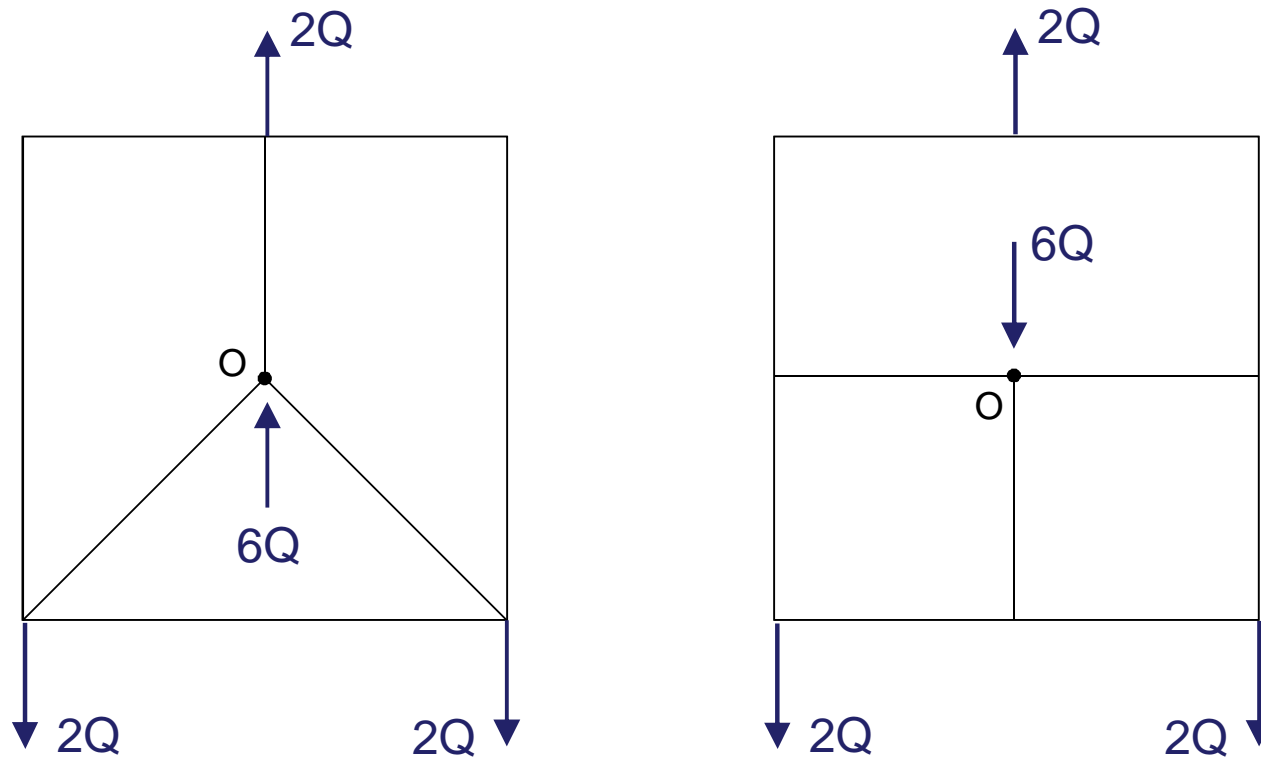




6. EJERCICIOS

EJERCICIO 15.1. *Para dar servicio a la demanda de agua existente en tres puntos de un núcleo urbano desde un depósito situado en el punto O se han diseñado dos redes de distribución:*





Se desea elegir razonadamente la más favorable tras el análisis de los siguientes puntos:

- 1) Funcionalidad*
- 2) Pérdidas de carga en los puntos de consumo*
- 3) Coste económico*

DATOS COMPLEMENTARIOS

Q = 200 l/s

Las mallas exteriores son cuadradas de 1.000 m de lado

El depósito se encuentra en el centro de la ciudad

La velocidad de circulación deseable será de 1 m/s

El diámetro mínimo a considerar es de 150 mm

Costes de las tubería (sin instalación) en función de la base de precios consultada

