



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

# **DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA VALORACIÓN DE LOS COSTES ANUALES ASOCIADOS A UNA RED DE AGUA URBANA**

AUTORA: MARIA EUGENIA ALBA CENTELLES

TUTOR: ENRIQUE CABRERA MARCET

COTUTORA: ELENA GÓMEZ SELLÉS

**Curso Académico: 2017-18**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Elena y Enrique, por guiarme en este trabajo y confiar en mi forma de trabajar. A Ángel, por ser mi padrino en toda esta carrera y ayudarme en todas las decisiones de mi formación profesional. A Julia, por darme la oportunidad de crecer a nivel laboral, confiar en mí y enseñarme tanto. A mi familia y a Pepe, por ser mi apoyo fundamental todos los días.

## **RESUMEN**

Actualmente, en España, las tarifas del agua contemplan únicamente los costes asociados al mantenimiento de la red, dejando de lado los costes de inversión en la instalación para la renovación de las infraestructuras. El presente documento recoge una metodología para la recuperación de todos los costes anuales de la red de distribución de agua, en base a la definición de los costes operacionales y de inversión de la instalación, con el fin de asegurar un servicio de calidad y un uso eficiente del agua.

**Palabras Clave:** agua, tarifación, CAPEX, OPEX, recuperación de costes, red de distribución, eficiencia.

## RESUM

Actualment, a Espanya, les tarifes de l'aigua només contempen els costos associats al manteniment de la xarxa, sense tindre en compte els costos d'inversió per a la renovació de les infraestructures. Aquest document defineix una metodologia per a la recuperació de tots els costos anuals de la xarxa de distribució d'aigua, basada en la definició dels costos operacionals i d'inversió de la instal·lació, amb la finalitat de garantir un servei de qualitat i un ús eficient de l'aigua.

**Paraules clau:** aigua, tarifació, CAPEX, OPEX, recuperació de costos, xarxa de distribució, eficiència

## **ABSTRACT**

Nowadays, in Spain, water tariffs only include the costs associated with the maintenance of the network, leaving aside the investment costs in the installation for the renewal of infrastructures. This document includes a methodology for the recovery of all the annual costs of the water distribution network, based on the definition of the operational and investment costs of the installation, in order to ensure a quality service and an efficient use of water.

**Keywords:** water, pricing, CAPEX, OPEX, cost recovery, distribution network, efficiency.

## ÍNDICE

### ÍNDICE DE LA MEMORIA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Objetivo del trabajo .....	9
1.2. Justificación. Introducción al problema .....	9
1.3. Antecedentes .....	9
1.4. Ámbito de aplicación.....	10
1.5. Estructura del trabajo.....	10
CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE UN ABASTECIMIENTO TIPO.....	11
2.1. El ciclo del agua urbana y su gestión.....	11
2.2. El ciclo urbano del agua en Valencia .....	12
CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS BÁSICOS DE UNA RED.....	15
3.1. Tuberías.....	15
3.1.1. Tuberías metálicas o de chapa .....	15
3.1.2. Tuberías de fundición gris y fundición dúctil .....	15
3.1.3. Tuberías de fibrocemento .....	15
3.1.4. Tuberías de polietileno de alta densidad (PEHD).....	16
3.2. Acometidas.....	17
3.3. Válvulas .....	18
3.3.1. Válvulas reductoras de presión .....	18
3.3.2. Válvulas de compuerta.....	18
3.3.3. Válvulas de mariposa .....	18
3.4. Pozos abiertos y pozos realizados con perforación .....	18
3.4.1. Pozos abiertos .....	19
3.4.2. Pozos realizados mediante perforación .....	19
3.5. Bombas.....	19
3.6. Centros de transformación .....	19
3.7. Depósitos.....	20
3.8. Hidrantes.....	20

Desarrollo de una Metodología para la Valoración de los Costes Anuales asociados a una Red de Agua Urbana

---

3.8.1 Hidrantes de columna seca .....	21
3.8.2. Hidrantes de columna húmeda .....	21
3.8.3. Hidrantes de arqueta o bajo nivel de tierra .....	21
CAPÍTULO 4. VALOR PATRIMONIAL.....	22
4.1. El CAPEX (Capital Expenditures).....	22
4.2. El IVI: Infrastructure Value Index .....	22
CAPÍTULO 5. NORMATIVA VIGENTE. LA DIRECTIVA MARCO DEL AGUA.....	24
CAPÍTULO 6. COSTES OPERACIONALES. OPEX. ....	25
6.1. Personal.....	25
6.2. Aprovisionamientos .....	26
6.3. Subcontratas .....	26
CAPÍTULO 7. TARIFACIÓN.....	28
7.1. Tarifa media .....	28
7.2. Principios que deben regir el diseño de una estructura tarifaria .....	29
7.2.1. Equidad.....	29
7.2.2. Sencillez.....	29
7.2.3. Eficacia.....	29
7.2.4. Eficiencia .....	29
7.3. Tipos de estructuras tarifarias.....	30
7.3.1. Tarifa Fija.....	30
7.3.2. Tarifa Monomia.....	30
7.3.3. Tarifa Binomia .....	32
7.4. Ejemplo síntesis del proyecto .....	33
7.4.1. Introducción .....	33
7.4.2. Datos del problema .....	35
7.4.3. Cálculo de los costes de inversión de la instalación (CAPEX).....	36
7.4.4. Cálculo de los costes operacionales (OPEX).....	40
7.4.5. Tipo de tarifa .....	41
7.4.6. Cálculo de la tarifa.....	42
CAPÍTULO 8. INDICADORES DE CALIDAD. BENCHMARKING .....	45
8.1. Indicadores de calidad a nivel de usuario .....	45
8.1.1. Mecanismo de Incentivo de Servicio.....	45
8.1.2. Inundación interna de alcantarillas.....	45
8.1.3. Interrupciones de suministro de agua .....	46

8.2. Benchmarking.....	46
CONCLUSIONES .....	47
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	48

## **ANEXOS**

ANEXO 1: MANUAL DE USUARIO. BASE DE DATOS DE LOS ELEMENTOS BÁSICOS DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA .....	50
---	----

1. Página principal.....	50
2. Índice.....	51
3. Bases de datos.....	51
Tuberías.....	52
Acometidas.....	54
Válvulas .....	54
Pozos y sondeos .....	54
Bombas.....	54
Centros de Transformación.....	55
Depósitos.....	55
Hidrantes .....	55
4. Tabla resumen de precios .....	56

ANEXO 2: CÁLCULO DEL PRECIO DE UNA ZANJA.....	57
---	----

1. Consideraciones previas.....	57
2. Procedimiento de cálculo.....	57
2.1. Dimensiones.....	57
2.2. Cálculo de las dimensiones de una zanja trapezoidal .....	58
2.3. Cálculo de las dimensiones de una zanja rectangular.....	60
2.4. Cuadro de precios y coste final de la zanja .....	63

## **ÍNDICE DE PRESUPUESTO**

PRESUPUESTO .....	66
1. Presupuesto de recursos humanos.....	66
2. Presupuesto de material de trabajo.....	67
3. Presupuesto final.....	67

# MEMORIA

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. OBJETIVO DEL TRABAJO**

El objetivo de este documento es proponer y definir una metodología para valorar los costes anuales asociados a un abastecimiento de agua urbano, así como introducir de forma general un sistema tarifario que garantice el retorno de inversión de dicha instalación.

### **1.2. JUSTIFICACIÓN. INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA**

Uno de los servicios de prestación obligatoria por parte de los municipios es el abastecimiento de agua de calidad. Hasta ahora, buena parte de las infraestructuras se han construido con fondos públicos. Sin embargo, los presupuestos asignados a inversiones han caído en los últimos años de manera muy importante, y la complejidad técnica y económica inherente a estos servicios, junto con los estándares de calidad, desborda la capacidad técnica de los municipios, particularmente de los más pequeños.

Actualmente, en España se recuperan los costes operacionales que requiere una instalación, es decir, el OPEX. Son costes asociados al personal, al abastecimiento de agua y de energía y a otros gastos relacionados con el mantenimiento de la instalación. No obstante, se ignoran los costes de capital, el CAPEX, referidos a las inversiones en la instalación para mejorarla. Por ejemplo, si la edad media de una tubería es de alrededor de 50 años, muchos de los kilómetros de red ya han superado su vida útil, y no se están contemplando los gastos asociados al cambio de estas tuberías en las tarifas actuales.

Por otra parte, la Directiva Marco del Agua, establece en su artículo 9 que todos los costes asociados al agua han de ser recuperados. Es por ello que la Diputación de Valencia ha solicitado el presente estudio, que pretende proponer una metodología que facilite la valoración de las infraestructuras de agua urbana, para poder conocer el capital total a recuperar, establecer una tarifa adecuada que garantice el retorno de inversión de la instalación y, en definitiva, incentivar el uso eficiente del agua.

### **1.3. ANTECEDENTES**

Como respuesta al problema planteado, asociaciones como AEAS (Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento), han publicado estudios con propuestas de gestión del agua y sistemas de tarifación. Un ejemplo es la “Guía de Tarifas de los Servicios de Abastecimiento y Saneamiento de Agua”, que divulgó esta misma asociación en 2014, con el objetivo de proporcionar unas directrices a seguir que plasmara las bases de la Directiva Marco.

Sin embargo, pese a estos estudios, en España no se ha puesto en práctica ninguno de los consejos recogidos en ellos. Cubrir todos los gastos y ser más sostenibles implica una subida de

las tarifas que a nivel social no es deseable. No obstante, es una realidad que Bruselas ha dejado de destinar dinero a las infraestructuras de distribución de agua españolas, y es un gasto adicional al que hay que hacer frente si se desea seguir con este servicio en buenas condiciones.

Este proyecto pretende dar respuesta al problema mediante un esqueleto de pasos a seguir para la recuperación de los costes de inversión, y concienciar al lector sobre la necesidad de cambio.

#### **1.4. ÁMBITO DE APLICACIÓN**

El ámbito de aplicación del estudio es cualquier red de abastecimiento de agua urbana. En especial, aquellas a las que la Diputación de Valencia presta apoyo técnico y económico.

#### **1.5. ESTRUCTURA DEL TRABAJO**

Para garantizar el cumplimiento de cada uno de los objetivos especificados con anterioridad, la metodología propuesta está dividida en las siguientes etapas:

1. Identificar todos los elementos básicos integrados en el servicio de agua potable (fuentes de suministro, estaciones de bombeo, tuberías con sus materiales y diámetros, depósitos, válvulas, hidrantes, acometidas, ...) teniendo en cuenta la vida media y los años de utilización. Esta información permitirá conocer con todo detalle las características de la infraestructura y su esperanza de vida para satisfacer el servicio con prestaciones razonables.

En este proyecto, se definirán los elementos básicos que componen una red de distribución de agua. Es tarea de cada municipio valorar su infraestructura en base a los años y a las condiciones en las que ha sido explotada.

2. Elaborar una base de datos que incluya el valor de mercado de todos los elementos precedentes. Esta se encuentra definida en el Anexo 1 y servirá de referencia para valorar económicamente la instalación en base a los precios de los elementos nuevos.
3. Se establecerán las bases para, a partir de la información precedente, calcular el IVI (Índice del Valor de la Infraestructura) como indicador del estado de la red y de la mayor o menor urgencia para reemplazar los activos.

Así mismo, evaluar el CAPEX y el OPEX para concretar la cantidad anual definitiva que debería recuperarse con las tarifas de los abonados.

4. Proponer una estructura tarifaria que recupere todos los costes de la instalación.

## **CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE UN ABASTECIMIENTO TIPO**

En este capítulo se introducirán los componentes básicos que forman parte de una red de abastecimiento de agua urbana, crucial en el ciclo integral del agua y en su gestión. Para ello, se hará una breve introducción de los conceptos básicos de ciclo del agua urbana y su gestión, y se describirá un abastecimiento tipo en el que se muestren todos estos elementos y conceptos.

### **2.1. EL CICLO DEL AGUA URBANA Y SU GESTIÓN.**

Se conoce como ciclo integral del agua a las diferentes etapas por las que pasa este recurso hídrico, desde su captación en la naturaleza hasta su distribución a los hogares, incluyendo el tratamiento posterior para devolverlo en las mejores condiciones posibles al medio natural.

En cada una de estas fases, cobra especial importancia una gestión eficiente del agua urbana, ya que determina un mayor o menor impacto medioambiental por parte del ser humano. Por ello, la gestión abarca todas las fases del ciclo integral, de tal forma que se pueda garantizar un uso sostenible del agua.

Las tres etapas básicas de la gestión del ciclo integral del agua son:

- **Abastecimiento:**

El ciclo comienza con la captación de agua en ríos, pozos, embalses o incluso en el mar. Tras la captación, se almacena si está prevista para ser utilizada a largo plazo o, si no es el caso, se procede a su transporte a núcleos urbanos para ser tratada en una potabilizadora. Estas tuberías estratégicas son las aducciones.

Una vez potabilizada se procede a la distribución. El agua se almacena en depósitos urbanos, y es conducida a los hogares a través de redes de abastecimiento.

- **Saneamiento:**

Tras el consumo de agua en las viviendas, esta se recoge mediante redes de alcantarillado, que pueden coincidir o no con las infraestructuras de recogida del agua de lluvia, según las redes sean unitarias (aguas negras y pluviales) o separativas (una red por cada clase de agua). En España, apenas existen redes separativas. Las conexiones de alcantarillado conducen a las instalaciones de depuración donde el agua es tratada con medios físicos y químicos, separando así los contaminantes, que son posteriormente utilizados como fertilizantes, o son gestionados para minimizar su impacto medioambiental. El agua depurada, no contaminante, es vertida a los cauces naturales.

- Reutilización:

Parte del agua depurada pasa por un proceso de afino y desinfección con el objetivo de hacerla apta para riego, producción agrícola o usos industriales. Es lo que se conoce como tratamiento terciario. Realizado este proceso, se transporta al lugar correspondiente, mediante conexiones diferentes a las mencionadas en la red de abastecimiento.

## 2.2. EL CICLO URBANO DEL AGUA EN VALENCIA

La red de abastecimiento de agua de Valencia es lo suficientemente compleja como para asegurar que cualquier municipio tutelado por la Diputación de Valencia pueda incluir tantos componentes. De este modo la metodología que se describe en capítulos posteriores es general. Por ello, se ha elegido esta ciudad como abastecimiento tipo para determinar los elementos básicos que formarán parte de las bases de datos para valorar la infraestructura.

