

Módulo: Abastecimiento y saneamiento
urbanos

**REDES DE
DISTRIBUCIÓN**

AUTOR: RAFAEL MOLIÁ

Sumario

REDES DE DISTRIBUCIÓN	3
1 DEFINICIÓN	3
2 ESTRUCTURA JERARQUICA	3
3 TIPOLOGIAS.....	4
4 ELEMENTOS QUE INTEGRAN UNA RED	4
4-1 Tuberías	4
4-2 Depósitos	4
4-3 Elevadoras	5
4-4 Otros elementos singulares.....	6
5 CRITERIOS DE DISEÑO	6
5-1 Topología.....	7
5-2 Diámetros mínimos y velocidades.....	9
5-3 Presión de servicio.....	10
5-4 Consumos.....	10
5-5 Tipos de tubería	13
6 CALCULOS HIDRAÚLICOS	13
6-1 Hipótesis de cálculo.....	14
6-2 Dimensionamiento	15
7 RED DE DISTRIBUCIÓN DEL CANAL DE ISABEL II	16

Redes de distribución

1 Definición

Una red de distribución de agua potable es el conjunto de instalaciones que la empresa de abastecimiento tiene para transportar desde el punto o puntos de captación y tratamiento hasta hacer llegar el suministro al cliente en unas condiciones que satisfagan sus necesidades.

Este grado de satisfacción tiene un elevadísimo número de componentes, unos medibles y otros no, y entre los que podemos destacar la calidad, el caudal, la presión, la continuidad del suministro y el precio.

Naturalmente todos estos componentes tienen unos antecedentes a la red de distribución, por lo que los parámetros iniciales vienen prefijados. Por tanto, debemos crear es una red de distribución que altere lo menos posible las características de los componentes, minimizando la variación de satisfacción de las necesidades de los clientes.

2 Estructura jerárquica

Las redes de distribución de agua se estructuran según el tipo de función que desempeñan y que tienen una relación directa con la serie decreciente de los diámetros con el fin de ajustarse a la distribución de consumos, a la reducción de pérdidas de carga, hacer frente a situaciones imprevistas y a reducir el coste.

Los niveles en los que se clasifican son: Aducción, Distribución Urbana y acometidas.

Las conducciones de **aducción** son las grandes arterias de transporte que recogen el agua desde los puntos de captación o tratamiento y llegan hasta la zona urbana.

La red de **distribución urbana** es la que toma el agua de la aducción directamente o de los diferentes depósitos reguladores (cabecera, intermedio o cola) y la distribuye entre todos los puntos de consumo. Dentro de esta red se ha de distinguir las redes de transporte interzonales.

En el caso de la red de Madrid, esta red de transporte está compuesta por las tuberías superiores a 300 mm. y de las que no se permite derivar acometidas.

Existen redes sin transporte interzonal, en las que el modelo es del tipo homogéneo, siendo su funcionamiento equivalente al de un gran acuífero y que puede ser útil e incluso más económico en aquellos abastecimientos que tengan una escasa variación altimétrica, una trama urbana muy cerrada y un elevado número de puntos de unión con la red de aducción.

Esta red de distribución urbana ha de tener una capacidad suficiente para suministrar los caudales contra incendios y de emergencias.

Por último las **acometidas** son las que partiendo de la derivación de la tubería general suministran al cliente.

La elección del tipo de acometida así como la exigencia de una ejecución correcta tiene una importancia considerable, pues es en este nivel de la red en el que se acumulan entre el 70 y el 80% de las intervenciones directas de una red de distribución.

3 Tipologías

Las redes de distribución en general o bien según su función o localización por áreas pueden ser de dos grandes tipos: **Ramificada y Mallada**.

- Una **red Ramificada** es aquella que va uniendo los diferentes puntos de consumo con una única tubería.
- Una **red Mallada** es la que va formando cuadrículas, consiguiéndose que cada punto de consumo tenga más de una vía de flujo.

Las diferencias más notables entre ambas son el coste y la calidad, teniendo que sopesar ambas a la hora de declinar la elección.

4 Elementos que integran una red

Toda red de distribución de agua está formada por los siguientes elementos:

- Tuberías
- Depósitos.
- Elevadoras.
- Otros elementos singulares.

4-1 Tuberías

Es el elemento de transporte de fluidos por excelencia.

Las tuberías vienen definidas por su diámetro, material de constitución y tipo de junta.

El diámetro viene definido del cálculo hidráulico de la red y tanto el material como los tipos de juntas se recogen en otra exposición de este curso.

4-2 Depósitos

Los depósitos dentro de una red de distribución tienen las funciones de almacenamiento y de regulación de caudales y presiones.

La mayor parte de los tratados aconsejan que el volumen de los depósitos sea equivalente al consumo del día punta (24 horas). Ahora bien, conforme sean las características de las fuentes de suministro esta premisa puede ser excesiva o escasa.

Por ejemplo, en grandes conducciones en las que se establezca un régimen de conservación, puede que se requiera tenerla fuera de servicio un tiempo mayor, con la consiguiente necesidad de almacenamiento.

La capacidad de los depósitos de una red de distribución viene definida por la posición de equilibrio entre el tiempo de abastecimiento cubierto, el tiempo medio de estancia en la red y el aspecto económico.