No se consideran pérdidas de carga localizadas



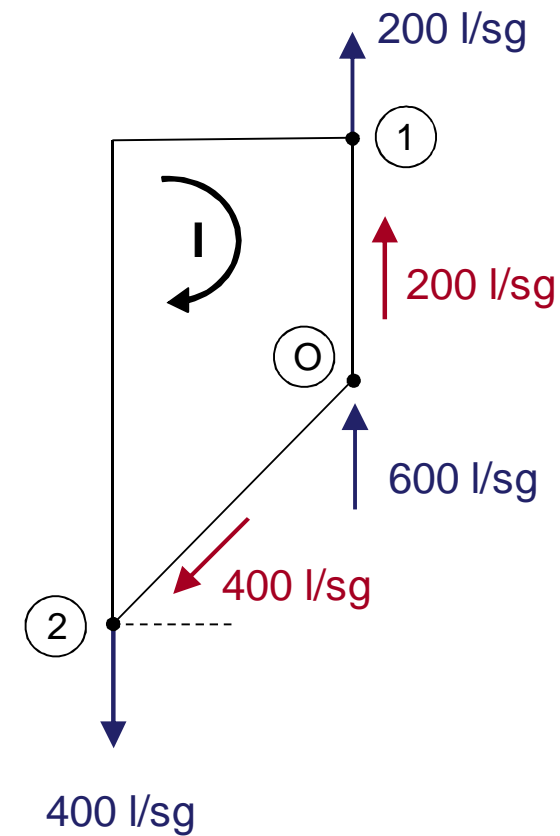
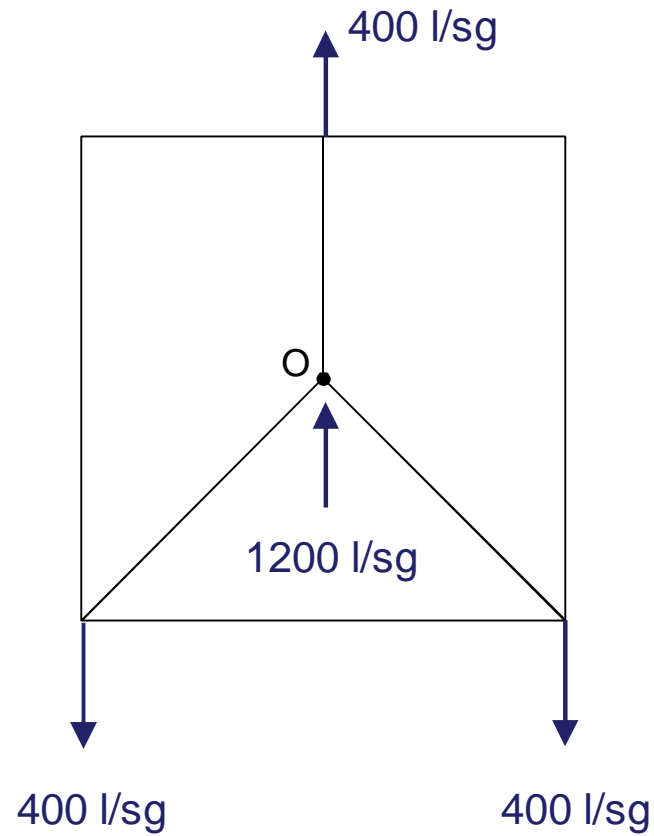
ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 15. Redes de distribución



Comenzamos con la **CONFIGURACIÓN Nº 1**

Fijamos los caudales y verificamos las simetrías existentes





ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 15. Redes de distribución



Realizamos un predimensionamiento de los tramos de la red:

Tramo	Q (m ³ /s)	D _{real} (mm)	D _{comercial} (mm)	V _{real} (m/s)
0 - 1	0.2	0.505	500	1.02
0 - 2	0.4	0.714	700	1.04
1 - 2	-	-	150	-

El diámetro lo obtenemos imponiendo que $v = 1$ m/s

Redondeamos al diámetro comercial correspondiente

Calculamos la velocidad real para el diámetro comercial

Por el tramo 1 – 2 no circula agua → Imponemos un diámetro mínimo

$$D_{real} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi}}$$

$$V_{real} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 15. Redes de distribución



Aplicamos el método de Hardy-Cross.

