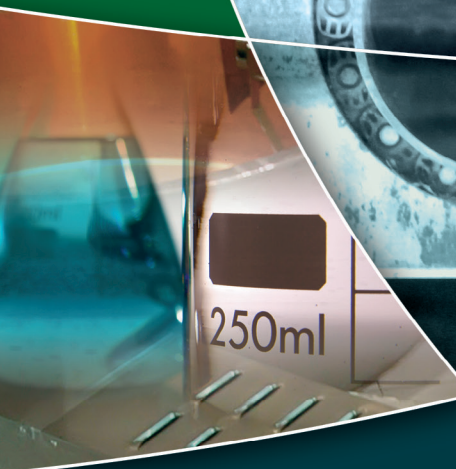




# Ejercicios resueltos de infraestructuras hidráulicas urbanas

**José Ferrer Polo**

**Daniel Aguado García**



EDITORIAL  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Daniel Aguado García  
José Ferrer Polo

**Ejercicios resueltos de  
infraestructuras  
hidráulicas urbanas**

EDITORIAL  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Colección *Académica*

Los contenidos de esta publicación han sido revisados por el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València

Para referenciar esta publicación utilice la siguiente cita:

Aguado García, Daniel; Ferrer Polo, José (2017). *Ejercicios resueltos de infraestructuras hidráulicas urbanas*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València

© Daniel Aguado García  
José Ferrer Polo

© 2017, Editorial Universitat Politècnica de València  
*distribución:* [www.lalibreria.upv.es](http://www.lalibreria.upv.es) / Ref.: 0458\_03\_01\_01

Imprime: Byprint Percom, sl

ISBN: 978-84-9048-683-2  
Impreso bajo demanda

La Editorial UPV autoriza la reproducción, traducción y difusión parcial de la presente publicación con fines científicos, educativos y de investigación que no sean comerciales ni de lucro, siempre que se identifique y se reconozca debidamente a la Editorial UPV, la publicación y los autores. La autorización para reproducir, difundir o traducir el presente estudio, o compilar o crear obras derivadas del mismo en cualquier forma, con fines comerciales/lucrativos o sin ánimo de lucro, deberá solicitarse por escrito al correo [edicion@editorial.upv.es](mailto:edicion@editorial.upv.es).

Impreso en España

# Prefacio

El agua es un elemento esencial para la vida, tal y como es conocida por todos nosotros. Es un constituyente básico de los seres vivos y es el medio en donde se producen las transferencias de materia, las reacciones químicas y los procesos biológicos que caracterizan nuestro concepto de vida. Es también un residuo de los procesos metabólicos y un vehículo de transporte de los desechos generados en estos mismos procesos. Por todo ello, los seres vivos tienen la necesidad primordial de agua biológicamente adecuada. Este agua no puede ser agua químicamente pura, sino que debe contener una concentración de sales similar al agua constitutiva de los seres vivos que la usan, por lo que el agua biológicamente adecuada ya es, en mayor o menor medida, agua “contaminada”.

En julio de 2010 la Asamblea General de Naciones Unidas reconoció el derecho humano al agua y al saneamiento, siendo uno de los objetivos de Naciones Unidas para transformar nuestro mundo precisamente el *garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos* (es el objetivo n° 6 de los 17 objetivos del Desarrollo Sostenible). El agua no potable y la falta de saneamiento adecuado son las causas principales de mortalidad infantil, siendo especialmente vulnerables los niños de menos de 5 años. Más de 800 niños mueren cada día por enfermedades diarreicas relacionadas con la falta de higiene. Por si estos datos aún no fueran suficientes para destacar la importancia del agua, la ONU reporta que en torno a 1.800 millones de personas en todo el mundo se abastecen de una fuente de agua que está contaminada por residuos fecales, y alrededor de 2400 millones de personas no tienen ni el más mínimo saneamiento elemental, ni siquiera retretes ni letrinas.