Disponer de una reserva excesiva, además de suponer una inversión muy fuerte, produce un tiempo de permanencia elevado con la consiguiente disminución de la calidad del agua.

Tradicionalmente la construcción de los depósitos se realizaba bien con fábrica de diferentes materiales o bien con hormigón in situ, tanto en masa como armado. En la actualidad los elementos prefabricados tienen un lugar predominante, pues abarcan un amplio abanico tanto de volúmenes como de geometría con una disminución notable del tiempo de puesta en servicio, aunque no tanto económicamente.

La circulación del agua en el depósito debe estudiarse para evitar zonas muertas, siendo recomendable que la entrada y la salida del mismo se realice en puntos hidráulicamente opuestos.

La creación de cámaras aisladas depende tanto de la capacidad total del mismo, como de la posibilidad de ser solapado o no por otro depósito de la red.

No debe olvidarse que se ha de disponer de una capacidad de almacenamiento para el abastecimiento puntual en casos de emergencia.

Los aspectos de seguridad requieren de una atención especial tanto para la protección a terceros como de nuestras instalaciones frente a ellos. Así pues deberá protegerse la posible caída de personas o animales tanto como la imposibilidad de introducción de elementos extraños en él, protegiendo mediante sistemas sifónicos los respiraderos, con derivación a los desagües.

Al tener un ambiente elevadamente agresivo el interior de los depósitos, es muy conveniente que las diferentes cámaras de válvulas estén aisladas del mismo.

La relación de funciones sobre las que debemos actuar en un depósito son:

- Corte o regulación de la entrada.
- Corte o regulación de la salida.
- Desagüe.
- Alivio de excesos.
- Conexión y aislamiento de cada compartimento.
- Control de drenaje.
- Rotura de carga de la entrada.

Para cada una de estas funciones existen en el mercado válvulas específicas que se han diseñado para cada cometido.

4-3 Elevadoras

Este punto será tratado en una próxima lección dentro de este curso.

4-4 Otros elementos singulares

A continuación se hace una sucinta enumeración del resto de elementos singulares que se ubican en una red de distribución:

- Enlaces entre alineaciones (codos, te, reducción, etc.).
- Válvulas de corte.
- Ventosas y purgadores.
- Desagües y purgas manuales.
- Válvulas de retención.
- Válvulas reguladoras de presión y caudal.
- Válvulas de sobrevelocidad o sobrepresión.
- Hidrantes.
- Dispositivos de riego y baldeo.
- Fuentes públicas.
- Cámaras de descarga.
- Estaciones de toma de muestras.
- Estaciones de adición de aditivos.
- Entradas de hombre y registros.
- Caudalímetros y contadores.

5 Criterios de diseño

El diseño de redes debe basarse en la funcionalidad del servicio que se ha de prestar al futuro usuario y en la racionalidad del uso del recurso.

En este sentido la red debe llevar el agua desde las fuentes de suministro y tratamiento, en cantidad suficiente, a los puntos de consumo, pero también tiene que cumplir otra serie de objetivos.

- Mantener la garantía de potabilidad.
- Limitar las pérdidas de agua.
- Capacidad de transportar y distribuir la demanda total.
- Asegurar una presión en el punto de destino.
- Evitar las erosiones en las tuberías y limitar las pérdidas de carga.
- Economía de instalación y conservación.
- Tener el mínimo posible de interrupciones del servicio a lo largo de la vida útil de la red.
- Poder medir y controlar todos los consumos que se deriven de la red y las posibles fugas.

- Maniobrar la red con facilidad, para corregir anomalías.

5-1 Topología

En primer lugar hemos de definir el tipo de red que se desea, (ramificada o ma-llada) bien en su conjunto, por su función o por áreas.

En conducciones de transporte interzonal y en aducciones hay que instalar válvulas de corte, a distancias de 1.000 a 3.000 diámetros. En otro caso cada vez que se haga una maniobra se puede desperdiciar mucha agua y se retrasan mucho las maniobras de llenado y vaciado.

También es necesario la colocación de válvulas de corte que aislen partes de la red urbana con el fin de que cada corte afecte a pocos usuarios. En Madrid, el Canal de Isabel II fija la máxima zona afectada en 1.500 habitantes o 5 hectáreas, pero es preferible zonas mucho menores.

Para posibilitar las maniobras de llenado, así como para poder evacuar agua o aire de la tubería en servicio, se deben colocar ventosas o purgadores en los puntos altos relativos o absolutos de cada tramo de corte y desagües en los puntos bajos, que deberán estar acometidos a la red de saneamiento o a un cauce natural con capacidad suficiente.

Las zonas de presión elevada han de disponer de reguladoras de presión para reducir y regularizar ésta. No se recomiendan las válvulas reductoras simples, puesto que no mantienen un servicio de características constantes. Es aconsejable la instalación de dos válvulas reductoras en paralelo mediante un pantalón, pues este tipo de elementos requiere de un mantenimiento con su consiguiente puesta fuera de servicio.

El trazado de la red de distribución debe discurrir por terrenos de dominio público o en caso contrario proceder a la expropiación de los mismos.

En la vía pública, los diferentes servicios han de distribuirse de forma que no se interfieran, por ello tanto los Ayuntamientos como las respectivas Compañías suelen fijar unas distancias mínimas en relación al resto de los trazados.