Las pérdidas de carga (con signo) las obtenemos aplicando la formulación de Hazen – Williams (1905):

$$h = \frac{10,674 \cdot Q^{1,85} \cdot L}{D^{4,87} \cdot C^{1,85}}$$

h = pérdida de carga (m)

Q = Caudal (m^3/s)

C = coeficiente de rugosidad (adim)

D = diámetro interno de la tubería

L = longitud de la tubería (m)

Finalmente
obtenemos
 ΔQ y Q_{final}

$$\Delta Q = - \frac{\Sigma h}{1,85 \Sigma h / Q}$$

$$Q_{final} = Q + \Delta Q$$

Tramo	D (m)	L (m)	Q (m^3/s)	h (m)	h/Q	ΔQ	Q_{final}
0 - 1	0.5	500	-0.2	-0.976	4.880	0.0007	-0.20
0 - 2	0.7	707	0.4	0.966	2.416	0.0007	0.40
1 - 2	0.15	1500	0	0.000	0.000	0.0007	0.00
				-0.010	7.296		





La distribución de caudales realizada ha sido correcta, ya que la ΔQ obtenida es prácticamente = 0 (no hay que hacer más tanteos).

A continuación deshacemos la simetría y calculamos el diámetro de la tubería 0-1.

Dado que las pérdidas (h) en el tramo se conservan, obtenemos:

$$h = \frac{10,674 \cdot Q^{1,85} \cdot L}{D^{4,87} \cdot C^{1,85}} \quad \rightarrow \quad D = \left[\frac{10,674 \cdot Q^{1,85} \cdot L}{h \cdot C^{1,85}} \right]^{1/4,87}$$

En este caso, hay que tener en cuenta a la hora de operar que:

$$Q_{0-1} = 2 \cdot Q_{f_{0-1}} = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ m}^3 / \text{s}$$

De esta forma
obtendremos:

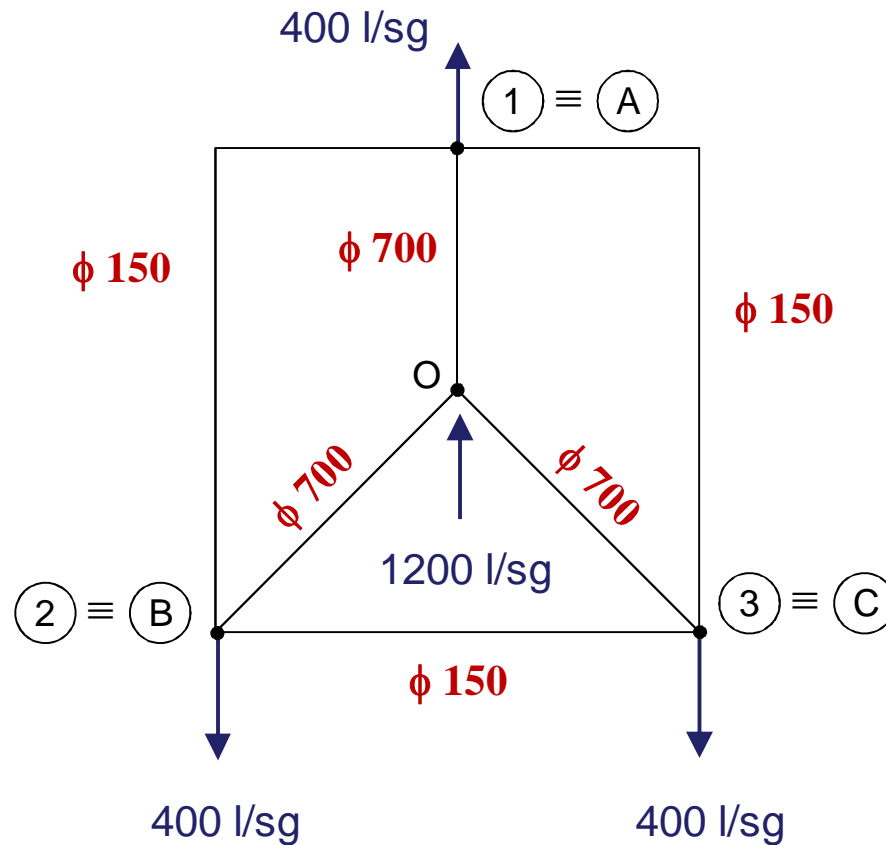
$$D = \left[\frac{10,674 \cdot 0,4^{1,85} \cdot 500}{0,976 \cdot 130^{1,85}} \right]^{1/4,87} = 0,650 \text{ m}$$