Las fuentes de captación de la ciudad de Valencia y de sus alrededores son, principalmente, superficiales. El agua en alta procede del Turia y del Júcar a través del canal Júcar-Turia y es tratada en las potabilizadoras de Manises y Picassent. (ver Figura)

Del volumen anual potabilizado en las potabilizadoras (ETAPs), 64,4 Hm<sup>3</sup>/año (el 55,61%), es distribuido a Valencia y pedanías. Además, de pozos se extraen 3,78 Hm<sup>3</sup>/año, que se distribuyen por una red de baja presión para el riego de parques y jardines.

En la etapa de distribución, se registra un caudal de 47.84 Hm<sup>3</sup>/año.

Las aguas residuales generadas por la ciudad de Valencia y otros municipios, se tratan en numerosas estaciones depuradoras (EDARs) como las de Pinedo I, II o la Conca del Carraixet.

Por último, para cerrar el ciclo integral del agua, una fracción del agua depurada es devuelta al medio natural, mientras que otra parte está destinada a la recarga de la Albufera.

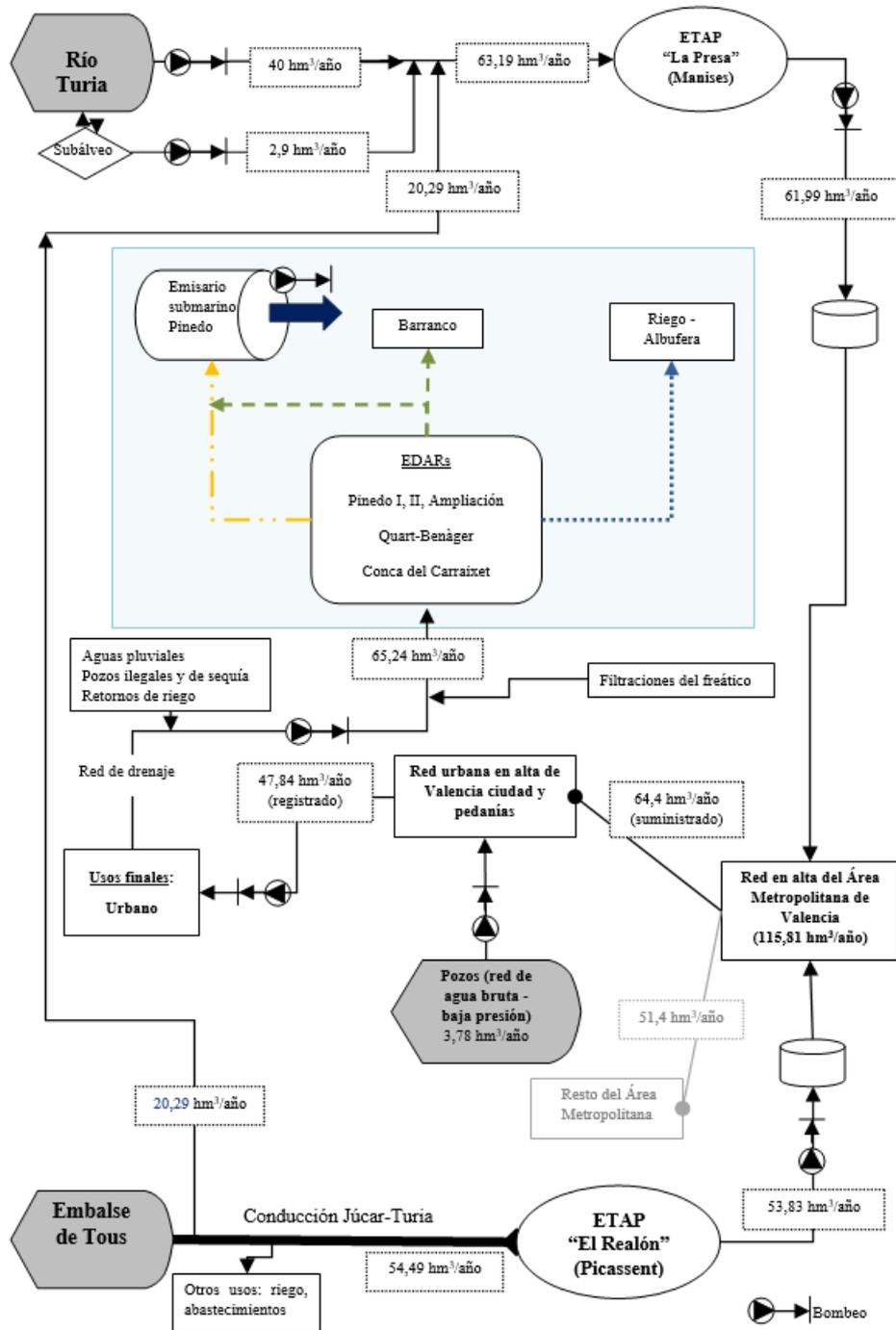


Ilustración 1 - Ciclo integral del agua en Valencia

En base a esta introducción, es posible determinar los elementos básicos que intervienen en una red de abastecimiento de agua urbana. Son principalmente:

- Pozos abiertos y pozos realizados mediante perforación: Captación de agua
- Bombas: Extracción e impulsión.
- Centros de transformación: Proporcionan la energía necesaria para el funcionamiento de la instalación.
- Válvulas: Reguladoras de presión, de compuerta o de seccionamiento.
- Depósitos: Almacenamiento
- Tuberías: Conexiones que transportan el fluido.
- Acometidas: Permiten suministrar agua a los hogares desde las tuberías de mayor diámetro.
- Hidrantes: Tomas auxiliares de agua para incendios.

La identificación de estos componentes en la red por parte de la Entidad Gestora y su valoración en función de su antigüedad y estado proporcionará el valor patrimonial actual de la misma. Dicho valor podrá ser comparado con el valor patrimonial inicial, de tal forma que será posible determinar la necesidad de inversión en la mejora de la instalación. Este concepto es desarrollado con mayor detenimiento en el Capítulo 4 del presente documento.

## **CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS**

### **BÁSICOS DE UNA RED**

Este capítulo tiene por objetivo introducir y definir los elementos básicos de una red de abastecimiento de agua urbana, a partir de los cuales se ha realizado una base de datos con los precios de mercado para valorar económicamente los activos de la red. La descripción de cada uno de estos elementos se estructura en tres apartados:

- Definición
- Vida útil
- Características y horquilla de selección

#### **3.1. TUBERÍAS**

Las tuberías son las conexiones que permiten transportar el agua a lo largo de todo su ciclo integral, formando el esqueleto de la red. En el caso de la etapa de distribución, el agua es transportada desde los depósitos de cabecera hasta nuestros hogares, donde es consumida.

Las tuberías se caracterizan principalmente por su material. Entre ellos cabe destacar los siguientes:

##### **3.1.1. Tuberías metálicas o de chapa**

Fabricadas a partir de chapa plegada de acero al carbono o de acero inoxidable. Se caracterizan por ser versátiles y tener gran capacidad portante. Por ello, son utilizadas en instalaciones de bombeo o de regulación de caudal y presión. Además, cuando se trata de tuberías con un mayor diámetro, es posible realizar las reparaciones necesarias desde el interior, de tal forma que se reduce el tiempo de no servicio de la misma.

##### **3.1.2. Tuberías de fundición gris y fundición dúctil**

La fundición nace de la aleación del hierro y el carbono. Las tuberías de fundición tienen unas características mecánicas similares a las tuberías metálicas, pero son más frágiles, especialmente cuando se trata de tuberías de fundición gris que, aunque hay muchas en servicio, hoy día están en desuso. Es por ello que se refuerzan tanto por el interior como por el exterior.

##### **3.1.3. Tuberías de fibrocemento**

El fibrocemento se fabrica a partir del amianto y el cemento, junto con algunos aditivos. Su uso actual está prohibido, debido a que la inhalación de las fibras del amianto durante los procesos

de fabricación puede desencadenar en enfermedades como el cáncer, si bien aún quedan muchos kilómetros en servicio, pues fue el material más utilizado desde los sesenta hasta finales del pasado siglo. Dado que no se van a instalar nuevas tuberías de este material, en la base de datos del Anexo 1, las tuberías de fibrocemento se aproximan a tuberías de polietileno de alta densidad.

### 3.1.4. Tuberías de polietileno de alta densidad (PEHD)

El polietileno es un producto plástico que presenta algunas ventajas respecto al resto de materiales utilizados en redes de abastecimiento. Son más manejables y ligeras, además de algo más económicas, razón por la que es el material más utilizado para diámetros medianos y pequeños (por debajo de 300 mm).

Por otro lado, para la valoración del coste económico del metro lineal de tubería, cabe considerar el tipo de zanja en el que está colocada. Esto viene determinado principalmente en función del diámetro de la conexión. De esta forma, se han considerado fundamentalmente dos tipos de zanjas: rectangulares y trapezoidales. A su vez, estas zanjas pueden abrirse en terreno tipo roca o en terreno más arcilloso.

Las zanjas rectangulares han sido asociadas a tuberías con un diámetro inferior a 600 mm. Por el contrario, si el diámetro de dicha tubería es superior a 600 mm, se le ha asociado la zanja de tipo trapezoidal, ya que este tipo de zanja es más adecuado para operar con tuberías de diámetros muy grandes (su forma mejora la operabilidad de la tubería).

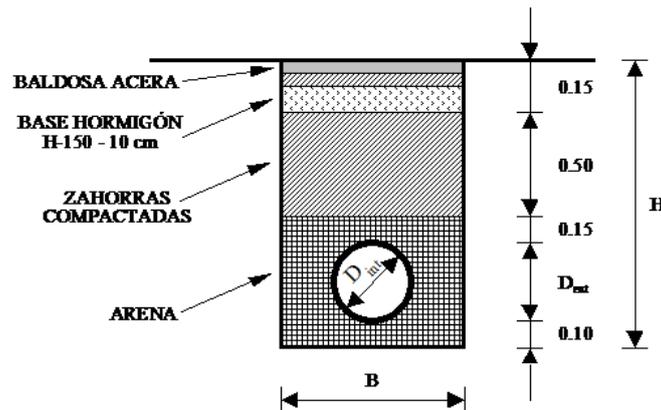


Ilustración 2 - Zanja rectangular ( $D < 600$  mm)

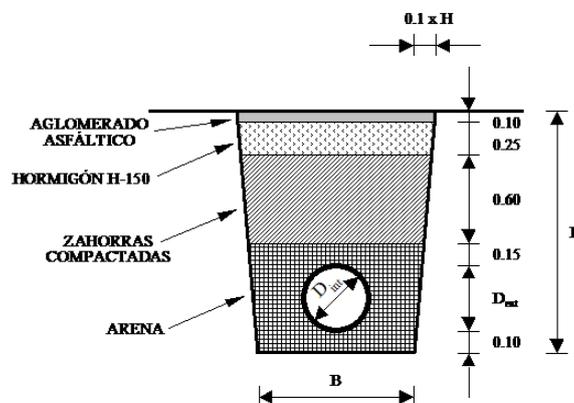


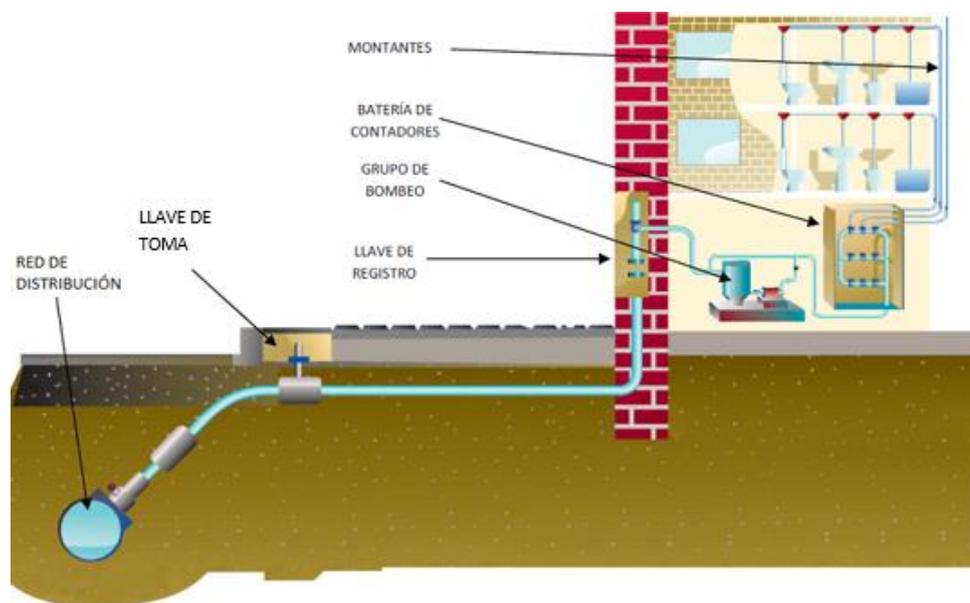
Ilustración 3 - Zanja trapezoidal ( $D > 600$  mm)

En cuanto a la horquilla de selección del diámetro de las tuberías, se han considerado como valores más comunes para redes de distribución desde 40 milímetros de diámetro hasta 1200 milímetros.

Por último, es necesario introducir el concepto de vida útil, parámetro que caracteriza a los componentes de una red de agua urbana y que permite estimar su valor patrimonial. Se llama vida útil al tiempo aproximado en el que un elemento es capaz de cumplir adecuadamente su función. En el caso de las tuberías, esta es de alrededor de 50 años. Este tiempo puede variar en función de factores como las condiciones de operación, el mantenimiento y, en el caso de las tuberías, el material.

### 3.2. ACOMETIDAS

Se llama acometida al conjunto de tuberías y otros elementos que enlazan la tubería principal de distribución de agua con la instalación de suministro al hogar.



**Ilustración 4 - Acometida**

A continuación, se procede a explicar cada uno de los componentes de una acometida:

**Llave de toma:** Establece la conexión entre la tubería de red general y el ramal individual, es decir, abre el paso a la acometida. Su instalación es necesaria porque permite hacer tomas en la red o realizar operaciones de mantenimiento en la acometida sin que la tubería deje de estar en servicio.

**Llave de registro:** Se sitúa en la vía pública, junto al edificio al que abastece. Su función principal es la de cortar o permitir el acceso de agua al usuario por parte de la compañía suministradora.