Así, el **Canal de Isabel II** tiene como norma la siguiente:

SERVICIO	SEPARACION PLANTA	SEPARACION ALZADO
Alcantarillado	60 cm.	50 cm.
Gas	50 cm.	50 cm.
Electricidad alta	30 cm.	30 cm.
Electricidad baja	20 cm.	20 cm.
Señalización-semaforos	20 cm.	20 cm.
Telefonica	30 cm.	30 cm.

El **Ayuntamiento de Madrid**, establece unas recomendaciones para la disposición de servicios en la vía pública:

- En aceras con anchura superior a 5,20 m., la distribución será:

ALUMBRADO Y REGULACION TRAFICO	RED DE RIEGO	AGUA	TELEFONO	GAS	ENERGIA ELECTRICA	SEPARACION A FACHADA
1,60 M.	0,60 M.	0,80 M.	0,65 M.	0,70 M.	0,70 M.	0,15 M.

- Cuando no se disponga de esta anchura mínima, se dispondrán en las dos aceras, procurando respetar las distancias y posiciones relativas.
- La tubería de agua potable se instalará siempre a menor profundidad que la del alcantarillado y a una distancia mínima de ella tanto en horizontal como en vertical de 1,00 m.
- La separación entre conductores eléctricos y una segunda canalización, se ajustará a los valores:

SEGUNDA CANALIZACION DE SERVICIOS	SEPARACION ENTRE CONDUCTORES, ELECTRICOS Y LA 2ª CANALIZACIÓN		POSICIÓN RELATIVA ENTRE LOS CONDUCTORES ELECTRICOS Y LA 2ª CANALIZACIÓN
	DISTANCIAS MÍNIMA EN PLANTA	DISTANCIA MÍNIMA EN CRUCE	
Gas Agua Teléfono	0,20 m.	0,20 m.	El conductor, eléctrico estará situado a mayor profundidad
Otro conductor Eléctrico	0,25 m.	0,25 m.	

- La separación de las tuberías de gas con otras canalizaciones u obras subterráneas se ajustarán a los valores:

TIPO DE TUBERIA DE GAS	PRESIÓN DE SERVICIO	SEPARACIÓN CON OTRAS CANALIZACIONES Y OBRAS SUBTERRÁNEAS	
		PROXIMIDAD MÍNIMA EN PLANTA	PROXIMIDAD MÍNIMA EN CRUCE
Alta presión b Alta presión a	P > 12 bar 4 bar < p < 12 bar	0,40 m.	0,20 m.
Media presión b Media presión a Baja presión	0,4 < p < 4 bar 0,05 bar < p < 0,4 bar P < 0,05 bar	0,20 m.	0,10 m.

- El alcantarillado se dispondrá, preferentemente, en la calzada a una profundidad mínima de 1,50 m. si recoge solamente aguas pluviales y a una profundidad mínima de 3,00 m. si también recoge aguas residuales.

Como puede verse las distancias mínimas varían de unas normas a otras, por ello y a criterio de las diferentes compañías, en los puntos donde no se pueda cumplir se deberán disponer de las medidas de protección singulares que se requiera.

Tradicionalmente las bocas de riego se instalaban directamente de la red de distribución como si de una acometida más se tratara.

Este tratamiento ha ido modificándose hasta el punto en que en la actualidad la tendencia es que las diferentes bocas de riego tomen de una red independiente de la del abastecimiento, si bien con puntos de unión con ésta, con las válvulas de corte pertinentes.

Los motivos que aconsejan este tratamiento son entre otros, el menor empleo del agua potable para el baldeo y limpieza de calles, la necesidad de controlar el agua usada por evitar derroches, el riesgo de acumulación de agua estancada en época de menor demanda para estos usos y por último el ir previendo una red que en el futuro permita aislar estos usos en los que se puede emplear agua proveniente de las estaciones depuradoras o de puntos de captación sin tratamiento.

5-2 *Diámetros mínimos y velocidades.*

Estadísticamente, para materiales iguales, el número de roturas por kilómetro aumenta conforme se reduce el diámetro.

Por este motivo y por la necesidad de unificar diámetros para minimizar el stock de piezas para la reparación de averías, la gran mayoría de empresas de abastecimiento tienen fijados unos diámetros mínimos de las tuberías a instalar.

En el caso de Madrid, el Canal de Isabel II tiene fijados los siguientes diámetros mínimos:

- En red:
 - 100 mm. para red urbana.
 - 150 mm. para zona industrial.
 - 80mm. en pequeños núcleos de menos de 5.000 habitantes.
 - 150 mm. para red urbana con hidrantes.
- En acometidas:
 - 20 mm. para unifamiliares.
 - 40 mm. para incendios.

La velocidad de diseño de una red viene en función de las demandas y diámetros de las tuberías.

La velocidad media mínima suele fijarse en 0,1 m/s con una permanencia máxima del agua en la red de 2 a 3 días.

La velocidad máxima viene limitada por las pérdidas de carga, que se ha de estudiar en el cálculo de la red y la erosión en las tuberías. Es muy habitual que estas veloci-

dades máximas estén próximas a 1 m/s en conducciones de pequeño diámetro y no superen los 3 m/s en las de mayor calibre.