Adoptaremos como $D_{final} = 700 \text{ mm}$ (diámetro comercial)



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 15. Redes de distribución



En la figura adjunta se indican, tanto los diámetros obtenidos como los caudales de reparto en la **CONFIGURACIÓN Nº 1.**

Finalmente, obtenemos la pérdida de carga en los nudos de salida de caudal:

Punto A

$$h_{0-1} = 0,976 \text{ m}$$

Punto B

$$h_{0-2} = 0,966 \text{ m}$$

Punto C

$$h_{0-3} = 0,966 \text{ m}$$



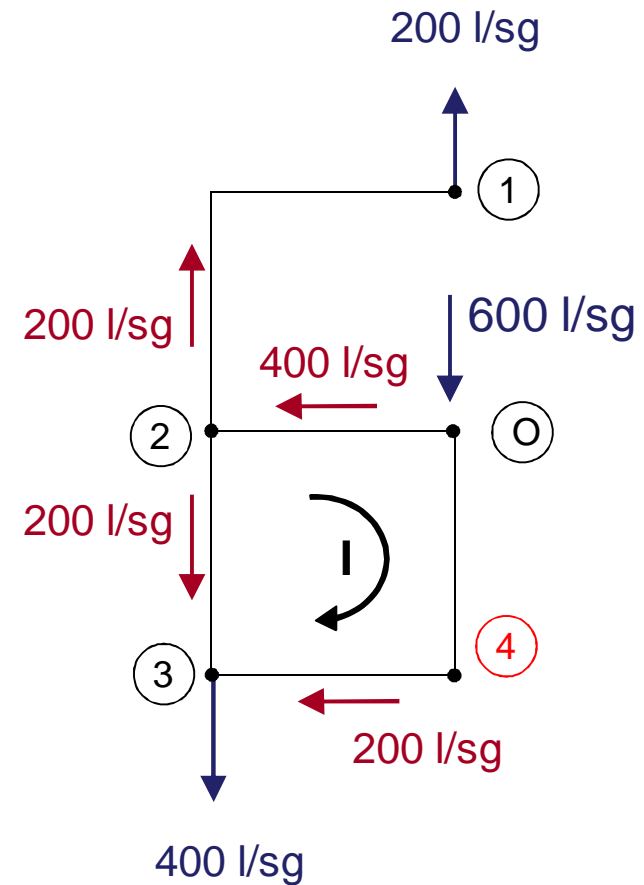
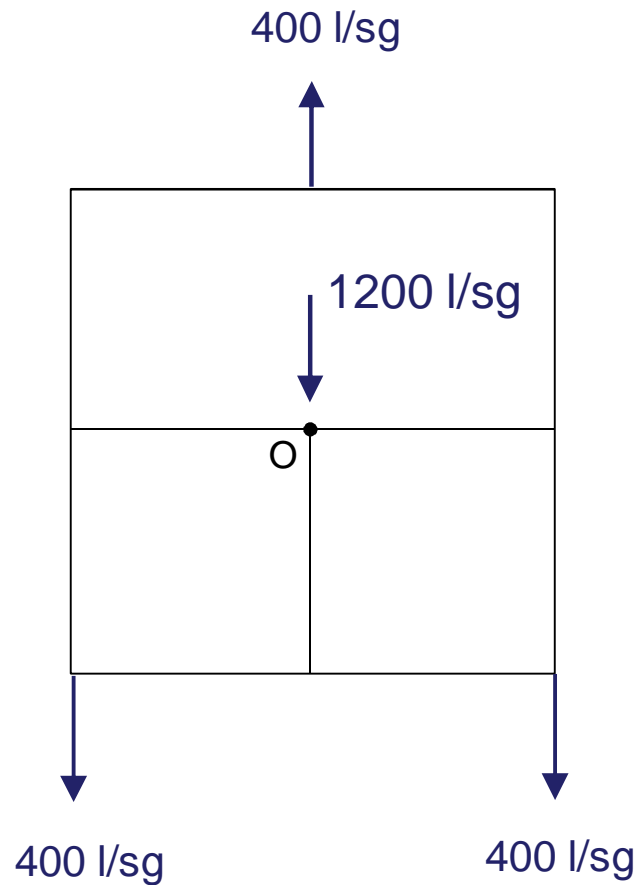
ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 15. Redes de distribución