En este contexto actual en el que la **Ingeniería Sanitaria** todavía tiene una tremenda importancia a nivel mundial para abordar y resolver el objetivo n° 6 del desarrollo sostenible, se presenta este libro con un enfoque claramente ingenieril y centrado en conseguir que tanto alumnos como profesionales del sector sean capaces de resolver el cálculo y dimensionamiento de las principales infraestructuras de abastecimiento y saneamiento urbano. Por ello, el libro cuenta con una serie de ejercicios resueltos con gran riqueza de detalle en los que se expone en todo momento los criterios básicos para el diseño funcional de diversas infraestructuras hidráulicas urbanas relacionadas con el abastecimiento y saneamiento de las poblaciones.

El libro está estructurado en dos grandes bloques, que cubren todos los aspectos relacionados con el ciclo integral del agua en el entorno urbano. El primero, dedicado a la explicación de los aspectos más relevantes desde un punto de vista práctico del ciclo del agua en el entorno urbano. Incluye desde la captación del agua bruta en el medio

acuático natural pasando por el suministro del agua potable a las viviendas de un núcleo urbano, y una vez el agua potable ha sido utilizada y, por tanto, modificada su composición, convirtiéndose el agua potable suministrada en agua residual, su evacuación hasta las instalaciones de tratamiento de aguas residuales (estaciones depuradoras de aguas residuales - EDARs) previamente a su vertido. De esta forma se pretende que el impacto del vertido sobre el medio acuático receptor sea lo menor posible.

El segundo de los bloques incluye la explicación detallada de toda una colección de ejercicios, que son utilizados en las clases de las asignaturas de Conducciones y Redes de Abastecimiento y Saneamiento, de tercer curso de la titulación de Ingeniero de Obras Públicas, y también en la asignatura de Infraestructuras Hidráulicas Urbanas, optativa de cuarto curso de la titulación de Ingeniería Civil. Ambas titulaciones se imparten en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, de la Universitat Politècnica de València. Los ejercicios que se proponen y se resuelven son de gran interés práctico, tanto para el alumno que está cursando estas asignaturas, como para el profesional que se dedica a los temas de diseño de infraestructuras hidráulicas urbanas. Los ejercicios cubren desde el dimensionamiento de un pozo perforado, hasta el diseño de redes de distribución de agua potable y de redes de saneamiento y drenaje urbano en régimen de lámina libre, pasando por el cálculo hidráulico y el cálculo mecánico de tuberías, o el dimensionamiento de válvulas de regulación.

# Índice

<b>Capítulo 1. El ciclo del agua en el entorno urbano .....</b>	<b>3</b>
<b>Capítulo 2. Ejercicios resueltos de captación y transporte de agua .....</b>	<b>15</b>
Ejercicio 1. Diseñar un pozo perforado para extraer 60 L/s .....	17
Ejercicio 2. Determinar el diámetro óptimo de una impulsión .....	31
Ejercicio 3. Cálculo de conducciones: cálculo hidráulico .....	35
Ejercicio 4. Cálculo de conducciones: cálculo mecánico .....	41
<b>Capítulo 3. Ejercicios resueltos de abastecimiento .....</b>	<b>47</b>
Ejercicio 5. Selección de Válvula Reductora de Presión (VRP) .....	49
Ejercicio 6. Dimensionar un depósito de abastecimiento .....	55
Ejercicio 7. Dimensionar una red de distribución ramificada.....	63
Ejercicio 8. Dimensionar una red de distribución mallada .....	75
<b>Capítulo 4. Ejercicios resueltos de saneamiento y drenaje urbano .....</b>	<b>89</b>
Ejercicio 9. Cálculo hidráulico de un colector de residuales .....	91
Ejercicio 10. Dimensionar una red de saneamiento unitaria.....	97
<b>Bibliografía .....</b>	<b>123</b>