El Canal de Isabel II fija las siguientes velocidades máximas:

$\varnothing > 800 \text{ mm.}$	$V \leq 2,5 \text{ m/s}$
$300 < \varnothing \leq 800 \text{ mm.}$	$V \leq 2,0 \text{ m/s}$
$\varnothing \leq 300 \text{ mm.}$	$V \leq \boxtimes 2,1 (\varnothing + 0,2) - 0,6$

\varnothing = diámetro tubería en dm.

V = velocidad en m/s

5-3 *Presión de servicio*

El axioma de que la calidad del servicio de distribución de agua aumenta proporcionalmente con la presión de suministro, esta generalizado si bien la variable presión presenta un límite superior.

La presión de servicio de una red de distribución oscila notablemente de unos abastecimientos a otros, en función de la presión disponible respecto a la salida de la planta de tratamiento, la orografía de la zona a abastecer, las características intrínsecas de la red y las necesidades a satisfacer de los clientes.

En Madrid, el Canal de Isabel II procura que la presión máxima en la red no exceda de 6 atm. y la mínima no baje de 2,5 atm. o del 75% de la presión estática.

Estos límites son unos parámetros fijados unilateralmente, no existiendo ninguna obligación contractual de mantenerlos, si bien en aras de uniformizar calidad de suministro, el Canal de Isabel II pone todos los esfuerzos para su estricto cumplimiento.

A título informativo dejamos constancia que las instalaciones interiores de los edificios deben probarse a 15 atm. y los fabricantes de electrodomésticos los garantizan hasta 6 atm.

5-4 *Consumos*

Junto con la topología de la red, la evaluación de consumos son los puntos de partida del diseño de una red.

Hay dos procedimientos para fijar el caudal de diseño de una instalación:

- Valorar el caudal medio de la zona y afectarlo de un coeficiente de punta que lo aumenta.
- Estimar el consumo máximo de cada elemento y a la suma total aplicar un coeficiente de simultaneidad que lo reduce.

Lo más frecuente es emplear el primer procedimiento para obtener el caudal de diseño de redes generales y el segundo para estimar el de las acometidas.

El segundo método no debe emplearse para dimensionar instalaciones que deben diseñarse para caudal medio.

Ambos procedimientos coinciden en el entorno de los 10 l/s.

Dado que la estadística de simultaneidades no es muy abundante y además da una gran dispersión de valores, la elección del diámetro mínimo, que en el caso del Canal de Isabel II es de 100 mm., sirve de apoyo y da una homogenización en la obtención del dimensionamiento de una red.

Los consumos medio anual o estacional pueden obtenerse de estadísticas de la región o de zonas de abastecimiento similares, contando con una previsión de la evolución de consumos y estableciendo un máximo probable para un horizonte de 20 años y aún superior en redes urbanas.

Los coeficientes de punta han de englobar una serie de factores tales como el coeficiente de estacionalidad, coeficiente semanal y el de punta instantánea.

Habitualmente se puede disponer de puntas diarias de consumo y distribución porcentual de los caudales, con ello se puede disponer de una punta solo superada estadísticamente un número de horas o minutos al año. Se suele fijar en 2 horas al año el tiempo en que se supere la punta prevista, hay que tener en cuenta que bajar este tiempo conduce a un aumento desproporcionado de las inversiones.

En zonas ocupadas sólo en temporada, la estadística es aún más enrevesada pero se puede aplicar en general valores finales análogos a los de otras similares con mayor ocupación.

Las empresas de abastecimiento tienen unas tablas para la determinación de dotaciones cuyo empleo puede ser meramente orientativo o de obligado cumplimiento. Así la establecida por el Canal de Isabel II es la siguiente:

DOTACIONES	
Viviendas Unifamiliares	
≤ 500 m ²	2.000 l/vivienda y día
de 500 a 1.000 m ²	2.500 l/vivienda y día
> 1.000 m ²	3.500 l/vivienda y día
Viviendas Multifamiliares	
Area de densidad ≤ 40 Viv./ha	350 l/persona y día
Area de densidad > 40 Viv./ha	300 l/persona y día
Polígono industrial	
Edificabilidad ≤ 0,5 m ² /m ²	1 l/s x Ha
Edificabilidad > 0,5 m ² /m ²	0,7 l/s x Ha
Terciario	0,0001 l / s x M ²
Hidrantes de 80 mm.	500 l/minuto
Hidrantes de 100 mm.	1.000 l/minuto
Riegos: 1.800 m ³ /Ha y año. Caudal Punta 0,7 l/s x Ha	

FACTOR PUNTA EN RED	
Zona de vivienda	2,5
Zona de industria o comercio	3,0

FACTOR PUNTA EN CONEXIONES	
Urbanización de viviendas o industrial	
Superficie bruta ≤ 10 Ha	2,5
Superficie bruta 10 a 50 Ha	2,0
Superficie bruta > 50 Ha	1,7
Usos terciarios	
Superficie edificada ≤ 50.000 m ² .	2,5
Superficie edificada intermedia	2,0
Superficie edificada > 100.000 m ²	1,7

5-5 *Tipos de tubería*

La elección del tipo o tipos de tubería con los que se va a configurar la red de distribución tiene también una repercusión muy considerable.

En primer lugar y ya para la fase del cálculo hidráulico, según el tipo de tubería que se emplee partiremos de unos coeficientes de rozamientos diferentes.

Las velocidades máximas han de ser tales que no produzcan erosión en las tuberías.