Continuamos con la **CONFIGURACIÓN Nº 2**.

Fijamos los caudales y verificamos las simetrías existentes





ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 15. Redes de distribución



El nudo 4, al realizar la simetría, deja de ser un nudo (nudo ficticio).

Realizamos un predimensionamiento de los tramos de la red:

Tramo	Q (m ³ /s)	D _{real} (mm)	D _{comercial} (mm)	V _{real} (m/s)
0 - 2	0.4	0.714	700	1.04
2 - 3	0.2	0.505	500	1.02
0 - 3	0.2	0.505	500	1.02

El diámetro lo obtenemos imponiendo que $v = 1$ m/s

Redondeamos al diámetro comercial correspondiente

Calculamos la velocidad real para el diámetro comercial

El tramo 1 – 2 no lo consideramos, ya que el caudal que sale por el punto 2 es el caudal que sale por el punto 1

$$D_{real} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi}}$$

$$V_{real} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 15. Redes de distribución



Aplicamos el método de Hardy-Cross.

Las pérdidas de carga (con signo) las obtenemos aplicando la formulación de Hazen – Williams (1905):

$$h = \frac{10,674 \cdot Q^{1,85} \cdot L}{D^{4,87} \cdot C^{1,85}}$$

h = pérdida de carga (m)

Q = Caudal (m^3/s)

C = coeficiente de rugosidad (adim)

D = diámetro interno de la tubería

L = longitud de la tubería (m)

Finalmente
obtenemos
 ΔQ y Q_{final}

$$\Delta Q = - \frac{\Sigma h}{1,85 \Sigma h / Q}$$

$$Q_{final} = Q + \Delta Q$$

Tramo	D (m)	L (m)	Q (m^3/s)	h (m)	h/Q	ΔQ	Q_{final}
0 - 2	0.7	500	-0.4	-0.683	1.709	-0.010	-0.41
2 - 3	0.5	500	-0.2	-0.976	4.880	-0.010	-0.21
0 - 3	0.5	1000	0.2	1.952	9.759	-0.010	0.19
				0.293	16.348		



La distribución de caudales realizada ha sido correcta, ya que la ΔQ obtenida es pequeña (no hay que hacer más tanteos).

A continuación deshacemos la simetría y calculamos el diámetro de la tubería 0-4.