# **Capítulo 1**

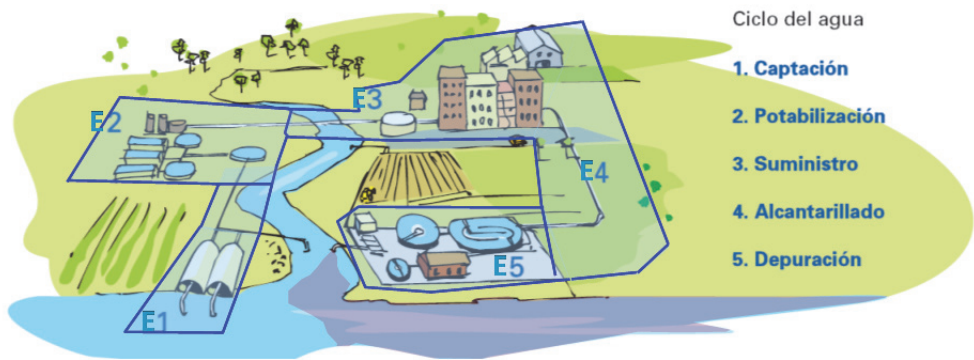
# **El ciclo del agua en el entorno urbano**





El agua es indispensable para la vida. Tres cuartas partes de la superficie del planeta están cubiertas por agua. Sin embargo, sólo una pequeña parte es dulce (2,5%), estando dos terceras partes en los polos, una parte en las aguas subterráneas y menos del 1% puede ser utilizada para abastecimiento directamente de ríos, lagos y embalses. El 96,5% es agua de mar, con una elevada salinidad (en torno a 33%), y requiere un tratamiento costoso de desalación para poder ser aprovechada para consumo humano.

El ciclo urbano del agua incluye todas las etapas por las que pasa el agua desde que es captada de los recursos naturales (aguas superficiales y aguas subterráneas), hasta que es devuelta al medio acuático natural, pasando por el abastecimiento de poblaciones y el saneamiento de las aguas residuales. Gráficamente, en la Figura 1. se ilustra esquemáticamente, el ciclo integral del agua en el entorno urbano.



**Figura 1.** Ciclo integral del agua en el entorno urbano. Fuente: INE, 2010.

Uno de los principales objetivos del ingeniero civil, especializado en infraestructuras hidráulicas urbanas, es suministrar agua potable a la población, es decir, agua que pueda ser consumida por las personas sin peligro alguno para su salud, a las personas que habitan en un determinado núcleo urbano. El primer paso para realizar un abastecimiento de agua, consiste en evaluar las necesidades de agua, es decir, conocer cuánta agua habrá que transportar hasta ese núcleo, incluyendo todas las demandas de agua:

- agua para uso doméstico en las viviendas
- agua para limpieza de calles y alcantarillado
- agua para riego de parques y jardines
- agua de reserva para extinción de incendios
- agua para usos o zonas industriales,...

Conocida la cantidad total de agua que se necesitará (volúmenes, caudales medios y caudales punta) será posible dimensionar el tamaño de las instalaciones de captación de agua, de tratamiento de aguas, de transporte del agua y de almacenamiento de agua.

La captación del agua bruta (E1 en la Figura 1) se puede realizar tanto de aguas superficiales (ríos, lagos, embalses, y en casos especiales desalando agua de mar) como de aguas subterráneas, es decir, agua que se extrae de acuíferos libres ó confinados. Un acuífero es una formación geológica que permite la circulación del agua a través de sus poros o grietas, permitiendo su aprovechamiento. Los acuíferos confinados son formaciones geológicas que tienen un estrato impermeable tanto por arriba como por abajo del estrato que contiene el agua. El origen del agua (superficial o subterráneo) no sólo determina la tecnología que habrá que utilizar para la captación del agua sino que también influye en la calidad que tiene el agua captada. Así mientras un agua superficial se suele captar mediante vertederos, torres de toma ó tuberías ranuradas sumergidas, las aguas subterráneas se extraen habitualmente mediante pozos perforados. Los pozos perforados son excavaciones que se realizan en el terreno, por diferentes métodos, dependiendo de las características del terreno (perforaciones a percusión en terrenos rocosos, con permeabilidad por fisuración; y perforaciones a rotación en terrenos de tipo granular más o menos consolidados, con permeabilidad intergranular). En los pozos perforados el agua se extrae por medio de una bomba sumergible, que normalmente se ubica en el fondo del pozo, por debajo del nivel freático.