**Batería de contadores:** Registran el consumo efectuado para que pueda ser facturado.

Los diámetros de las acometidas son menores a los de las grandes tuberías de distribución de agua. En este proyecto, se contemplan acometidas de hasta un diámetro de 60 milímetros. Estos diámetros corresponden a grandes usuarios como, por ejemplo, centros comerciales.

En cuanto a la vida útil de la acometida, esta ronda los 50 años al igual que las tuberías de distribución.

### **3.3. VÁLVULAS**

Una válvula es un elemento que permite regular el flujo de agua en las instalaciones. Su utilización es fundamental en la explotación de una red, ya que permite aislar tramos de conducción, regular caudales y presiones y proteger el sistema frente a sobrepresiones o depresiones.

Entre los diferentes tipos de válvulas existentes, se han seleccionado los más habituales en las redes de distribución de agua urbana, con diámetros hasta los 300 milímetros.

#### **3.3.1. Válvulas reductoras de presión**

Puede ocurrir que un mismo punto de suministro alimente a zonas de una ciudad que estén a diferentes niveles de altura. En estas ocasiones, si la presión es excesiva, se pueden producir averías en las tuberías y, con ellas, fugas de agua. Por ello, las válvulas reductoras de presión actúan limitando la presión aguas abajo del punto que están instaladas, evitando así tales efectos. Esto se consigue disipando la energía excedente del fluido, provocando una pérdida de carga que garantiza que la presión aguas abajo no supere el valor máximo prefijado.

#### **3.3.2. Válvulas de compuerta**

Son válvulas de seccionamiento, es decir, pueden permitir o anular el paso del agua. Su estado se puede decidir a voluntad, mediante la acción de un volante en el eje que define el grado de apertura. Su posición será fundamentalmente abierta o cerrada. Las posiciones intermedias tienen carácter provisional.

#### **3.3.3. Válvulas de mariposa**

Son también una variante de las válvulas de seccionamiento. El control del paso del agua se realiza mediante un obturador en forma de lenteja o disco, concéntrico a la conducción, que gira mediante un eje solidario al mismo. Su grado de apertura determina el mayor o menor paso del fluido, pudiendo anularlo. Al igual que las válvulas de compuerta, la posición fundamental es de apertura o cierre total y las posiciones intermedias tienen carácter provisional.

La vida útil de las válvulas se encuentra en torno a los 25-30 años.

### **3.4. POZOS ABIERTOS Y POZOS REALIZADOS CON PERFORACIÓN**

La captación de aguas subterráneas se realiza mediante sondeos o pozos abiertos mediante una perforación, de ahí el nombre que se les asigna. A continuación, se realizará una explicación de los mismos.

#### **3.4.1. Pozos abiertos**

El pozo es una captación de agua subterránea que posee un diámetro que generalmente se extiende de 2 a 3 metros. Su profundidad se limita a los 15-20 metros, dado que su aplicación se centra en los acuíferos poco profundos. Esto se debe a que los pozos se llenan cuando el agua supera la superficie de saturación, por lo que su profundidad máxima está limitada a esa cota. Si bien, en las primeras décadas del siglo XX, en ausencia de máquinas perforadoras, todos los pozos eran abiertos y llegaron hasta profundidades superiores a los 60 metros.

Sin embargo, dado que el diámetro de los pozos es mayor que el de los sondeos, para una misma altura de profundización, la superficie filtrante es mayor. Por tanto, si la zona de saturación, una vez alcanzado el nivel freático, es poco permeable y de reducido espesor, será más adecuado un pozo que un sondeo.

#### **3.4.2. Pozos realizados mediante perforación**

Los pozos realizados mediante perforación son otra captación de agua subterránea con un diámetro inferior a 60 centímetros, menor que el diámetro de los pozos, pero con una profundidad mayor que estos, ya que supera los 20 metros, pudiendo penetrar profundamente en la zona de saturación, una vez alcanzado el nivel freático. Conforme se profundiza en esta zona, aumenta la presión hidrostática, la posibilidad de bombear un mayor caudal. Sin embargo, los pozos con perforación tienen un menor volumen que los pozos abiertos, y a medida que el nivel de agua en su interior desciende, el caudal elevado disminuye. Es por esto que el pozo con perforación es una fuente de suministro que, en épocas de sequía (cuando bajan todos los niveles) resulta bastante menos fiable.

Por último, cabe destacar que cuando las paredes no son de roca consolidada, los pozos con perforación se entuban para evitar el derrumbamiento de sus paredes.

### **3.5. BOMBAS**

Las bombas son elementos capaces de aportar energía al fluido, convirtiendo la energía mecánica de su motor en energía hidráulica en forma de energía cinética y de presión. Uno de las utilidades de las bombas en los sistemas de distribución de agua es la de mantener los depósitos llenos impulsando el agua desde un punto de captación cercano.

Las bombas más frecuentes empleadas en las redes de distribución son centrífugas, es decir, aquellas en las que el fluido entra centrípeto y sale perpendicular al eje de giro, ya que proporcionan unos valores adecuados de altura y caudal.

Como son elementos mecánicos sometidos a mucho desgaste, la vida útil de las bombas es menor que las del resto de elementos, estimándose en 15-20 años.

### **3.6. CENTROS DE TRANSFORMACIÓN**

Los centros de transformación son necesarios para abastecer con energía de baja tensión a los equipos eléctricos que intervienen en la instalación, como las bombas.

Las potencias más comunes para los transformadores que figuran en los catálogos de los fabricantes son (en kVA): 50, 100, 160, 250, 400, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000 y 2500. La vida útil de los centros de transformación ronda los 20-30 años.

### **3.7. DEPÓSITOS**

Los depósitos son contenedores para almacenar el agua proveniente de las potabilizadoras, regular los caudales y presiones y garantizar el suministro a la red de distribución.

Se caracterizan principalmente por el volumen que son capaces de albergar, que viene definido por las demandas a cubrir. La demanda puede estar basada en el consumo del día punta, sin olvidar que se pueda garantizar el abastecimiento puntual en caso de emergencia. En particular hace falta un volumen de reserva para no cortar el agua en caso de un fallo en la estación de bombeo o, en ocasiones, para atender un incendio.

El llenado del depósito se define estableciendo un nivel máximo de llenado y un nivel mínimo, de tal forma que cuando se alcanza el nivel máximo se detiene el proceso de llenado, y cuando llega a un nivel mínimo se vuelve a iniciar hasta completar de nuevo su capacidad. El objetivo fundamental de establecer un nivel mínimo y evitar que se vacíe por completo es impedir la entrada de impurezas, así como la entrada de aire en las tuberías, por los muchos problemas que su presencia genera. Los depósitos requieren una limpieza periódica (al menos una vez al año) para eliminar la materia sólida que se haya podido sedimentar en su fondo. De este modo se mantiene la calidad del agua.

Para la base de datos, se han considerado depósitos tanto elevados como enterrados, siendo los primeros hasta un volumen de 600 m<sup>3</sup> y enterrados para volúmenes de almacenamiento superiores.

Al ser elementos estáticos, los depósitos tienen una vida útil larga. En función de su mantenimiento pueden alcanzar de 70 a 100 años de vida.

### **3.8. HIDRANTES**

Los hidrantes son elementos de la red destinados al abastecimiento de agua en situaciones de incendio. En cuanto a su disposición, el Real Decreto 513/2017, del 22 de mayo establece “Los hidrantes deben estar situados en lugares fácilmente accesibles, fuera del espacio destinado a circulación y estacionamiento de vehículos, debidamente señalizados conforme a la Norma UNE 23 033 y distribuidos de tal manera que la distancia entre ellos medida por espacios públicos no sea mayor que 200 m.”

La vida útil de las hidrantes es la misma que la de las tuberías, es decir, 50 años. De hecho, cuando se hacen reparaciones en la red en tramos de tuberías comunicadas a hidrantes, se sustituyen ambos elementos.

Respecto a sus variantes, existen diferentes tipos de hidrantes, siendo los más comunes los explicados a continuación.

### **3.8.1 Hidrantes de columna seca**

Se emplean en lugares con riesgo de heladas, ya que disponen de una parte de su mecanismo bajo tierra, garantizando que el agua no quede en la superficie. De este modo, si hubiera un accidente en el que un coche chocara con el hidrante y este se partiera debido a la mayor fragilidad del material sometido a bajas temperaturas, el agua no se perdería. Esto se consigue mediante un eje metálico con un muelle, que mantiene la parte subterránea cerrada. En caso de necesidad, el eje actuaría dejando fluir el agua a la parte superior y permitiendo el suministro.

### **3.8.2. Hidrantes de columna húmeda**

Al contrario que los hidrantes de columna seca, disponen de todo su mecanismo en la superficie. Esto tiene la ventaja de que, en caso de mantenimiento o reparación, no es necesario operar en el terreno para poder acceder a la instalación. Es por ello que son la alternativa más eficiente a los hidrantes de columna seca, ya que mantienen las mismas prestaciones de caudal.

### **3.8.3. Hidrantes de arqueta o bajo nivel de tierra**

Este tipo de hidrantes queda totalmente enterrado bajo tierra. Se emplea en el caso de que no haya espacio suficiente en la superficie para su instalación, además de riesgo de heladas. Sin embargo, no son sustitutivos de los otros tipos de hidrantes, ya que no son capaces de suministrar el mismo nivel de caudal. Adicionalmente, su manejo es más lento y complicado, ya que no tiene un acceso directo, sino que hay que localizarlos y acceder a ellos para poder conectar la manguera y recibir el agua.

## **CAPÍTULO 4. VALOR PATRIMONIAL**

El valor patrimonial es el conjunto de bienes inmuebles inmovilizados, tanto materiales como inmateriales, que posee una empresa. En el caso de las redes de distribución de agua, el valor patrimonial vendría definido, en lo que se refiere a los bienes inmovilizados materiales, por los elementos que conforman la red, explicados en el anterior capítulo. Los bienes inmateriales se concretarían en el know-how de las personas que la gestionan, en la eficiencia de la misma y en el uso sostenible del agua, es decir, en aspectos inmateriales que aportan valor a la instalación.

### **4.1. EL CAPEX (CAPITAL EXPENDITURES)**

El CAPEX responde a las siglas de Capital Expenditures o lo que es lo mismo, gastos en capital. Se refiere fundamentalmente a todas las inversiones realizadas en la instalación, desde la construcción de la misma hasta la compra de nuevos elementos para sustituir aquellos que ya han alcanzado el máximo de su vida útil, o que es necesario que sean reemplazados, en lugar de reparar los existentes, lo que serían costes de mantenimiento asociados al OPEX.

El CAPEX es muy importante en las redes de distribución, ya que una buena inversión en la instalación permitirá garantizar una buena calidad de servicio y un uso eficiente del agua, un bien escaso.

Cabe destacar que el valor de una red de distribución de agua no es el mismo al inicio de su explotación que a medida que transcurren los años. El CAPEX permite estimar cuál es el valor actual de la red en base a la vida útil de cada elemento, su estado y su valor de mercado, así como realizar una valoración de los activos, de tal forma que se determine la urgencia de reemplazar algunos de los componentes de la red y aumentar la inversión en ellos para aumentar su valor patrimonial.

### **4.2. EL IVI: INFRASTRUCTURE VALUE INDEX**

El “Índice del Valor de la Inversión” es un ratio que compara el valor actual de la red de distribución con el valor inicial de sus activos o, lo que es lo mismo, lo que costaría reemplazarlos.

$$IVI (\%) = \frac{\text{Valor actual de la infraestructura}}{\text{Valor inicial de la infraestructura}}$$

El valor actual de la infraestructura se refiere al valor actual de mercado de la red, mientras que el valor inicial de la misma es cuánto costaría construir una red nueva equivalente basándose en los precios de mercado actuales.

El IVI es un indicador muy importante, ya que determina el estado de la red y la necesidad de renovar sus componentes. Es decir, si se obtiene un resultado del IVI del 30% implica que la red es vieja y que requiere de inversiones para renovarla. Mientras que, si el valor del IVI es superior al 50%, la red aún es joven y puede seguir operando sin riesgo, teniendo en cuenta que se opere en condiciones adecuadas y no se descuide su mantenimiento.

Además, el IVI puede ser aplicado en diversos campos para:

- Apoyar la planificación de reinversión a largo plazo en el marco de la gestión estratégica de los activos.
- Evaluar el valor estandarizado de una infraestructura al principio y al final de un período determinado.
- Establecer objetivos contractuales y de regulación de gestión que apunten a los activos de la infraestructura.

Por todo esto, se trata de un indicador muy versátil y útil para la valoración de la red y la planificación de la inversión en infraestructuras o de su renovación.

## **CAPÍTULO 5. NORMATIVA VIGENTE. LA DIRECTIVA MARCO DEL AGUA**

A continuación, se expondrá la normativa vigente que establece las bases y objetivos de este proyecto: la Directiva Marco del Agua europea.

Esta legislación surge de la necesidad de unificar las acciones referentes a la acción del agua en toda la Unión Europea. De este modo, el 22 de diciembre del 2000 entró en vigor la Directiva 2000/60/CE que establece un marco común de actuación en el ámbito de la política de aguas.

Tal y como indica la Directiva Marco del Agua “El agua no es un bien comercial como los demás, sino un patrimonio que hay que proteger, defender y tratar como tal”. Este proyecto está basado en el principio de recuperación de costes de la instalación, con el fin de garantizar un uso sostenible del agua y una mayor eficiencia de las instalaciones, en base a que estas están correctamente mantenidas. Sin su debido mantenimiento, defectos como las fugas o un diámetro útil de las tuberías inferior al previsto en condiciones iniciales a causa del uso, no se estará respondiendo a la política establecida por la Directiva Marco del Agua, y no se realizará un uso eficiente de los recursos disponibles.

Corresponde a las Entidades Gestoras garantizar y acreditar que este uso eficiente se está llevando a cabo, mediante las mejores prácticas disponibles desde el punto de vista técnico y administrativo.

Respecto a las tarifas, más detalladas en el Capítulo 7, se responderá al artículo 9 de la Directiva Marco del Agua, la cual establece que se debe penalizar con una tarifa mayor a aquellos usuarios que realicen un mayor consumo de agua: “Los Estados miembros tendrán en cuenta el principio de la recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua, incluidos los costes medioambientales y los relativos a los recursos, a la vista del análisis económico efectuado con arreglo al anexo III, y en particular de conformidad con el principio de que quien contamina paga.”