Las pérdidas (h) en el tramo 0-4 serán la mitad de las obtenidas para el tramo 0-3, ya que 4 es un nudo ficticio:

$$h_{0-4} = h_{0-3} / 2 = 1,985 / 2 = 0,975 \text{ m}$$

En este caso, hay que tener en cuenta a la hora de operar que:

$$Q_{0-1} = 2 \cdot Q_{f_{0-1}} = 2 \cdot 0,19 = 0,38 \text{ m}^3 / \text{s}$$

De esta forma obtendremos:

$$D_{0-4} = \left[\frac{10,674 \cdot Q^{1,85} \cdot L}{h \cdot C^{1,85}} \right]^{1/4,87} = \left[\frac{10,674 \cdot 0,38^{1,85} \cdot 500}{0,975 \cdot 130^{1,85}} \right]^{1/4,87} = 0,638 \text{ m}$$



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 15. Redes de distribución



Adoptaremos para el tramo 0-4 un $D_{final} = 700$ mm (diámetro comercial)

Por último, obtenemos las características del tramo 1-2

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{1-2}}{\pi}}$$

$$D_{1-2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,2}{\pi}} = 0,504 \text{ m}$$

Por tanto, adoptaremos un valor de $D_{1-2} = 500$ mm

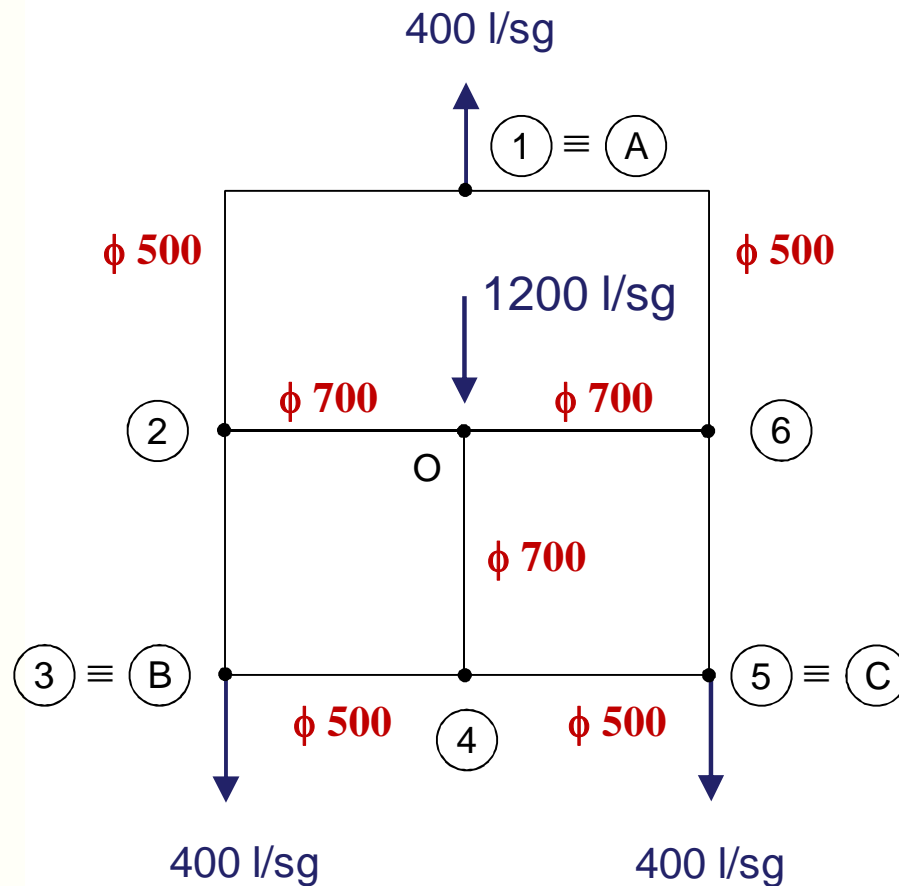
Finalmente, calcularemos las pérdidas en el tramo 1-2:

$$h_{1-2} = \frac{10,674 \cdot Q^{1,85} \cdot L}{D^{4,87} \cdot C^{1,85}} = \frac{10,674 \cdot 0,2^{1,85} \cdot 1000}{0,5^{4,87} \cdot 130^{1,85}} = 1,95 \text{ m}$$



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 15. Redes de distribución



En la figura adjunta se indica, tanto los diámetros obtenidos como los caudales de reparto en la **CONFIGURACIÓN Nº 2**.