El material empleado ha de garantizar una adecuada resistencia, durabilidad y protección sanitaria, así como la necesidad de la existencia de piezas con las que se puede fácilmente proceder a subsanar las averías producidas en la red.

Partiendo de la distribución de precios unitarios en el ámbito de España, debe tenerse en cuenta que en una zona ya pavimentada, el coste de una renovación de red fácilmente triplica o más, al de una instalación nueva en tierra. En una instalación en tierra, la tubería puede suponer un 60% del coste y el tubo en sí un 40% como máximo, es decir que el ahorro en esta partida dejando una red menos duradera no se justifica.

6 **Calculos hidráulicos**

El cálculo hidráulico de una red de distribución se obtiene de la resolución de un sistema de ecuaciones, que plantean:

- el equilibrio de caudales.
- el equilibrio energético.

En la actualidad todo el procedimiento de cálculo se traduce en programas de ordenador, pero es fundamental el conocimiento del planteamiento teórico así como muy recomendable la comprobación numérica sencilla en nudos o tramos para la ratificación de los resultados obtenidos por el programa.

A efectos prácticos los diferentes programas, que se encuentran en el mercado se diferencian en:

- Volúmen de información (nº de nudos, mallas, etc.) que pueden procesar.
- Elementos de la red que pueden simular (bombas, reguladoras, etc.).
- Confort de las entradas y salidas.
- Facilidad para recalcular tras variaciones, aprovechando los datos.
- Posibilidad de entrada y salida gráfica, mejor aún compatible con un CAD convencional.
- Velocidad de cálculo.
- Posibilidad de cálculo dinámico (funcionamiento en 24 horas, etc.).
- Actualmente en un PC se puede calcular redes de miles de nudos y mallas.

6-1 *Hipótesis de cálculo*

Se debe comenzar por fijar los datos numéricos de partida.

- Caudal punta.
- Presión disponible en origen.
- Velocidades máxima y mínima.
- Presiones máxima y mínima en los puntos de consumo.
- Distribución geométrica de caudales.
- Rugosidad.

No siempre es fácil fijar los puntos de consumo debido a indefinición de las edificaciones a la hora de realizar el cálculo, por ello la distribución de consumos, se suele hacer asignando valores a los tramos o nudos en que realmente se van a producir. Cuando este dato no está claro, se debe acudir a distribuirlo uniformemente por unidad de longitud de los ramales destinados a derivar acometidas.

En principio esto es suficiente, no teniendo desviaciones superiores al 5% entre la realidad y el cálculo de pérdidas de carga.

En cuanto al dato de rugosidad del tubo, habitualmente se consideran en tuberías de acero soldado sin pestañas o fundición de 0,05 mm., de partida pero se ven pronto incrementadas por incrustaciones y corrosiones hasta el milímetro y más.

En tuberías fundición revestida y en tuberías en general recubiertas de mortero centrifugado se pueden obtener rugosidades permanentes de 0,1mm. En tuberías revestidas de epoxi y tuberías plásticas sin irregularidades en las juntas el valor es de 7 micras y menos.

En aguas que puedan formar depósitos calcáreos, estas cifras y el calibre real se pueden ver muy alteradas, con el agua de Madrid en general no, salvo velocidades muy bajas.

La elección de la fórmula para la evaluación de las pérdidas de carga no tiene una gran importancia, si bien la fórmula más exacta es la de Colebrook, las fórmulas exponenciales no se diferencian mucho. En la gama de las redes de distribución se aproxima bastante la de Hazen Williams.

Pérdida de carga Colebrook

$$J = \frac{\lambda V^2}{2gD}$$

Pérdida de carga Hazen-Williams

$$J = 6,819 \left(\frac{V}{C_{wh}} \right)^{1,852} \cdot D^{-1,167}$$

Siendo:

- J - Pérdida de carga.
 λ - Coeficiente de pérdida de carga.
D - Diámetro de la tubería (m.)
V - Velocidad media en la sección (m/s).
 C_{wh} - Coeficiente de pérdida de carga.

6-2 Dimensionamiento

El primer paso para el dimensionamiento de una red es el trazarla en planta con el único objetivo de llegar a todos los puntos de suministro.

Los diferentes pasos que se han de dar hasta la obtención de la red general son:

- 1 Definir las líneas de aducción y transporte interzonal caso de ser necesarias.
- 2 Diseñar una red en árbol que llegue a los centros de gravedad de las áreas de consumo. Esta red se puede realizar aprovechando trazados que permitan suministrar a las acometidas, en el caso que la categoría jerárquica de la tubería lo consienta.
- 3 Mallar la red principal.
- 4 Trazar la totalidad de las tuberías evitando en lo posible testers.

Después de cada uno de estos pasos se va calculando la red lo que, hasta el paso 3, permite definir unívocamente los diámetros.

La red básica se puede predimensionar hasta el paso 3 con caudales sobre el 80% del máximo de diseño.

Ya en el punto 3 disponemos de una herramienta de simulación de un corte de agua, que es lo que va a forzar a que el cierre de la malla principal sea de calibres iguales o parecidos a los del árbol inicial.

En el punto 4, al trazar con diámetros mínimos y calcular el resultado suele ser suficiente con una comprobación. Además muchas veces se observa que se pueden reducir diámetros.