Con el empleo de esta normativa, se pretende concienciar a la población acerca de la importancia de un uso consciente de un recurso tan limitado como es el agua, y promover su uso sostenible, una gestión eficiente de la red y garantizar una buena calidad del agua.

## **CAPÍTULO 6. COSTES OPERACIONALES. OPEX.**

El principio de recuperación de costes no se basa únicamente en la inversión en la instalación a nivel de elementos y gestión, es decir, en el CAPEX, sino que también es necesario tener en cuenta otro componente importante en las inversiones en redes, el OPEX.

Se define el OPEX como los costes operacionales que conlleva la instalación. Si el CAPEX se refiere a la inversión en la compra de los elementos de la red y en los conocimientos de la Entidad Gestora, el OPEX abarca todos aquellos costes que implican mantener dicha red. Esto es, el personal que instala dichos elementos, las personas que se ocupan de la gestión de la red y también aquellas que realizan los trabajos de mantenimiento. También se incluyen los costes de la compra de energía y de agua, o de cualquier otro abastecimiento necesario, así como las subcontratas para realizar otros servicios. Por último, se considerarían en los costes operacionales aquellas tasas y tarifas que la Entidad Gestora tiene que pagar a la Administración Pública.

Para facilitar el cálculo y recogida de los costes asociados a operación y mantenimiento, se ha elaborado una hoja Excel que habilita la introducción de todos los datos particulares de la instalación y que considera cada uno de los grupos de interés o influencia en el OPEX.

### **6.1. PERSONAL**

**Tabla 1 - Costes asociados a personal**

PERSONAL		-	€
	Personas	Retribución anual media	Total
Titulado de Grado Superior	0	23.318,15 €	- €
Titulado de Grado Medio	0	22.454,00 €	- €
Jefe de Servicio/de Administración	0	21.302,56 €	- €
Encargado	0	20.677,54 €	- €
Oficial 1º	0	18.911,76 €	- €
Oficial 2º	0	18.594,09 €	- €
Auxiliar Administrativo	0	18.594,09 €	- €
Peón	0	17.983,29 €	- €
Otros	0	- €	- €

Los salarios medios se han determinado a partir de convenios reales del sector.

## 6.2. APROVISIONAMIENTOS

**Tabla 2 - Costes asociados a aprovisionamientos**

APROVISIONAMIENTOS				- €
	m3	Precio/m3	Total	
Compra de Agua	0	0,33 €	- €	
	kWh	Precio/kWh	Total	
Compra de energía eléctrica	0	0,08 €	- €	
	Ud	Precio/ud	Total	
Compra de contadores	0	60,00 €	- €	
Otros	0	- €	- €	

Se proporciona una fila denominada "Otros" para que el usuario incluya gastos diferentes o precios diferentes a los incluidos.

## 6.3. SUBCONTRATAS

Se ha considerado también, tal y como se muestra en la Tabla 3 los costes asociados a otros servicios subcontratados, necesarios para mantener operativa la red.

**Tabla 3 - Costes asociados a subcontratas**

SUBCONTRATAS		- €
	Total	
Atención Telefónica Centralita y Comercial	- €	
Lectura de Contadores	- €	
Oficinas Comerciales	- €	
Trabajos de Explotación de otros Centros Productivos	- €	
Retirada de Fangos	- €	
Otros	- €	

## Desarrollo de una Metodología para la Valoración de los Costes Anuales asociados a una Red de Agua Urbana

Por último, se incluyen los tributos e impuestos asociados a la red. Si se deseara, se podría expresar como porcentaje de cada uno de los elementos expresados con anterioridad. La visión general de la hoja de cálculo destinada a la determinación del OPEX es la mostrada en la

**Tabla 4 - OPEX**

Costes operacionales y de mantenimiento				TOTAL	- €
<b>PERSONAL</b>				-	€
	Personas	Retribución anual media	Total		
Titulado de Grado Superior	0	23.318,15 €	-	€	
Titulado de Grado Medio	0	22.454,00 €	-	€	
Jefe de Servicio/de Administración	0	21.302,56 €	-	€	
Encargado	0	20.677,54 €	-	€	
Oficial 1º	0	18.911,76 €	-	€	
Oficial 2º	0	18.594,09 €	-	€	
Auxiliar Administrativo	0	18.594,09 €	-	€	
Peón	0	17.983,29 €	-	€	
Otros	0	-	-	€	
APROVISIONAMIENTOS				-	€
	m3	Precio/m3	Total		
Compra de Agua	0		0,33 €	-	€
	kWh	Precio/kWh	Total		
Compra de energía eléctrica	0		0,08 €	-	€
	Ud	Precio/ud	Total		
Compra de contadores	0		60,00 €	-	€
Otros	0		-	-	€
<b>SUBCONTRATAS</b>				-	€
			Total		
Atención Telefónica Centralita y Comercial			-	€	
Lectura de Contadores			-	€	
Oficinas Comerciales			-	€	
Trabajos de Explotación de otros Centros Productivos			-	€	
Retirada de Fangos			-	€	
Otros			-	€	
<b>TRIBUTOS E IMPUESTOS</b>				-	€
<b>OTROS</b>				-	€

En base a los costes operacionales (OPEX) y los costes de inversión (CAPEX), se define el total de inversión, generalmente medido anualmente, que se tiene que recuperar por medio del sistema tarifario en base al conjunto de buenas prácticas establecidas por la Directiva Marco del Agua.

## **CAPÍTULO 7. TARIFACIÓN**

Tal y como se ha comentado en capítulos anteriores, el enfoque de la tarifación en este proyecto es el de la recuperación de costes.

Así es como lo enfoca también la Directiva Marco del Agua en su Artículo 9. Aun cuando ya se ha hecho constar, por ser la base de este trabajo, seguidamente se repite:

“Los Estados miembros tendrán en cuenta el principio de la recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua, incluidos los costes medioambientales y los relativos a los recursos, a la vista del análisis económico efectuado con el arreglo al anexo III, y en particular de conformidad con el principio de que quien contamina paga”

La tarifación puede ser entendida como la última etapa de gestión del abastecimiento. Desde el punto de vista del abastecimiento y Entidad Gestora, la tarifación supone el retorno de la inversión por parte de los consumidores, de tal forma que se generan los ingresos necesarios para posibilitar la continuidad de servicio en el tiempo y unos estándares de calidad determinados. Desde la perspectiva del usuario, la tarifación permite conocer el valor real del agua que está consumiendo. Cabe destacar, que el usuario no paga por el agua en sí como recurso natural, sino por el servicio de suministro, es decir, por lo que cuesta de transportar desde el entorno natural hasta los hogares, incluyendo todas las etapas comentadas en el ciclo integral del agua.

A continuación, se introducirán algunos conceptos básicos de la tarifación.

### **7.1. TARIFA MEDIA**

La tarifa media es un ratio que confronta los costes totales que deben recuperarse en la instalación y el volumen total de agua facturada. Ambas magnitudes deben cuantificarse en una misma escala temporal (por ejemplo, anual o bimestral)

$$T_m = \frac{\text{Coste Total}}{\text{Volumen facturado}}$$

La tarifa media representa el precio unitario al que debería cobrarse el metro cúbico de agua en el caso de que se estableciera una tarifa uniforme. Sin embargo, tal y como se ha visto en el artículo 9 de la Directiva Marco del Agua, no debe realizarse así, sino que un uso menos sostenible está penalizado con una tarifa mayor.

No obstante, la tarifa media es una referencia de gran utilidad para valorar el recibo final de cada grupo de usuarios según la tarifa aplicada.

Por otro lado, de cara al análisis del abastecimiento, se puede confrontar este ratio con los costes unitarios de producción o con otros costes. También permite realizar una comparación

con otros abastecimientos, de tal forma que se puede analizar el impacto de las condiciones particulares de cada uno sobre la tarificación.

## **7.2. PRINCIPIOS QUE DEBEN REGIR EL DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA TARIFARIA**

En base a las condiciones que establece la Directiva Marco del Agua en cuanto a la tarificación, se pueden definir unos principios básicos para guiar su diseño. En la medida en que los pasos que se sigan en el desarrollo de la tarifa se alejen de estos principios, existirá una mayor o menor posibilidad de que esta resulte fallida. Los principios son los siguientes:

### **7.2.1. Equidad**

Un sistema de tarificación equitativo no implica que la repartición de la aportación sea a partes iguales, sino que se deben tener en cuenta las circunstancias personales de cada usuario y el consumo que realiza del agua. Tal y como se ha mencionado en diversas ocasiones, quien consume más, debe pagar mucho más, ya que no solo hay que valorar el consumo, sino la disponibilidad del recurso.

En cuanto a las circunstancias personales de cada usuario, se debe tener en cuenta si el abonado tiene dificultades económicas o si representa una familia numerosa. En concreto, en el caso de las familias numerosas, es posible que cada uno de los usuarios esté realizando un consumo responsable del agua, aunque a nivel de abonado represente un volumen facturado de agua mayor. Es decir, no es lo mismo una vivienda de grandes dimensiones con piscina y jardín, que una casa con un gran número de personas viviendo en ella. De cualquier forma, cabe destacar que el agua no va en función de las dimensiones de una vivienda, el agua no la consume la superficie de la misma, sino las personas que viven en ella.

Situaciones como esta, debieran ser tenidas en cuenta a la hora de realizar la tarificación. Aunque sí bien es cierto que los descuentos de carácter social y demás consideraciones suelen aplicarse posteriormente a la definición de la tarifa o de forma complementaria a ella.

En base a todo esto, podemos definir otra regla básica a la hora de definir un sistema de tarificación: es necesario tener acceso a una medición individualizada del consumo de agua de cada abonado.

### **7.2.2. Sencillez**

Se recomienda que la tarifa sea sencilla para que el usuario pueda comprenderla fácilmente y aceptarla, conociendo por qué paga y qué es lo que paga. Por otra parte, cuanto más sencilla sea la tarifa, habrá menos posibilidad de error en los cálculos realizados.

### **7.2.3. Eficacia**

Desde el enfoque de la recuperación de costes, la característica más importante de una tarifa es que sea eficaz, es decir, que garantice los ingresos necesarios para la continuidad del servicio y correcto mantenimiento de la instalación.

### **7.2.4. Eficiencia**

Una tarifa eficiente es aquella que hace entender al consumidor el valor real del bien que está consumiendo, de forma que su consumo acabe basándose en ello. Es decir, la cantidad de agua

que consuma será una decisión económica eficiente porque estará basada en una percepción correcta del valor del bien consumido.

### 7.3. TIPOS DE ESTRUCTURAS TARIFARIAS

A continuación, se van a introducir las consideraciones fundamentales de las estructuras tarifarias más comunes en el suministro de agua.

#### 7.3.1. Tarifa Fija

El importe que aporta el usuario es independiente del volumen de agua que consume. El abonado paga una cantidad de terminada y a partir de ese instante puede consumir toda el agua que desee.

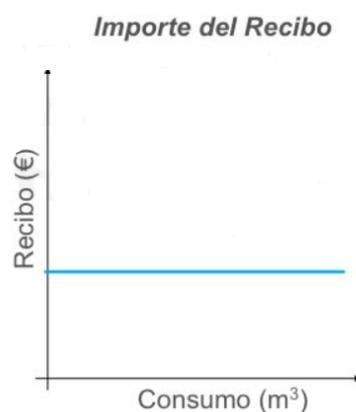


Ilustración 5 - Tarifa fija

Evidentemente, este sistema tarifario, debiera erradicarse pues no concuerda con las premisas establecidas por la Directiva Marco del Agua, ya que no promueve el uso sostenible del recurso hídrico.

Las tarifas fijas (fueron las inicialmente adoptadas cuando el agua consumida, por falta de contadores, no se medía), aún pueden encontrarse en poblaciones pequeñas sin problemas de disponibilidad de agua.

#### 7.3.2. Tarifa Monomía

La tarifa monomía es aquella que está constituida por un solo término, llamado cuota de servicio. En este caso, la cuota de servicio sí que depende del volumen consumido, por lo que constituye una mejora sustancial respecto a la tarifa fija en cuanto a concienciación sobre sostenibilidad medioambiental.

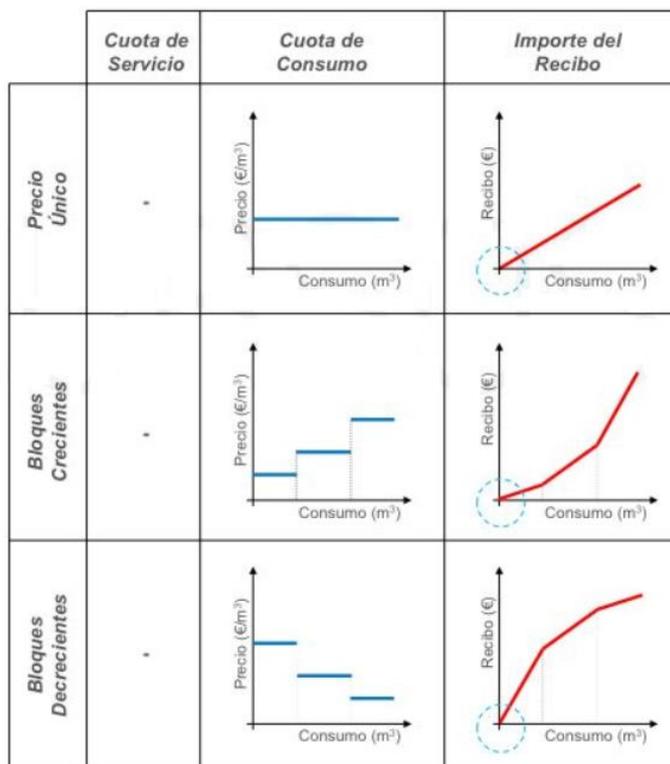
La cuota de consumo es el precio al que se factura el metro cúbico de agua consumida. Esta cuota puede ser constante o no, surgiendo así diferentes variantes de la tarifa monomía (ver Ilustración 6):

##### Sin importe mínimo

- Monomía uniforme: La cuota de servicio es constante, es decir, el precio del metro cúbico facturado es el mismo. Sin importar cuánta cantidad de agua se haya consumido

hasta el momento. De esa forma, el importe final del recibo del agua será creciente y proporcional al precio del metro cúbico.