Obtenemos la pérdida de carga en los nudos de salida de caudal:

Punto A

$$\begin{aligned} h_{0-1} &= h_{0-2} + h_{2-1} \\ &= 0,683 + 1,95 = \\ &= 2,63 \text{ m} \end{aligned}$$

Punto B

$$h_{0-3} = 1,952 \text{ m}$$

Punto C

$$h_{0-5} = 1,952 \text{ m}$$



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 15. Redes de distribución



Finalmente, calculamos el coste económico de ambas configuraciones, partiendo de la base de precios de la MCT (ejemplo tubería de DN700):

<u>Código</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Ud</u>	<u>Descripción</u>	<u>Precio</u>
MT41.015	1,0000	ML	TUBERIA DE FUNDICION DUCTIL CENTRIFUGADA DE DIAMETRO NOMINAL DN700 CLASE K09 FABRICADA SEGÚN UNE-EN-545, REVESTIDA INTERIORMENTE CON MORTE-RO DE CEMENTO APTO PARA AGUA POTABLE CERTIFI-CADO Y EXTERIORMENTE METALIZADO CON ZINC Y ACA-BADO CON PINTURA BITUMINOSA, JUNTA ELASTICA, RESTO DE CARACTERISTICAS SEGUN PLIEGO, INCLUSO MANGA DE POLIETILENO, PARA INSTALAR IN SITU A PIE DE OBRA.	358,00

En nuestro caso los precios obtenidos serán:

$$\phi 150 = 42 \text{ €/m}$$

$$\phi 500 = 173 \text{ €/m}$$

$$\phi 700 = 358 \text{ €/m}$$

Coste de la CONFIGURACIÓN Nº 1:

$$\begin{aligned} \text{Coste}_{01} &= 42 \text{ €/m} \cdot (4 \cdot 1000 \text{ m}) + 358 \text{ €/m} \cdot (500 \text{ m} + 2 \cdot 707 \text{ m}) = \\ &= 853212 \text{ €} = 0,85 \text{ M€} \end{aligned}$$

Coste de la CONFIGURACIÓN Nº 2:

$$\begin{aligned} \text{Coste}_{02} &= 173 \text{ €/m} \cdot (4 \cdot 1000 \text{ m}) + 358 \text{ €/m} \cdot (3 \cdot 500 \text{ m}) = \\ &= 1229000 \text{ €} = 1,22 \text{ M€} \end{aligned}$$



A continuación razonaremos cual de las dos opciones es la elegida.

1) Si tenemos en cuenta que la funcionalidad se evalúa en función de la garantía de suministro en caso de avería, comparando ambos casos se verifica que existe una gran diferencia de recorrido entre los tramos directos de consumo y su alternativa en caso de fallo en el sistema en la configuración 1.

2) En cuanto a las pérdidas de carga en los puntos de consumo comparamos ambas configuraciones.

Vemos que la configuración 1 presenta unas menores pérdidas de carga pero la diferencia con la configuración 2 está en torno a 1 m, con lo cual no se pueden considerar significativas.

Punto	Conf 01	Conf 02
A	0,976 m	2,63 m
B	0,966 m	1,952 m
C	0,966 m	1,952 m

3) En cuanto al coste económico, la configuración nº 2 es 1,4 veces más cara que la configuración 1.

Por tanto, dado que la explotación con la **configuración 2** es de más calidad, no existen tramos con flujo nulo (reducción de la calidad del agua) y la diferencia de pérdidas no es significativa, optaremos por esta configuración, pese a su mayor coste inicial.