Todos estos cálculos hemos de realizarlos con las hipótesis de:

- Consumo punta.
- Consumo nulo o presión estática.
- Consumo punta con dos hidrantes funcionando.

En esta última hipótesis se permite reducir la presión mínima a 1,5 atms. y sin limitación de velocidad.

Estas hipótesis se pueden aumentar con supuestos de rotura, variación de la distribución de caudales entre los nudos, puntas inferiores, caudal medio, etc.

Por todo lo expuesto, se comprende que no existe ningún sistema que permita un dimensionamiento automático y sensato de la redes, por lo que para hacer éste hay que establecer un orden de trabajo y entrar en un proceso iterativo del que sólo se sale cuando el diseñador se siente satisfecho.

No debemos extrañarnos que dos técnicos con las mismas normas y bases de partida den dos soluciones que no se parecen demasiado, salvo de forma curiosa en el presupuesto total.

La influencia de las diferentes variables, y siempre que nos movamos en valores admisibles, están en el entorno siguiente:

- Esquema de la red 100%
- Calibres 90%
- Caudal total 70%
- Rugosidad 10%
- Fórmula 5%
- Distribución del caudal 5%

A título simplemente orientativo y como comparación, daremos el dato del diámetro de la malla principal con los supuestos de 3 l/s de caudal punta y dos hidrantes en ella:

- Superficie < 5 Ha. Ø 150 mm.
- Superficie < 16 Ha. Ø 200 mm.
- Superficie < 30 Ha. Ø 250 mm.
- Superficie < 50 Ha. Ø 300 mm.
- Superficie < 100 Ha. Ø 400 mm.

7 Red de distribución del canal de Isabel II

Cuando en 1.851 bajo el impulso del Presidente del Gobierno, D. Juan Bravo Murillo, y el apoyo de la Reina, se creó el Canal de Isabel II, el objetivo fue el de suministrar agua a los habitantes de la Capital.

En la actualidad abastece a la práctica totalidad de la población de la Comunidad Autónoma de Madrid e incluso a algunos municipios de fuera de esta Comunidad.

A principios del año 1.998 la población abastecida es de 4'8 millones de habitantes distribuidos en 137 Municipios, y de los cuales 2'8 millones pertenecen a la capital.

Con motivo de la prolongada sequía que recientemente hemos sufrido, la población se ha concienciado de la necesidad de restringir el consumo de agua, al ser éste un bien escaso aunque sea relativamente barato.

La evaluación de los consumos se refleja en el cuadro adjunto:

	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
VOLUMEN DERIVADO DE EMBALSES Y CAPTACIONES	548 Hm ³	561 Hm ³	590 Hm ³	522 Hm ³	476 Hm ³	482 Hm ³	496 Hm ³	490 Hm ³
MAXIMO CONSUMO DIARIO FECHA	2'01 Hm ³ 17-7	2'05 Hm ³ 27-6	2'43 Hm ³ 27-6	1'81 Hm ³ 18-5	1'73 Hm ³ 20-7	1'93 Hm ³ 4-7	1'83 Hm ³ 21-7	1'81 Hm ³ 24-7
MINIMO CONSUMO DIARIO FECHA	1'01 Hm ³ 24-3	0'99 Hm ³ 13-4	1'05 Hm ³ 29-3	1'02 Hm ³ 7-12	0'98 Hm ³ 10-4	0'88 Hm ³ 1-4	0'94 Hm ³ 14-4	0'93 Hm ³ 6-4
CONSUMO MEDIO DIARIO	1'50 Hm ³	1'54 Hm ³	1'62 Hm ³	1'42 Hm ³	1'30 Hm ³	1'32 Hm ³	1'36 Hm ³	1'34 Hm ³

Se observa el cambio radical que se produjo en 1.992, pasando la pendiente de ser positiva a negativa.

Estos datos totales de explotación incluyen las diferentes adhesiones de Municipios al sistema de abastecimiento del Canal de Isabel II, que si bien no han producido un incremento importante de población si que supone un aumento de los km. de tubería con la consiguiente pérdida.

El sistema de abastecimiento se inicia en un conjunto de 15 presas, cuya capacidad total de embalse es de 945,8 Hm³., y que se encuentran ubicadas en los cauces de los ríos:

Lozoya	Jarama
Guadalix	Manzanares
Guadarrama	Cofio
Morales	

Como complemento del sistema de abastecimiento existen 10 localizaciones donde se explotan, o estan en fase de construcción, pozos cuyo futuro caudal máximo será de 3.300 l/s.

Con motivo de la sequía, se realizó con carácter de urgencia, el trasvase San Juan-Valmayor, que amplía el sistema en 6 m³./s.

A todo el consumo se le hace atravesar por diferentes procesos en 12 estaciones de tratamiento entre las que destacan por su capacidad: Colmenar, Torrelaguna y Valmayor.