La calidad de las aguas subterráneas suele ser muy superior a la de las aguas superficiales. Las aguas subterráneas suelen ser más transparentes, su composición fisico-química más estable en el tiempo y normalmente son de elevada pureza microbiológica. El grado de mineralización de las aguas subterráneas es generalmente mayor que el de las aguas superficiales, como consecuencia de su mayor interacción con los minerales que constituyen el terreno por el que circula el agua subterránea. En contraste, las aguas superficiales suelen presentar contaminación bacteriológica, con presencia de Coliformes (grupo de bacterias que se suelen utilizar como indicadores de contaminación del agua y de los alimentos, y que aunque se encuentran principalmente en el intestino de las personas y de los animales de sangre caliente, también se pueden encontrar en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales) en prácticamente todas las muestras de aguas superficiales que se toman, y *E. Coli* (coliformes de origen fecal) en la mayoría de muestras, por lo que su desinfección previa al suministro es fundamental para evitar riesgos innecesarios para la salud de la población que consumirá ese agua. Además, la variabilidad estacional en la composición fisico-química de las aguas superficiales es importante, consecuencia del régimen de precipitaciones, siendo la turbidez y la cantidad de sólidos suspendidos muy superior en las épocas de fuertes lluvias, y de la presencia de vegetación de hoja caduca de ribera, que aporta compuestos orgánicos al agua en las estaciones de otoño e invierno. Por otra parte, es importante tener presente que las aguas superficiales están mucho más expuestas a eventos de contaminación tanto los que ocurren de forma natural (la propia lluvia o la escorrentía superficial, agua que brota o circula por una zona con presencia de mercurio o de hidrocarburos) como por la acción del hombre (por ejemplo, un accidente de un camión que transporta algún compuesto tóxico cruzando un río o en sus inmediaciones).

El ingeniero que proyecta una captación de agua, es el responsable de elegir el lugar más adecuado para la misma. Aquí es importante destacar que siempre se debe captar el agua bruta de la mejor calidad posible, ya que más barata será de producir el agua potable y será más sana puesto que hay que introducir menos reactivos químicos para conseguir que sea adecuada para el consumo humano. Por tanto, antes de proyectar la captación habrá que realizar un estudio de los recursos hídricos en la zona, no sólo en cuanto a caudal, sino también en cuanto a calidad del agua bruta. Es habitual que el agua de un río de alta montaña tenga mucha mejor calidad que el agua de ese mismo río en su parte baja. En un embalse, conviene evitar tanto la superficie (donde puede haber microalgas y/o compuestos contaminantes flotantes: grasas, aceites, espumas) como el fondo del embalse (donde la presencia de sólidos y sedimentos así como posibles reacciones químicas y biológicas en ciertas épocas del año pueden dar lugar a compuestos contaminantes del agua, como ácido sulfhídrico, amoníaco,...). También como se ha mencionado anteriormente, es habitual considera que el agua subterránea es en general de mucha mejor calidad que las aguas superficiales.

Una vez captada el agua bruta, es decir, el agua tal cual está en el medio acuático natural del cual se extrae, hay que transportarla hasta la estación de tratamiento de aguas potables (ETAP), también conocida como potabilizadora. El transporte de agua bruta se puede realizar tanto en lámina libre (por ejemplo, en canal descubierto) como en presión (conducción cerrada en la que el agua llena completamente la sección). Este segundo caso es habitual cuando se trata de agua subterránea, puesto que se extrae habitualmente por bombeo (así se aprovecha la energía de impulsión) y, además, para proteger la buena calidad del agua que se extrae, evitando su contaminación al evitar su exposición. El agua bruta obtenida de un río, que rara vez tiene una calidad tan alta como el agua de un acuífero, se podría perfectamente transportar mediante un canal descubierto hasta la potabilizadora.