- Monomía de bloques o escalones crecientes: Tiene la finalidad de penalizar el consumo excesivo de agua. De tal forma que la cuota de servicio deja de ser constante y pasa a ser creciente con el consumo.
- Monomía de bloques o escalones decrecientes: En contraposición, puede establecerse una tarifa en la que el precio del metro cúbico disminuye conforme a un mayor consumo de agua.



**Ilustración 6 – Tarifas Monomías**

Con importe mínimo:

Otra modalidad de tarifa monomía es aquella que incluye un importe mínimo a pagar de forma obligatoria, pero que da derecho a un consumo de volumen determinado. Una vez superado esa cantidad de volumen permitida, se aplica cualquiera de los tipos de tarifas monomías sin importe mínimo mencionadas anteriormente. De esta forma, tanto los abonados que consuman menos del volumen mínimo como los que consuman más, pagarán el importe mínimo de forma íntegra. Además, aquellos abonados que superen el volumen mínimo asociado al importe mínimo, deberán contribuir con la cuota de servicio correspondiente, aplicada a los metros cúbicos adicionales.

Esta explicación queda representada de forma gráfica en la Ilustración 7.

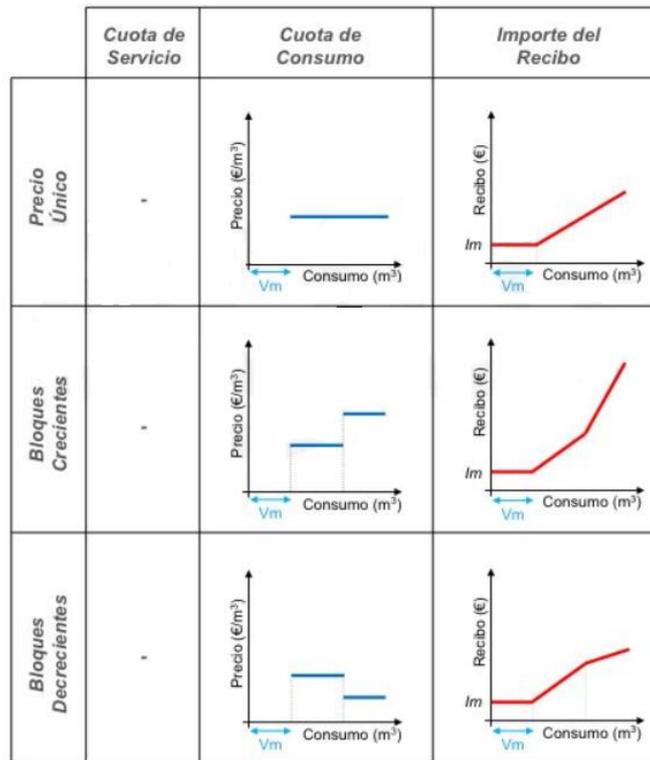


Ilustración 7 – Tarifas monomias con importe mínimo

### 7.3.3. Tarifa Binomia

La tarifa binomia está formada por dos términos o cuotas: la cuota de servicio y la cuota de consumo. Esto lo convierte en una tarifa más funcional que la tarifa monomia, ya que está compuesta por dos términos independientes, que pueden ser adaptados en función de los aspectos relacionados con el consumo de agua de los usuarios.

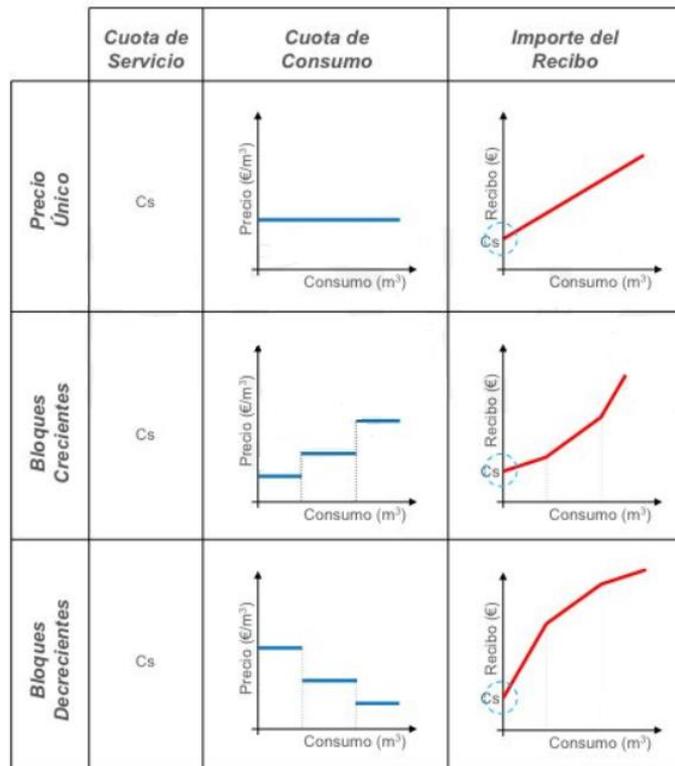
La cuota de servicio es un importe fijo e independiente del volumen consumido. Su sentido es el de cobrar por la disponibilidad de servicio, lo cual es distinto de una tarifa fija o de un importe mínimo ya que, aunque un usuario no consuma agua durante un tiempo, sigue teniendo contratado el servicio de abastecimiento y tiene acceso a él, aunque no consuma.

La cuota de servicio está ligada a los costes del mantenimiento de la instalación, pese a que no pretende recuperar todos los costes asociados a él, pues la convertiría en una tasa muy elevada. Por ello, se complementa con la cuota de consumo.

La cuota de servicio puede ser común a todos los usuarios o diferente según el tipo de abonado definido por el uso que realizan del agua o la disponibilidad que requieren de ésta. Por lo general, la cuota de servicio suele representar un 20% del total de los costes y el resto corresponde a la cuota de consumo. A la hora de tarifar hay que definir, de modo aproximado, este porcentaje.

La cuota de consumo, por su parte, tiene la misma utilidad que hemos definido en la tarifa monomia, es decir, corresponde al uso que se hace del recurso.

Las variantes de la tarifa binomia, son las mismas que las de tarifa monomia, esta vez considerando la cuota de servicio:



**Ilustración 8 – Tipos de tarifas Binomias**

Cabe resaltar que, a diferencia de las tarifas monomias sin volumen ni importe mínimo, no existe ningún caso en el que las tarifas binomias generen un importe de recibo nulo, si no que permanece igual a la cuota de servicio a razón de la contratación del mismo.

## 7.4. EJEMPLO SÍNTESIS DEL PROYECTO

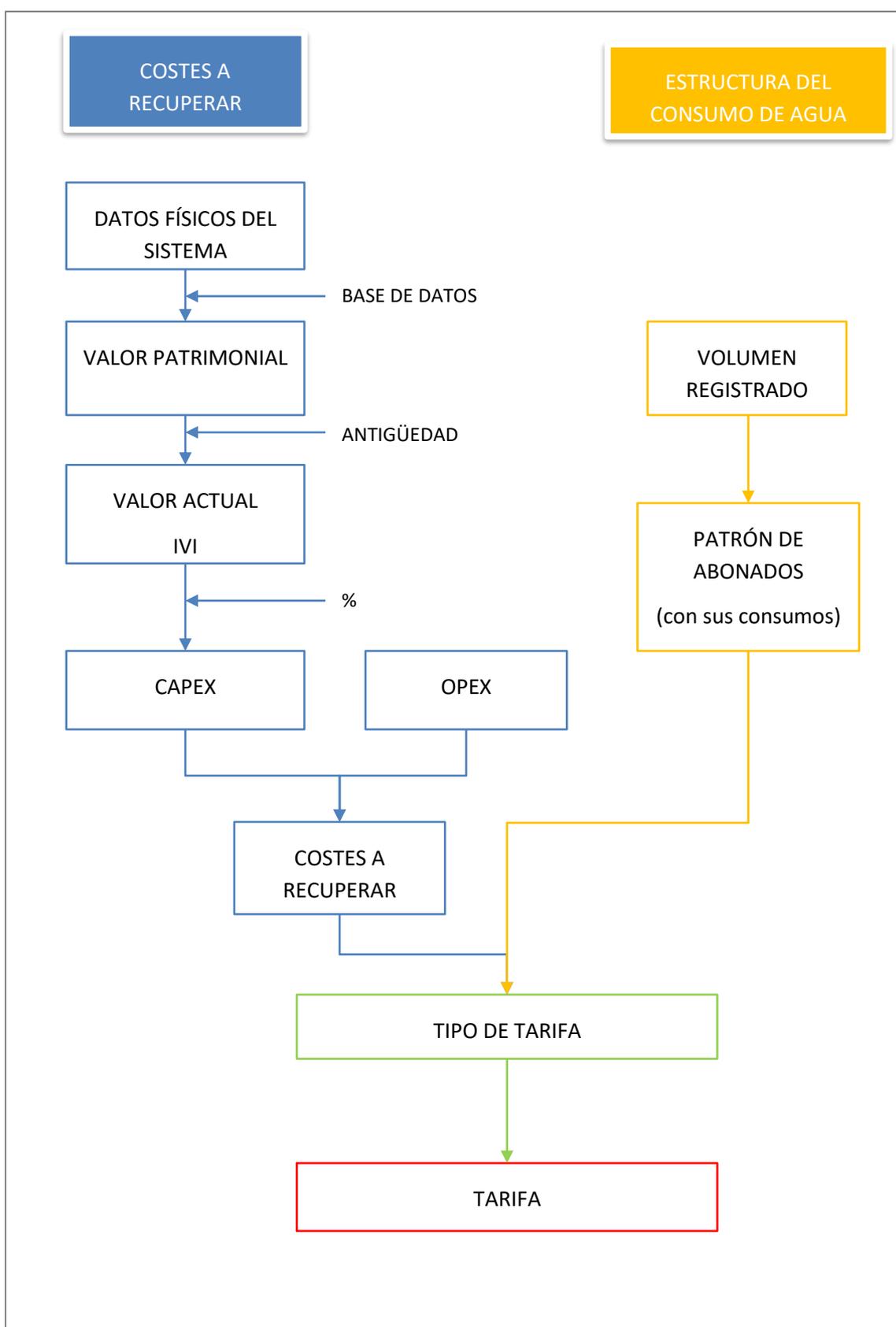
### 7.4.1. Introducción

Tomando como base todos los conceptos explicados con anterioridad, se procede a realizar un ejemplo en el que confluya todo el trabajo realizado y que exponga de forma clara el objetivo del proyecto.

El diagrama de bloques mostrado en el Esquema 1, determina el procedimiento a seguir para establecer una tarifa que permita la recuperación de los costes de la instalación.

Este proceso, se divide fundamentalmente en dos partes muy diferenciadas:

- Los costes a recuperar: Vienen determinados por el CAPEX y el OPEX, tal y como se ha explicado en capítulos anteriores. Se tendrán en cuenta parámetros como los datos físicos del sistema, el valor patrimonial inicial y actual y el IVI.
- La estructura del consumo de agua: Se define a partir del volumen total registrado facturado en un año y el patrón de abonados, así como los consumos de estos últimos.



Esquema 1 – Diagrama de flujo para el cálculo de una tarifa

Con estas premisas establecidas, se procede a la resolución del problema.

#### 7.4.2. Datos del problema

Se considera una red de 100.000 habitantes que registra un consumo anual de 5.000.000 m<sup>3</sup>. La instalación consta de 15.000 acometidas, 400 km de tuberías con 10 válvulas por cada km de red, 4 depósitos y 4 pozos con sus correspondientes bombas y centros de transformación. Esta información queda recogida en la Tabla 5.

**Tabla 5 – Datos de entrada**

Concepto	Características
Volumen anual registrado	5.000.000 m <sup>3</sup>
Habitantes	100.000 habitantes
Abonados	46.600 abonados
Acometidas	15.000 acometidas 14.000 acometidas de diámetro 40 mm 1.000 acometidas de diámetro 60 mm
Tuberías	Material: PEHD y fundición Longitud: 510 km de tuberías
Válvulas	10 válvulas por cada km de tubería Válvulas de seccionamiento
Pozos	Número: 4 Perforación de 400 mm Profundidad 130 m
Bombas	Cantidad: 4 Caudal: 105 l/s Altura: 80 m
Centros de transformación	Cantidad: 4 Potencia: 160 kVA
Depósitos	Cantidad: 4 Capacidad: 2.500 m <sup>3</sup> Superficial

Es necesario mencionar que, a pesar de que los datos considerados para el enunciado de este ejemplo son ficticios, se ha tenido en cuenta para su elección coherente valores medios de las redes españolas obtenidos por AEAS en el estudio titulado *“DATOS SOBRE LOS SERVICIOS DEL AGUA URBANA EN ESPAÑA. Resultados del XIV Estudio Nacional de Suministro de Agua Potable*

y Saneamiento en España 2016.”. En la explicación del cálculo del coste de los elementos físicos del sistema, se citarán dichos valores medios para reflejar la validez de los datos de entrada.

Otra consideración a tener en cuenta para esta red, es que no se ha incluido una planta potabilizadora que trate el agua, lo que equivale a suponer que el acuífero es de excelente calidad y sólo precisa de una cloración. Por ello, los valores obtenidos para los costes de elementos físicos y los costes de operación serán inferiores a los esperados en una red real, ya que no se contempla la inversión que conlleva la planta en cuanto a instalación ni los costes de mantenimiento y energía. Por ejemplo una planta desaladora, aumenta el coste del agua (entre CAPEX y OPEX) del orden de 1 €/m<sup>3</sup>).

#### 7.4.3. Cálculo de los costes de inversión de la instalación (CAPEX)

Para la resolución de este primer apartado cobra especial importancia la base de datos desarrollada durante la elaboración del presente proyecto. Su uso y manejo queda explicado en el Anexo 1.

El procedimiento a seguir para la obtención de los costes de inversión en la instalación consiste en el cruce de los datos de entrada con las bases de datos disponibles. El coste final resultante de dicho cruce corresponderá con el valor patrimonial inicial de la instalación.

- **Tuberías**

España consta de 224.000 km de red, lo que corresponde a una longitud media de 4,8 m/persona. La longitud de la red propuesta es de 510 km distribuidos para 100.000 habitantes, es decir, 5,1 m/persona, por lo que es un valor razonable. Este número de kilómetros se distribuye, tal y como se muestra en la Tabla 6, entre tuberías con diámetros desde 63 mm hasta los 600 mm.

Los materiales de dichas tuberías son polietileno de alta densidad para aquellas con un menor diámetro y fundición para las conexiones con una sección superior a los 300 mm de diámetro.