El conjunto de grandes conducciones, que forman la Aducción del Canal de Isabel II está compuesto por:

DENOMINACION	FECHA ENTRADA EN SERVICIO	LONGITUD	CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN	ORIGEN	FINAL
CANAL BAJO	1858	58,1 km.	4 m ³ /seg.	Deposito Inferior (Nudo Calerizas)	3er. Deposito Islas Filipinas
CANAL LA PARRA	1904	23,7 km.	3 m ³ /seg.	Azud De La Parra	Canal Bajo
CANAL GUADALIX	1906	3,7 km.	4 m ³ /seg.	Azud Del Mesto	Canal Bajo
CANAL DE SANTI-LLANA	1912	36 km.	4,5 m ³ /seg.	Presa Manzanares Real	Deposito El Olivar
CANAL DEL VILLAR	1912	16,7 km.	8 m ³ /seg.	Presa Del Villar	Depost. Superior (Nudo Calerizas)
CANAL ALTO	1940	56 km.	6 m ³ /seg.	Deposito Superior (Nudo Calerizas)	4º Deposito Plaza Castilla
CANAL DEL ESTE	1945	13,7 km.	3,25 m ³ /seg.	Nudo El Olivar	6º Dep.-Vallecas
CANAL DEL JARAMA	1960	34,4 km.	8 m ³ /seg.	Presa El Vado	Depost. Superior (Nudo Calerizas)
UNION ENTRE DEPÓSITOS	1952-1966	3,7 km.	6,5 m ³ /seg.	4º Deposito Plaza Castilla	2º Y 3º Depositos B.Murillo / I.Filip.
CANAL DEL ÁTAZAR	1966-1970	65,4 km.	16 m ³ /seg.	Presa Atazar	4º Dep. P.Castilla
CANAL DE PICADAS	1967	49,2 km.	3,8 m ³ /seg.	Elevadora Picadas(Embalse)	Nudo Majadahonda
CANAL DEL OESTE	1968	30,7 km.	3 m ³ /seg.	9º Dep.-Goloso	11º Deposito-Retamares
CANAL DEL VELLÓN	1968	6,7 km.	8 m ³ /seg.	Presa Pedrezuela	Canal Atazar
ARTERIA CINTURA SUR	1969-1985-1991	21,5 km.	6 m ³ /seg.	Arteria Principal Del Oeste	Arteria Majadh. Retamares
TRASVASE NAVALMEDIO / NAVACERRADA	1969	4,5 km.	5,8 m ³ /seg.	Presa Navalmed.	Embalse Navacerrada
CANAL SORBE	1971	9,3 km.	8 m ³ /seg.	Azud Pozo Los Ramos	Canal El Jarama
ARTERIAMA-JAD./RETAMARES	1973-1985	14 km.	6 m ³ /seg.	Nudo Majadahonda	Arteria Cintura Sur
ARTERIA PRINPAL DEL ESTE	1973	17,1 km.	6 m ³ /seg.	Nudo El Olivar	Arteria Cintura Sur
CANAL VALMAYOR	1976	17,4 km.	6 m ³ /seg.	Presa Valmayor	Nudo Mjdhonda.
TRASVASE LAS NIEVES	1976	5,1 km.	30 m ³ /seg.	Azud Las Nieves	Embalse Valmay.
TRASVASE ACEÑA-LA JAROSA	1991	10,2 km.	10 m ³ /seg.	Presa La Aceña	Embalse La Jarosa
TRASVASE SAN JUAN VALMAYOR	1993	6 km.	6 m ³ /seg.	Presa De San Juan	Embalse Valmayor

El volumen de los depósitos reguladores del Canal de Isabel II asciende a 2.600.000 m³., sin contar con los depósitos que poseen los municipios a los que se suministra el agua en alta.

DENOMINACION	FECHA ENTRADA EN SERVICIO	NUMERO DE COMPARTIMENTOS	ALTURA DE AGUA	CAPACIDAD TOTAL	SUPERFICIE
BRAVO MURILLO	1879	2	6,84 M.	188.412 M3.	2,75 Ha.
ISLAS FILIPINAS	1915	4	6,84 M.	463.500 M3.	6,78 Ha.
VALDELATAS	1915	2	2,70 M.	34.408 M3.	1,27 Ha.
EL OLIVAR	1919	2	3,96 M.	44.232 M3.	1,12 Ha.
PLAZA CASTILLA	1940	3	6,75 M.	141.602 M3.	2,09 Ha.
HORTALEZA	1962	3	5,00 M.	81.000 M3.	1,62 Ha.
SAN BLAS	1965	2	5,10 M.	53.767 M3.	1,05 Ha.
VALLECAS	1967	(12 Uni.) 6	8,00 M.	120.638 M3.	1,51 Ha.
EL PLANTIO	1967	4	6,50 M.	143.176 M3.	2,22 Ha.
EL GOLOSO	1969	1	7,70 M.	534.355 M3.	6,94 Ha.
RETAMARES	1969	4	6,50 M.	250.556 M3.	3,85 Ha.
GETAFE	1975	2	6,50 M.	254.897 M3.	2,56 Ha.
VALMAYOR	1976	2	5,00 M.	94.967 M3.	2,00 Ha.
C.TRES CANTOS	1978	2	4,85 M.	78.624 M3.	2,36 Ha.
MAJADAHONDA	1984	2	7,85 M.	40.000 M3.	0,69 Ha.
TORRELAGUNA	1989	2	6,50 M.	13.500 M3.	0,24 Ha.
VALGALLEGOS	1990	2	4,40 M.	20.500 M3.	0,47 Ha.
EL CHAPARRAL	1992	2	5,00 M.	19.000 M3.	0,39 Ha.
LA JAROSA	1992	2	3,50 M.	18.400 M3.	0,55 Ha.
NAVACERRADA	1992	2	3,50 M.	20.000 M3.	0,60 Ha.
NUEVO PORTA-CHUELO	1993	2	3,50 M.	18.400 M3.	0,53 Ha.