En la ETAP, el agua bruta se somete a una serie de tratamientos (normalmente de tipo físico-químico) para conseguir que el agua sea potable. Agua potable es la que puede ser consumida por las personas sin peligro alguno para su salud. Para ello, los compuestos que están presentes en el agua deben estar en unos determinados rangos que vienen recogidos en la legislación. En el caso de España, están en el Real Decreto RD140/2002. Los rangos que se establecen para cada compuesto y los compuestos que están incluidos en las normativas específicas de los distintos países, normalmente obedecen a las recomendaciones hechas desde la Organización Mundial de Salud (OMS), las cuales se basan en el conocimiento médico actualizado de los efectos que tienen los compuestos sobre la salud de las personas.

En una ETAP el tratamiento más importante es la desinfección, que consiste en la destrucción selectiva de los microorganismos patógenos, que son aquellos que pueden interactuar con las personas y hacerlas enfermar (por ejemplo, diarreas, vómitos,...). Esta desinfección se suele realizar con radiación ultravioleta (UV), o con cloro, siendo

esta última la más habitual ya que tiene la ventaja de dejar un remanente que permanece en el agua durante su transporte desde la ETAP hasta las viviendas. De esta forma, si hubiera alguna contaminación en el agua desde que sale de la ETAP hasta que llega a la vivienda, habría cloro disponible para reaccionar y atacar a los microorganismos patógenos que pudieran aparecer. El resto de tratamientos de la ETAP previos a la desinfección se pueden considerar como pretratamientos para eliminar los sólidos presentes en el agua. Es importante la eliminación de todos los sólidos previamente a la desinfección del agua, para que éstos no protejan a los microorganismos de la acción del desinfectante (el cloro o la radiación UV) durante la etapa de desinfección, lo que podría provocar que el agua suministrada a las viviendas estuviera contaminada por presencia de microorganismos patógenos con el consiguiente riesgo para la salud de las personas.

Los sólidos se eliminan en todas las etapas de la ETAP, desde donde se toma hasta que el agua alcanza el proceso de desinfección. En el punto de captación del agua, es donde por medio de unas rejillas, se evita que los sólidos y objetos de mayor tamaño (ej., ramas de árboles, hojas grandes, plásticos,...) entren en el sistema, para evitar posibles daños físicos en las instalaciones. Los sólidos de mayor densidad como la arena y la grava de pequeño tamaño que entran en la captación, se eliminan en el desarenador. El resto de sólidos suspendidos (que son aquellos que tienen tamaño superior a  $0,45 \mu\text{m}$  y que muchos se pueden ver a simple vista) se eliminan en la decantación primaria. El decantador primario lo que hace es proporcionar un área mucho mayor que el canal o conducción que le lleva el agua, por lo que la velocidad se reduce significativamente y, por tanto, también se reduce mucho la capacidad de transporte de partículas del agua. El agua es capaz de arrancar y transportar partículas que tienen densidad mayor que el agua. Esta capacidad está principalmente relacionada con la velocidad del agua y también con la viscosidad del agua, de forma que cuanto mayor es la velocidad, mayor es la cantidad de partículas que puede arrastrar y de mayor tamaño. En el decantador se reduce prácticamente a cero la velocidad del agua, con lo que casi todas las partículas que arrastra el agua, se quedarían en él, produciendo un efluente con mucha menor cantidad de sólidos. Las partículas con menor densidad que el agua, flotan, y, por tanto, son retiradas de la superficie del decantador, mientras que las que tienen más densidad que el agua, caen por su propio peso al fondo, las cuales se retiran con rasqueta de fondo o con una bomba de succión. Las partículas ó sólidos suspendidos que se escapan del decantador quedan retenidos en los filtros de arena, que suelen constituir la etapa previa a la desinfección. Los filtros de arena, suelen tener un espesor de 0,75 a 1,5 metros de arena de pequeño tamaño y bastante uniforme, de manera que los sólidos suspendidos arrastrados por el agua quedan retenidos bien en la superficie o bien a lo largo del espesor del filtro de arena. El agua transparente y cristalina que sale de los filtros, libre de partículas que podrían proteger a los microorganismos de la acción del desinfectante, se conduce al proceso de desinfección, donde por medio de la radiación UV o cloro se destruyen los microorganismos patógenos presentes. El papel de los filtros de arena también es muy importante para la eliminación de ciertos patógenos,

**Para seguir leyendo haga click aquí**