Por otra parte, cabe mencionar que, en redes de distribución urbanas, la cantidad de kilómetros de red para tuberías pequeñas es mayor a la de tuberías de dimensiones más grandes. En base a esto, se ha decidido la distribución de los 510 kilómetros de red de la siguiente forma:

**Tabla 6 – Cálculo del precio de tuberías**

DN (mm)	MATERIAL	tubería/ml tube	Tipo de zanja	€ zanja/ml tube	ml tubería	TOTAL	TOTAL	
63	TUBERÍA P.E. (A.D.) PE 10 A	2,98	Rectangular roca	56,77	60.000,00	3.584.828,07 €	94.448.646,34 €	
110	TUBERÍA P.E. (A.D.) PE 10 A	8,95	Rectangular roca	68,38	100.000,00	7.733.444,80 €		
140	TUBERÍA P.E. (A.D.) PE 50A PN 10	112,90	Rectangular roca	76,69	80.000,00	15.167.352,41 €		
200	TUBERÍA P.E. (A.D.) PE 100A PN 10	18,51	Rectangular roca	95,00	70.000,00	7.945.533,07 €		
250	TUBERÍA P.E. (A.D.) PE 100A PN 10	59,71	Rectangular roca	111,73	60.000,00	10.286.454,88 €		
350	TUBERIA F.D. JUNTA STANDARD	96,55	Rectangular roca	148,61	60.000,00	14.709.321,10 €		
400	TUBERIA F.D. JUNTA STANDARD	113,84	Rectangular roca	168,55	50.000,00	14.119.416,87 €		
500	TUBERIA F.D. JUNTA STANDARD	153,40	Rectangular roca	211,10	30.000,00	10.935.027,95 €		
600	TUBERIA F.D. JUNTA STANDARD	205,75	Trapezoidal roca	292,61	20.000,00	9.967.267,19 €		
								530000,00 m

Las conexiones constituyen el grueso del coste de la instalación en cuanto a elementos físicos de la red (alrededor del 80-90%).

- **Acometidas**

La densidad de acometidas en una instalación ronda las 20-70 acometidas por kilómetro de red. Se propone como dato de entrada 15000 acometidas, lo que equivale a un total de 29,4 acometidas por kilómetro, teniendo en cuenta los 510 km de conexiones del enunciado.

De estas 15.000 acometidas, 14.000 corresponden a un calibre de 40 mm, destinadas a consumos residenciales, y 1.000 a un calibre de 60 mm para abastecer lugares de mayor consumo, como centros comerciales, usos públicos (escuelas, hospitales, centros deportivos...) e industrias.

La Tabla 7 muestra el coste para este elemento.

**Tabla 7 – Cálculo del precio de acometidas**

Calibre (hasta) mm	Longitud (m)	Ud	€/ud	€	TOTAL
40	2	14000	181,31 €	2.538.340,00 €	3.035.910,00 €
60	2	1000	497,57 €	497.570,00 €	

REFERENCIAS BD original con descripciones

Índice

Resumen

- Válvulas**

Para la elección del número de válvulas, se ha considerado 10 válvulas de seccionamiento por cada kilómetro de red. En base al número de kilómetros establecido previamente para cada tipo de tubería, se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla 8 – Cálculo del precio de válvulas**

Tipo	PN	Diámetro (pulgadas)	Diámetro (mm)	Precio unitario	Cantidad	Precio final	TOTAL
Seccionamiento	10	2,5	63,5	259,78	600	155.868,00 €	4.111.057,00 €
Seccionamiento	10	3	76,2	367,74	1000	367.740,00 €	
Seccionamiento	10	4	101,6	399,59	800	319.672,00 €	
Seccionamiento	10	6	152,4	641,90	700	449.330,00 €	
Seccionamiento	10	8	203,2	988,36	600	593.016,00 €	
Seccionamiento	10	10	254	1420,21	600	852.126,00 €	
Seccionamiento	10	12	304,8	2746,61	500	1.373.305,00 €	

- Pozos**

Cuando la procedencia del agua es subterránea, lo habitual es suministrar el agua desde pozos ubicados en la periferia de la ciudad. En este caso, el abastecimiento lo integra un total de cuatro perforaciones de 400 mm de diámetro y profundidad 130 m. En la Tabla 9 se muestra el coste total para las cuatro perforaciones.

**Tabla 9 – Cálculo del coste de los pozos**

Tipo	Unidad	Diámetro (mm)	Precio ejecución material	UD/ML	Cantidad	Precio final	TOTAL
Perforación	ML	400	225,82		130	4 117.426,40 €	117.426,40 €

REFERENCIAS BD de pozos y sondeos. Descripciones.

Índice

Resumen

- **Depósitos**

Consecuentemente al número de pozos considerado, el número de depósitos será también cuatro con una capacidad de 2500 m<sup>3</sup>. Por la la capacidad de los mismos, ya se intuye que se trata de depósitos superficiales, y no elevados.

**Tabla 10 – Cálculo del coste de los depósitos**

Tipo	Volumen (m3)	Precio (€)	Selección	Total	TOTAL
Superficial	1000 - 3000	347308,95	4	1389235,79	1.389.235,79 €

Resumen

- **Bombas**

En base al volumen registrado y que es necesario elevar, la instalación cuenta con 4 bombas, una para cada pozo, que proporcionan una altura de 80 metros y un caudal de 105 l/s. Pese a que los pozos tienen una profundidad total de 130 m, las bombas impulsan el agua desde el nivel en el que esté ésta en la perforación, la cual se estima en 60-75 m. Además, se ha considerado una red sin desniveles que funciona por gravedad, en la que no es necesario la intervención de las bombas más allá de en las estaciones de bombeo. Los depósitos tienen cota suficiente para abastecer por gravedad toda la red.

Su coste queda registrado en la Tabla 11.

**Tabla 11 – Cálculo del coste de las bombas**

H (m)	Q (l/s)	Q (m3/h)	N (rpm)	Bomba	Precio unitario	Ud	Total	TOTAL
80	105	378	3000 rpm	MEN125-100-250L	6.405,00 €	4	25.620,00 €	25.620,00 €

- **Centros de transformación**

Para determinar la potencia de los centros de transformación de las estaciones de bombeo, se parte del caudal a propulsar (Q=105 l/s) y la altura a proporcionar (H=80 m) por las bombas. De este modo, considerando un rendimiento de los grupos de bombeo del 70%, se obtienen 117,72 kW.

Por tanto, para abastecer de energía las 4 estaciones de bombeo de las que dispone la red, se consideran 4 centros de transformación con una potencia de 160 kVA.

La Tabla 12 indica su coste.

**Tabla 12 – Cálculo del coste de los centros de transformación**

kVA	€/ud	Selección	TOTAL	TOTAL
160	9.500,01 €	4,00	38.000,05 €	38.000,05 €

Siguiente: Depósitos

- **Contadores**

Para los 46.600 abonados, se distinguen dos tipos de contadores en función del calibre, aquellos con un diámetro mayor corresponden a un precio más elevado. El coste total se muestra en la Tabla 13.

**Tabla 13 – Cálculo del coste de los contadores**

Precio unitario	Cantidad	Precio total	TOTAL
25,00 €	40000	1.000.000,00 €	1.330.000,00 €
50,00 €	6600	330.000,00 €	
Definida por el usuario			

- Hidrantes**

Se considera un valor orientativo de 1,4 hidrantes de columna húmeda por kilómetro de red.

**Tabla 14 – Cálculo del coste de los hidrantes**

Tipo	Diámetro (pulgadas)	Diámetro de la boca (mm)	Precio unitario	Cantidad	Precio	TOTAL
Columna húmeda	4	101,6	1.269,53	500	634765	634.765,00 €

El resultado de la suma de todos los costes obtenidos para cada uno de los elementos queda reflejado en la pestaña “Resumen” de la base de datos, tal y como se muestra en la Tabla 15. Esta cantidad representa el valor patrimonial inicial de la instalación.

**Tabla 15 – Valor patrimonial inicial de la instalación**

Tabla resumen de precios	
TUBERÍAS	94.448.646,34 €
ACOMETIDAS	3.035.910,00 €
VÁLVULAS	4.111.057,00 €
POZOS	117.426,40 €
BOMBAS	25.620,00 €
CENTROS DE TRANSFORMACIÓN	38.000,05 €
DEPÓSITOS	1.389.235,79 €
HIDRANTES	634.765,00 €
CONTADORES	1.330.000,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>105.130.660,58 €</b>

Una vez es conocido el valor patrimonial inicial de la instalación, es necesario considerar la antigüedad de la red. De esta forma, se decide el porcentaje del coste total de los elementos que se desea recuperar, para poder invertir en la mejora de la red en función de la urgencia de renovación.

En el caso del ejemplo síntesis presentado en este capítulo, se va a considerar una antigüedad para todos los elementos de la red de la mitad de su vida útil, lo cual se vería reflejado en un IVI

del 50%. Cabe destacar que este valor considerado se trata de una aproximación, ya que es poco usual que todos los elementos de la red se encuentren en el mismo punto de su vida útil, incluso para un mismo elemento, como las tuberías, en las que su vida depende de la fecha en que fue instalada. El crecimiento de la ciudad es progresivo, y el tendido de la red va al compás de dicho crecimiento.

En base a la antigüedad considerada, se decide recuperar un 2% de los costes de renovación total de la instalación. Es muy importante resaltar que, en el caso de elementos como las bombas o los contadores, su vida media es muy inferior (unos 15 años para las bombas y un máximo de 8 años para los contadores) al de las tuberías, que se suele estimar en 50 años. No obstante, se ha optado por esta aproximación en base a que la aportación de las tuberías al coste total supera con mucha diferencia al de las bombas o contadores. Con ello, se pretende justificar la coherencia de esta simplificación, pero se recomienda que, en caso de hacer un estudio detallado, se considere la antigüedad real del elemento y su relación con la vida media que se le estima. Por ejemplo, la previsión anual de fondos para renovar una bomba de 15 años de vida sería en torno al 6% de su valor.

Habiéndose mencionado todos estos conceptos, el CAPEX de la red queda reflejado en la Tabla 16.

**Tabla 16 - CAPEX**

VALOR PATRIMONIAL INICIAL	105.130.660,58 €
% A RECUPERAR	2%
CAPEX	2.102.613,21 €

#### **7.4.4. Cálculo de los costes operacionales (OPEX)**

Adicionalmente a los costes de inversión en la instalación, es necesario tener en cuenta los gastos de operación y mantenimiento de la red. En este ejemplo, se han considerado principalmente los costes asociados a recursos humanos y a compra de energía, dado que no es necesaria la compra de agua, pues es extraída de los acuíferos.

Las retribuciones anuales medias de los trabajadores han sido adaptadas de las tablas salariales correspondientes al *“V CONVENIO COLECTIVO ESTATAL DE LAS INDUSTRIAS DE CAPTACIÓN, ELEVACIÓN, CONDUCCIÓN, TRATAMIENTO, DISTRIBUCIÓN, SANEAMIENTO Y DEPURACIÓN DE AGUAS”* que recoge datos desde el año 2015 hasta el 2017 para este sector.

Para el cálculo de los kWh consumidos, se ha partido del volumen registrado (5.000.000 m<sup>3</sup>) y el porcentaje del volumen de agua no contabilizada (30%), con el objetivo de hallar el caudal total bombeado (7.142.857 m<sup>3</sup>/año). Si se tiene en cuenta que esta cantidad ha de ser impulsada por cuatro bombas a razón de 105 l/s, es posible calcular el número de horas de funcionamiento anuales de la estación de bombeo. A partir de la potencia de la bomba calculada previamente, de las horas de funcionamiento, y considerando un precio medio de la energía de 0,12 €/kWh, se obtiene el valor mostrado en la Tabla 17.

## Desarrollo de una Metodología para la Valoración de los Costes Anuales asociados a una Red de Agua Urbana

Los gastos varios a los que se hace referencia en dicha tabla, corresponden a gastos procedentes de reactivos para tratar el agua, consumibles o parque móvil, entre otros.

**Tabla 17 - OPEX**

<b>Costes operacionales y de mantenimiento</b>		<b>TOTAL</b>		1.273.659,24 €
<b>PERSONAL</b>		812.272,04 €		
	Personas	Retribución anual media	Total	
Titulado de Grado Superior	4	40.000,00 €	160.000,00 €	
Titulado de Grado Medio	2	35.000,00 €	70.000,00 €	
Jefe de Servicio/de Administración	1	40.000,00 €	40.000,00 €	
Encargado	2	20.677,54 €	41.355,08 €	
Oficial 1º	8	18.911,76 €	151.294,08 €	
Oficial 2º	10	18.594,09 €	185.940,90 €	
Auxiliar Administrativo	3	18.594,09 €	55.782,27 €	
Peón	6	17.983,29 €	107.899,71 €	
Otros	0	-	-	
	36			
<b>APROVISIONAMIENTOS</b>		345.600,00 €		
	m3	Precio/m3	Total	
Compra de Agua	0	0,33 €	-	
	kWh	Precio/kWh	Total	
Compra de energía eléctrica	4320000	0,08 €	345.600,00 €	
	Ud	Precio/ud	Total	
Compra de contadores	0	25,00 €	-	
Otros	0	-	-	
<b>VARIOS</b>		115.787,20 €		
		10%		

Hasta este momento, se ha calculado el coste total a recuperar a través de los dos bloques de costes que se han introducido a lo largo de esta memoria: el CAPEX, en base a los elementos de la instalación, y el OPEX, que recoge los gastos de mantenimiento, personal y abastecimiento de energía. Por último, se ha aplicado a la suma total un porcentaje de tasas e impuestos de un 21%, tal y como se muestra en la Tabla 18.

**Tabla 18 – Total a recuperar**

<b>CAPEX + OPEX</b>	3.376.272,46 €	
<b>TRIBUTOS E IMPUESTOS</b>	709.017,22 €	21%
<b>TOTAL</b>	4.085.289,67 €	

A continuación, se procede a explicar un ejemplo de tarifa para recuperar esta cantidad.

### 7.4.5. Tipo de tarifa

Cabe resaltar que no existe una única solución válida a la hora de establecer un sistema de tarifación. El tipo de tarifa a adoptar depende fundamentalmente de los objetivos que se pretendan conseguir con dicha tarifa. Este estudio se centra, tal y como se ha comentado, en el principio de recuperación de costes y en la penalización del consumo excesivo del agua. Por ello, la primera característica de la tarifa escogida es que consta de bloques crecientes, que garantizan un precio de metro cúbico mayor para aquellos abonados que realicen un mayor gasto.