El Canal de Isabel II explota un elevado número de estaciones elevadoras, situadas tanto en la Aducción como en la propia Red de Distribución, siendo las más importantes la que a continuación se especifican:

DENOMINACION	FECHA DE ENTRADA EN SERVICIO	CAUDAL DE ELEVACION	ALTURA DE ELEVACIÓN	POTENCIA INSTALADA
PICADAS	1967	3,8 M3/Seg.	216 M.	13.425 Kw.
COLMENAR ARROYO I	1967	3,8 M3/Seg.	100 M.	8.243 Kw.
SAN BLAS	1968	1,5 M3/Seg.	75 M.	1.625 Kw.
RETAMARES	1969	1,2 M3/Seg.	50 M.	883 Kw.
TRES CANTOS	1978	2,0 M3/Seg.	85 M.	4.240 Kw.
VALMAYOR	1981	0,24 M3/Seg.	160 M.	700 Kw.
SANTILLANA	1981	0,48 M3/Seg.	140 M.	1.720 Kw.
COLMENAR VIEJO	1982	0,5 M3/Seg.	145 M.	1.413 Kw.
PLAZA CASTILLA	1983	5,0 M3/Seg.	50 M.	2.650 Kw.
MAJADAHONDA	1991	2,8 M3/Seg.	45 M.	1.880 Kw.
VALGALLEGOS	1991	0,38 M3/Seg.	175 M.	1.542 Kw.
PINILLA	1992	0,4 M3/Seg.	250 M.	1.600 Kw.
VELILLA DE SAN ANTONIO	1992	0,6 M3/Seg.	158 M.	1.351 Kw.
VILLALBA	1992	0,8 M3/Seg.	200 M.	1.987 Kw.
NAVACERRADA	1992	0,24 M3/Seg.	280 M.	1.377 Kw.
HORTALEZA	1993	1,5 M3/Seg.	60 M.	1.250 Kw.
SAN JUAN	1994	6,0 M3/Seg.	190 M.	19.000 Kw.
COLMENAR DEL ARROYO II	1994	6,0 M3/Seg.	130 M.	13.000 Kw.

La red de distribución se ha ido aplicando y modificando según las necesidades de la población abastecida y la extensión superficial del casco urbano. El ritmo de crecimiento último ha sido el siguiente:

AÑO	LONGITUD RED
1.960	1.062 Km.
1.965	2.038 Km.
1.970	2.729 Km.
1.975	3.382 Km.
1.980	3.932 Km.
1.985	4.441 Km.
1.990	5.313 Km.
1.993	5.990 Km.
1.994	7.400 Km.
1.995	7.643 Km.
1.996	7.833 Km.

Los 7.833 Km. de tubería actuales tienen diámetros que oscilan desde 50 a 2.000 mm.

La descomposición por diámetros y tipos del total de tuberías instaladas en la red de distribución a 31 de diciembre de 1.994 es la que figura en el cuadro adjunto:

DIÁMETRO	FUNCIÓN LA MINAR	FUNCIÓN DUC.TIL	FIBROCEMENTO	HORMIGÓN A. C. CON CAMISA JUNT. S.O.L.D.	HORMIGÓN A. C. CON CAMISA JUNT. E.L.A.S.	ROCLA	HORMIGÓN PRETENS.	ACERO AL CARBONO REV.HORM.	ACERO AL CARBONO SIN REVES.	ACERO INOXIDABLE	POLIÉSTER FIB.VIDR.	P.V.C.	TOTAL
2000				23.188					2.383				31.028
1700				639									639
1600				34.335	28.461		69.772	567	1.148	61			126.116
1400				7.687	12.412		23.080	1.882					44.971
1250		666		17.634			8.071	17.117					41.277
1200				8.782		76		3.162					16.006
1100								1.887					1.887
1000	2.876	18.634		37.212	7.421		8.090	3.827	22				76.931
900	16.440	33.281		24.606		1.360	9.920	2.016	140				92.131
850	8.024			40				2					8.086
800	7.713	64.240	2.481	4.387	6.833		3.200	403	902	87	1.376		80.644
700		68.213	381								1.884		68.303
600	20.153	182.362	14.708	8.936		3.388	17	810	2.172	476			212.996
550				18.011	33.837						222		60.070
500	42.810	171.892	24.403						347	232			239.289
450	26.132	11.746	80.603					80	83				37.606
400	82.228	183.830	31.721					136	222	62			263.289
350	40.884	40.177	8.642						636				83.189
300	169.693	322.833	72.004					8	410		146		664.774
250	34.813	163.133	73.898					68	10		32		318.620
200	233.089	689.699	117.901						644	82		1.376	922.676
175	6.321	7	21.032									400	28.780
150	680.029	1.911.800	124.897						401			80	2.806.314
125	266.871	10.109	76.839						34			1.142	342.946
100	646.207	417.162	210.868						683			10.949	1.134.642
80	51.489	48.271	88.206									110	227.066
< 50	43.730	478	92.287						1.833			6.419	143.627
TOTAL	2.200.104	4.168.049	1.016.964	188.048	83.304	6.323	108.260	38.562	12.292	939	3.246	18.456	7.833.147