Por otro lado, para definir el tipo de tarifa a diseñar, es necesario conocer la periodicidad de la misma: bimestral, trimestral, anual, etc. Por norma general, la periodicidad de tarifación es

bimestral o trimestral, dejando la regularidad anual para poblaciones reducidas o con tarifas fijas. Para este diseño, se elige una periodicidad bimestral.

#### 7.4.6. Cálculo de la tarifa

Además de las bases de datos para los elementos de la instalación y las hojas de cálculo del OPEX, para este proyecto también se ha planteado un simulador de tarifas que permite introducir los datos básicos de la red en cuanto a consumo e iterar hasta conseguir una tarifa que se considere apropiada.

Como datos de entrada, se requiere conocer el volumen facturado anual y el número de abonados.

A partir de estos datos, es posible obtener tres parámetros que servirán de referencia a la hora de diseñar la tarifa:

- Consumo medio por abonado:  $\text{m}^3/\text{bimestre}$
- Tarifa o precio medio por  $\text{m}^3$  facturado:  $\text{€}/\text{m}^3$
- Recibo medio por abonado:  $\text{€}/\text{bimestre}$

**Tabla 19 – Datos de entrada del simulador de tarifas**

DATOS DE ENTRADA	
Capital a recuperar	4.085.289,67 € €/año
Volumen anual registrado	<input type="text" value="5000000"/> $\text{m}^3/\text{año}$
Número de abonados	<input type="text" value="46600"/> abonados
Periodicidad de la facturación	<input type="text" value="2"/> meses
VALORES PROMEDIO	
Consumo medio por abonado	17,88 $\text{m}^3/\text{bimestre}$
Tarifa media por $\text{m}^3$ facturado	0,82 $\text{€}/\text{m}^3$
Recibo medio por abonado	14,61 $\text{€}/\text{bimestre}$

En primer lugar, cabe destacar, al igual que se ha hecho previamente con el resto de valores asignados a los datos de entrada, que el volumen anual registrado propuesto es lógico, dado que si se divide por los 100.000 habitantes se obtiene un valor de 136 litros por habitante y día. AEAS define en el estudio citado previamente un consumo medio de 139 litros por habitante y día en España en el año 2014.

Por otro lado, tal y como se ha introducido previamente, la tarifa media representa la aportación de cada usuario si no se realizaran distinciones sociales ni de consumo. En este caso, la tarifa media resultante se encuentra ligeramente por debajo de lo obtenido en el estudio de AEAS ( $1,02 \text{€}/\text{m}^3$  para el servicio de abastecimiento de agua). Sin embargo, esto se debe a que se ha considerado una red de bajo coste, ya que no se contempla una depuradora ni servicios de

subcontratas, sumado a la aproximación realizada en el CAPEX. Teniendo esto en cuenta, puede considerarse razonable el valor obtenido.

Habiendo comentado los datos de entrada necesarios para el diseño de la tarifa, se procede a explicar otro factor muy importante a tener en cuenta para la determinación de una tarifa de bloques crecientes: el patrón de abonados.

Para tener en cuenta el consumo y uso del agua que realizan los usuarios, cabe definir un patrón de abonados que establezca diferentes categorías y el número de abonados de cada tipo, determinado por un rango de volumen facturado asociado al mismo. Con estos datos, es posible determinar el consumo medio de cada abonado dentro de su categoría.

**Tabla 20 – Patrón de abonados**

**PATRÓN DE ABONADOS**

Sector	Abonados	m3/año
Residencial	40000	4000000
Industrial	600	300000
Comercial	6000	600000
Público		100000
<b>TOTAL</b>	<b>46600</b>	<b>5000000</b>

Una vez obtenidos todos estos datos, se comienza con el cálculo de la tarifa.

Tal y como se ha mencionado previamente, la tarifa elegida para este ejemplo es binomia de bloques crecientes. La cuota de servicio será considerada un 20% del coste total a recuperar, dado que suele ser un valor comprendido entre el 10% y el 30%.

Tomando como referencia la tarifa media, se determina un coste de consumo para cada bloque.

Una vez establecidas ambas cuotas, la de servicio y la de consumo, y conociendo el número de abonados perteneciente a cada categoría de consumo y su volumen facturado, se calcula el coste total recuperado. En base a este valor, se itera para conseguir una combinación de tarifa que asegure la recuperación total o máxima posible de costes.

**Tabla 21 – Tarifa calculada**

TARIFA			RESULTADOS	
Cuota de servicio	20%	2,92 €/bimestre	Consumo m3/bim	Ingresos de la tarifa
<b>Bloques de consumo</b>			<10 m3/bimestre	390.222,88 €
Primer bloque	Hasta	36,46 m3	10-20 m3/bim	22.253,34 €
	Precio	0,41 €/m3	20-50 m3/bim	268.403,43 €
Segundo bloque	Desde	36,46 m3	>50 m3/bimestre	
	Precio	2,51 €/m3	<b>TOTAL/bim</b>	<b>680.879,66 €</b>
			<b>TOTAL/anual</b>	<b>4.085.277,93 €</b>
			<b>% RECUPERADO</b>	<b>100%</b>
			<b>Falta</b>	<b>11,74 €</b>

Por último, cabe destacar que este sistema de tarificación puede ser completado con una política social que establezca descuentos a las familias numerosas o con rentas más bajas, para que sea una tarifa equitativa y adaptada a las condiciones del abonado.

## **CAPÍTULO 8. INDICADORES DE CALIDAD.**

### **BENCHMARKING**

Pese a que no es objeto directo de este proyecto el desarrollar la temática relacionada con los indicadores de calidad, es importante introducirlos ya que están íntimamente relacionados con la eficiencia de las redes de distribución y sus costes. Así mismo, en este capítulo se realizará una breve comparativa con otros países con la finalidad de dar visibilidad a la importancia de unas tarifas coherentes con los resultados deseables de recuperación de costes.

#### **8.1. INDICADORES DE CALIDAD A NIVEL DE USUARIO**

Los indicadores de calidad son medidas de las condiciones de prestación de servicio de la red de distribución. Al tratarse de una red cuyo objetivo es abastecer de agua a la población, los indicadores de mayor interés y aquellos en los que se va a profundizar en este capítulo, son los indicadores de calidad de servicio a nivel de usuario.

Los indicadores comentados a continuación fueron definidos por la OFWAT (Water Services Regulation Authority), organismo responsable de regular los servicios privatizados de distribución de agua en Inglaterra y Gales desde 1989. El objetivo de los indicadores de calidad de servicio al usuario es el de promover un mejor servicio y una mayor eficiencia entre las diferentes compañías de distribución de agua. Además, permite la comparación de servicio entre estas.

Algunos de los indicadores de calidad a nivel de usuario son los siguientes:

##### **8.1.1. Mecanismo de Incentivo de Servicio**

El Mecanismo de Incentivo de Servicio mide la satisfacción del usuario con el servicio recibido por la Entidad Gestora, es decir, por la compañía suministradora de agua. Se refiere fundamentalmente a la atención al cliente, a la gestión de conflictos como errores en las facturas y, en general, a la comunicación compañía-consumidor. Se valora mediante encuestas al usuario.

##### **8.1.2. Inundación interna de alcantarillas**

Queda definido por el número de incidentes de inundación de alcantarillas ocurridos en los últimos 10 años. Para reducir este indicador, es interesante invertir en el mantenimiento de la red.

### **8.1.3. Interrupciones de suministro de agua**

Es el número de horas en el que ha quedado paralizado el suministro de agua debido a operaciones de mantenimiento o averías, a partir de una duración de tres horas, por cada usuario.

A través de estos indicadores, es posible definir unas condiciones mínimas de servicio y un conjunto de buenas prácticas a llevar a cabo, así como un mecanismo de emulación de competencia que permita y motive a las compañías a mejorar el servicio al usuario.

## **8.2. BENCHMARKING**

El benchmarking es una buena práctica para cualquier organización o empresa, dado que permite una evaluación de la forma de trabajar propia y su contraste con formas de proceder diferentes pertenecientes a otros competidores del mercado, de tal forma que puede resultar en la adquisición de nuevas ideas aplicables a la propia empresa. Conviene recordar que la gestión del agua urbana es un monopolio natural (no es viable, desde la óptima económica, instalar dos redes en una misma ciudad) y en estos casos la única manera de medir la eficiencia de una gestión es mediante técnicas de benchmarking.

En lo referente a los indicadores, las mejores prácticas coinciden con aquellos países en los que la gestión del agua es regulada por un organismo nacional de forma continuada, estableciendo unos procedimientos (indicadores) que valoren el servicio, y unos plazos en los que sus resultados deben estar publicados. Algunos ejemplos son países como Noruega, Inglaterra, Suecia, Alemania, Dinamarca y Holanda.

Por otro lado, es interesante estudiar el precio del agua en diferentes países y profundizar en el porqué de tales diferencias. En un primer momento, puede sorprender que el precio del agua en Dinamarca sea de 7 €/m<sup>3</sup>, cinco veces mayor que en España. Es posible pensar que esto se debe a las diferencias entre ellos de sus rentas per cápita. Sin embargo, si se extrapolan los precios del agua de tal forma que el sueldo bruto fuera igual al de España y los precios del agua proporcionales al sueldo bruto de cada país, el precio del agua en países como Dinamarca, Eslovenia o Noruega, entre otros, continúa siendo mucho más elevado.

La respuesta a esta diferencia reside en el retorno de todos los costes de la instalación y en las inversiones en infraestructura que se realiza en los países con una tarifa más elevada.

En España se tiene una tasa de renovación de la infraestructura muy inferior al 1%, lo que implica que una renovación completa de la instalación se finalizaría en un periodo superior a 100 años. La tarifa es más barata, pero el servicio se vuelve menos sostenible ya que no contemplan la amortización de las infraestructuras.

Por ello, una buena práctica aplicable a las tarifas españolas, tomada de otros países europeos, es la de incluir en las tarifas tanto los costes operacionales como los de inversión, para poder hacer frente a los gastos asociados a la instalación y mantener la calidad del servicio.

## **CONCLUSIONES**

Como punto final en este proyecto, cabe revisar si se han abarcado todos los objetivos mencionados al comienzo del documento y resumir los puntos clave del proceso descrito para la recuperación de costes.

La metodología propuesta comienza por un análisis de la red de distribución. Para ello, se debe estudiar la red actual, estimando la edad y estado de sus elementos y, con ello, determinar su valor patrimonial. Este valor debe contrastarse con el valor patrimonial inicial de la red, es decir, el coste de la instalación si fuera a ser ejecutada a día de hoy, fundamentándose en la base de datos que contiene los valores de mercado actualizados para cada uno de los elementos, explicada en los anexos.

Una vez se conocen ambos valores, se realiza una comparativa entre el valor patrimonial actual y el inicial para hallar el IVI y determinar la edad de la red y la necesidad de renovación. Esto es aplicable tanto a la red en conjunto, como a cualquiera de los elementos que la componen por separado.

Por último, se ha introducido una propuesta de tarificación. Para definir una tarifa es necesario conocer los costes operacionales y de mantenimiento (OPEX), y la inversión realizada ese año en la red para la renovación de elementos (CAPEX). La suma de ambos conforma el capital total a recuperar mediante el sistema de tarificación.

La tarifa propuesta ha sido una tarifa binomia de bloques crecientes, con el objetivo de penalizar a aquellos abonados que realizan un mayor consumo, de acuerdo a lo establecido en la Directiva Marco del Agua.

En definitiva, el presente proyecto recoge un método para el estudio de la recuperación de todos los costes de la instalación y la promoción del debido mantenimiento de la red, para que sea capaz de ofrecer un servicio óptimo y sostenible, haciendo un uso eficiente de un recurso escaso como es el agua del que todos somos responsables.

## **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA**

CABRERA MARCET, E. y GARCÍA-SERRA GARCÍA, J. (1997). "5.3.2 Sistemas de Tarificación" en *Problemática de los abastecimientos urbanos. Necesidad de su modernización*, Unidad Docente Mecánica de Fluidos. Valencia: UD Mecánica de Fluidos (UPV).

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE ABASTECIMIENTOS DE AGUA Y SANEAMIENTO. *Guía de Tarifas de los Servicios de Abastecimiento y Saneamiento de Agua*.

<<http://www.asoaeas.com/sites/default/files/Documentos/2014-01-13%2009-25-05.888GUIA%20TARIFAS%20AEAS%20FEMP.pdf>> [Consulta: 20 de junio de 2018]

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE LA RIOJA. *Baremos Mínimos para el Visado de Trabajos Profesionales*.

<<http://www.coitir.org/Noticias/PDF/BAREMOS.MINIMOS.pdf>> [Consulta: 10 de mayo de 2018]

SCHNEIDER. *Centros de Transformación MT/BT*.

<<http://umh2223.edu.umh.es/wp-content/uploads/sites/188/2013/02/04-II-Master-Cuaderno-Tecnico-PT-004-Centros-de-Transformacion-MT-BT.pdf>> [Consulta: 10 de mayo de 2018]

MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO DEL GOBIERNO DE ESPAÑA. *Precio Neto de la Electricidad para Uso Doméstico y Uso Industrial*.

<[http://www.mincotur.gob.es/es-ES/IndicadoresyEstadisticas/DatosEstadisticos/IV.%20Energ%C3%ADa%20y%20emisiones/IV\\_1\\_2.pdf](http://www.mincotur.gob.es/es-ES/IndicadoresyEstadisticas/DatosEstadisticos/IV.%20Energ%C3%ADa%20y%20emisiones/IV_1_2.pdf)> [Consulta: 20 de junio de 2018]

AGUAS DEL TORCAL, S.A (AGUA). *Convenio Colectivo del Personal de Abastecimiento de Agua, Saneamiento y Depuración de la Empresa Municipal de Abastecimiento de Aguas de Antequera, "Aguas del Torcal, S.A"*

<[http://convenios.ugtandalucia.es/gestion/vigencia\\_pdf.php?IdVigencia=851](http://convenios.ugtandalucia.es/gestion/vigencia_pdf.php?IdVigencia=851)> [Consulta: 20 de junio de 2018]

AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA. *Aprovació de tarifes del Consorci de la Costa Brava*.

<[http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=P54000140131436518547965](http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P54000140131436518547965)> [Consulta: 20 de junio de 2018]

INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL AGUA (ITA). *Curso de Aguas: Gestión de la Demanda de Agua Urbana*. Universidad Politécnica de Valencia.

<<http://www.cursosagua.net/gestion/curso-online-gestion-demanda-servicios-agua-es.php>> [Consulta: 23 de mayo de 2018]

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1: MANUAL DE USUARIO. BASE DE DATOS DE LOS ELEMENTOS BÁSICOS DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA**

En este anexo, se explicarán los pasos a seguir para hacer uso de la base de datos que contiene los precios de mercado para los elementos de la red de distribución de agua.

El objetivo de dicha base es que el usuario introduzca los datos de la red de estudio y obtenga el valor patrimonial inicial de la instalación, para poder valorar, a través del IVI, el estado actual de su red y la necesidad de inversión.

### **1. PÁGINA PRINCIPAL**

Al acceder a la base de datos, la primera hoja Excel que aparece tiene por objetivo recoger la información básica de la localización de la red que va a ser estudiada.

Datos generales

Ciudad	<input type="text"/>
Provincia	<input type="text"/>
Periodo de análisis	<input type="text" value="2018"/>
Observaciones	<input type="text"/>

[Siguinte](#)

**Ilustración 9 – Página principal**

El usuario debe rellenar las celdas vacías correspondientes a la “Ciudad”, “Provincia”, “Periodo de análisis” y “Observaciones”, en caso de ser necesarias.

Para hacer más sencillo e intuitivo el manejo de la base de datos, se han habilitado celdas de color amarillo que permiten pasar de una hoja a otra haciendo click en ellas. En este caso, haciendo click en “Siguinte”, accederemos al Índice de la base de datos.

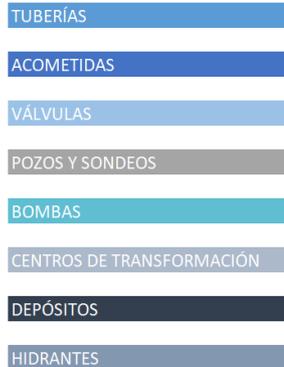
## 2. ÍNDICE

### Inserción de datos de los elementos básicos

Pasos a seguir:

- 1) Seleccionar cada uno de los elementos para acceder a las base de datos correspondiente
- 2) Insertar los datos. Para facilitar la búsqueda del elemento, utilizar las pestañas de los encabezados de las tablas.

Nota: Las referencias de cada una de las bases de datos corresponden a la base de datos original con el detalle del cálculo de los precios si es el caso.



Volver al principio

Resumen

### Ilustración 10 – Índice

Para poder acceder a cada una de las bases de datos disponibles, se ha habilitado un índice en el que se dan unas directrices generales para la utilización de las mismas.

Si se selecciona cualquiera de las celdas de los elementos disponibles, por ejemplo, “Tuberías”, se accede automáticamente a la base de datos de precios de ese elemento.

También es posible volver al principio (celda amarilla en la imagen) o ir a la última página de la base de datos llamada “Resumen” (color naranja). El “Resumen” recoge los precios totales acumulados en cada una de las bases de datos, y calcula el valor total de inversión en la instalación.

## 3. BASES DE DATOS

**Como se ha explicado en el capítulo anterior, a través del índice es posible visualizar cada base de datos. A continuación, se mostrarán una a una. Sin embargo, cabe mencionar una serie de características comunes a todas ellas:**

- Celdas de acceso a otras bases de datos o hojas del documento:
  - Siguiete: Acceso a la siguiente base de datos indicada.
  - Índice: Para seleccionar otro elemento y acceder a su base de datos.
  - Resumen: Muestra el capital acumulado hasta el momento en todas las bases de datos.

REFERENCIAS BD Centros de Transformación.

Siguiete: Depósitos

Índice

Resumen

## Desarrollo de una Metodología para la Valoración de los Costes Anuales asociados a una Red de Agua Urbana

- Celda “TOTAL”: Indica la cantidad de capital invertido acumulado para ese elemento.

**TOTAL** - €

Celda “Definido por el usuario”: Las bases de datos tienen esta celda con la finalidad de poder incluir valores de mercado por parte del usuario. De tal forma que, si ha recibido un presupuesto para determinado elemento o no encuentra el equivalente a lo que quiere introducir en la red, pueda ser insertado y tenido en cuenta con facilidad.

Celdas de acceso a otros documentos: “Referencias”. Seleccionando la referencia indicada, se accede automáticamente a una base de datos del elemento con descripciones, cálculos o más información en caso de ser necesaria. Como indican las imágenes.

JUSTIFICACIÓN PRECIO ZANJA:			
a1	0,5 m		Desbroce 0,58 €/m2
a2	0,2 m		Restitución 1,23 €/m2
a3	0,3 m		Exca tierra 3,22 €/m3
a5	0,3 m		Exca roca 17,48 €/m3
h	2 m		Relleno propio 4,15 €/m3
a4	1,4 m		Relleno selecc 4,15 €/m3
2alfa	90	1,5708 rad	Relleno arena 15,5 €/m3
n roca	4	4	

D(mm)	H	b	q1 roca	c roca	Sup/ml roca	V excavado/ml roca	V tubo	V propio roca	Ancho cama en roca	Alto cama en roca	Sector	Triángulo
60	2,26	1,06	1,34	2,04	2,04	3,04	0,00	2,37	1,16	0,21	0,00	0,0
80	2,28	1,08	1,37	2,07	2,07	3,12	0,01	2,41	1,19	0,21	0,00	0,0
100	2,30	1,10	1,40	2,10	2,10	3,20	0,01	2,45	1,21	0,21	0,00	0,0
125	2,33	1,13	1,44	2,14	2,14	3,30	0,01	2,50	1,23	0,22	0,00	0,0
150	2,35	1,15	1,48	2,18	2,18	3,41	0,02	2,56	1,26	0,22	0,00	0,0

### Tuberías

La base de datos de tuberías es la más extensa de todas las recogidas en el archivo. Por ello, para operar con mayor facilidad, se recomienda hacer uso de las pestañas de los encabezados de la tabla para seleccionar el tipo de tubería deseado.

DN (mm)	MATERIAL	c tubería/ml tube	Tipo de zanja	€ zanja/ml tube	ml tubería	TOTAL
40	TUBERÍA P.E. (A.D.) PE 10 A	1,07	Rectangular roca	51,86	0,00	- €
40	TUBERÍA P.E. (A.D.) PE 50A PN 10	1,12	Rectangular roca	51,86	0,00	- €
40	TUBERÍA P.E. (A.D.) PE 100A PN 10	0,79	Rectangular roca	51,86	0,00	- €
40	TUBERÍA P.E. (A.D.) PE 100A PN 10	1,67	Rectangular roca	51,86	0,00	- €
40	TUBERÍA P.E. (A.D.) PE 10 A	1,67	Rectangular otros	52,26	0,00	- €
40	TUBERÍA P.E. (A.D.) PE 50A PN 10	1,12	Rectangular otros	52,26	0,00	- €
40	TUBERÍA P.E. (A.D.) PE 100A PN 10	0,79	Rectangular otros	52,26	0,00	- €
40	TUBERÍA P.E. (A.D.) PE 100A PN 10	1,67	Rectangular otros	52,26	0,00	- €
50	TUBERÍA P.E. (A.D.) PE 10 A	2,59	Rectangular roca	53,92	0,00	- €
50	TUBERÍA P.E. (A.D.) PE 50A PN 10	1,73	Rectangular roca	53,92	0,00	- €
50	TUBERÍA P.E. (A.D.) PE 100A PN 10	2,59	Rectangular roca	53,92	0,00	- €
50	TUBERÍA P.E. (A.D.) PE 10 A	2,59	Rectangular otros	54,32	0,00	- €
50	TUBERÍA P.E. (A.D.) PE 50A PN 10	1,73	Rectangular otros	54,32	0,00	- €
50	TUBERÍA P.E. (A.D.) PE 100A PN 10	2,59	Rectangular otros	54,32	0,00	- €
60	TUBERÍA F.D. JUNTA STANDARD	15,17	Rectangular roca	56,09	0,00	- €
60	TUBERÍA F.D. JUNTA EXPRES	17,83	Rectangular roca	56,09	0,00	- €
60	TUBERÍA DE HIERRO FUNDIDO PAM	12,39	Rectangular roca	56,09	0,00	- €
60	TUBERÍA F.D. JUNTA STANDARD	15,17	Rectangular otros	56,50	0,00	- €

OTAL - € ML TUBERÍA 0,00 m

REFERENCIAS Matriz de tuberías

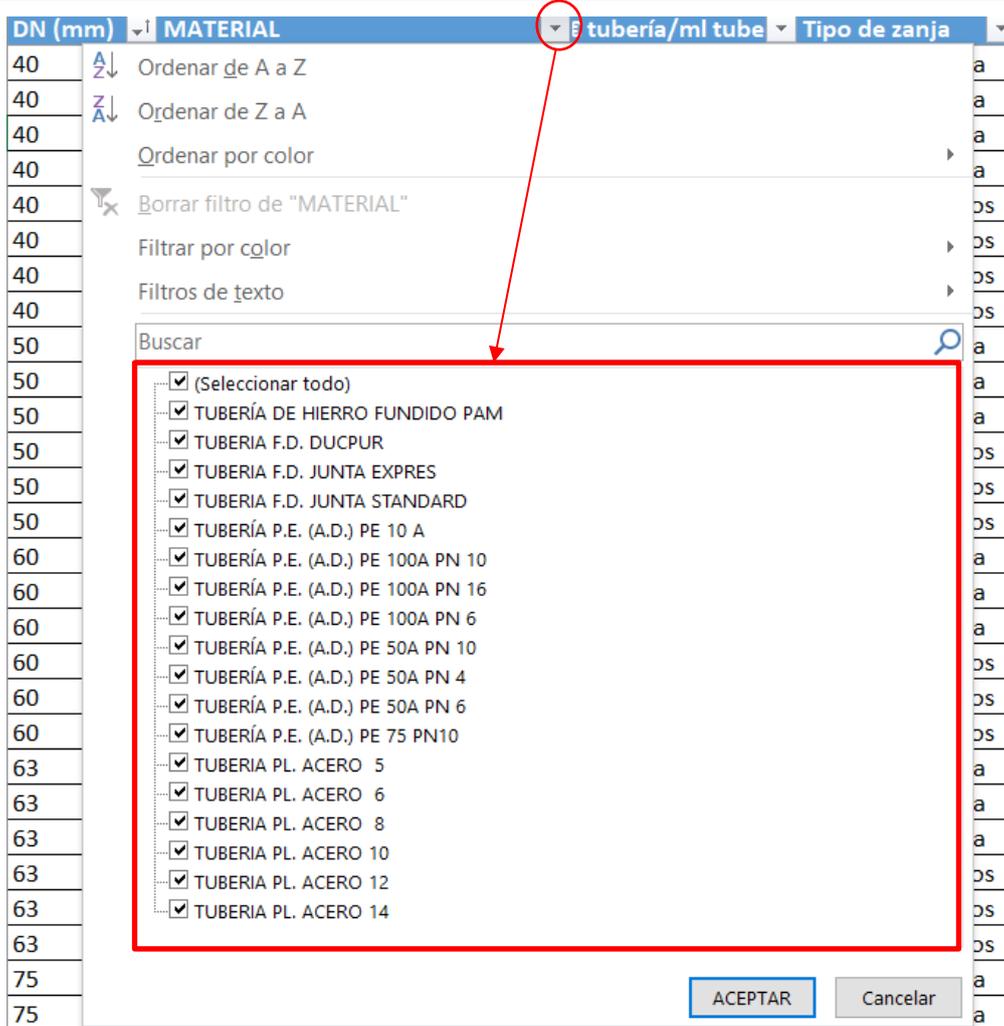
Siguiente: Acometidas

Índice

Resumen

Ilustración 11 – Base de datos de tuberías

## Desarrollo de una Metodología para la Valoración de los Costes Anuales asociados a una Red de Agua Urbana



**Ilustración 12 – Selección del tipo de tubería**

Del mismo modo, se selecciona también el diámetro y tipo de zanja.

Una vez seleccionada la tubería deseada, el usuario introduce los metros lineales correspondientes a esa tubería, y continúa con la selección del resto de tipos de tuberías que haya en la instalación, repitiendo el procedimiento.

DN (mm)	MATERIAL	€ tubería/ml tube	Tipo de zanja	€ zanja/ml tube	ml tubería	TOTAL
100	TUBERIA F.D. JUNTA STANDARD	22,80	Rectangular roca	65,76	1.000,00	88.558,99 €

**Ilustración 13 – Ejemplo**

A partir de este momento, la forma de proceder es exactamente la misma con todas las bases de datos.

# Desarrollo de una Metodología para la Valoración de los Costes Anuales asociados a una Red de Agua Urbana

## Acometidas

**Tabla 22 – Base de datos de Acometidas**

Calibre (hasta) mm	Longitud (m)	Ud	€/ud	€	TOTAL	
40	2	0	181,31 €	- €	- €	
60	2	0	497,57 €	- €	REFERENCIAS BD original con descripciones	
40	8	0	190,27 €	- €	Siguiente: Válvulas	
60	8	0	510,10 €	- €	Índice	
DEFINIDA POR EL USUARIO					- €	Resumen

## Válvulas

**Tabla 23 – Base de datos de Válvulas**

Tipo	Presión nominal	Diámetro (pulgadas)	Diámetro (mm)	Precio unitario	Cantidad	Precio final	TOTAL
Mariposa	16	2	50,8	72,11	0	- €	- €
Mariposa	16	2,5	63,5	78,03	0	- €	REFERENCIAS BD original con descripciones
Mariposa	16	3	76,2	89,44	0	- €	Siguiente: Pozos y sondeos
Mariposa	16	4	101,6	96,47	0	- €	Índice
Mariposa	16	5	127	114,64	0	- €	Resumen
Mariposa	16	6	152,4	142,23	0	- €	
Mariposa	16	8	203,2	183,63	0	- €	
Mariposa	16	10	254	356,31	0	- €	
Mariposa	16	12	304,8	468,25	0	- €	
Seccionamie	10	2,5	63,5	259,78	0	- €	
Seccionamie	10	3	76,2	367,74	0	- €	
Seccionamie	10	4	101,6	399,59	0	- €	
Seccionamie	10	6	152,4	641,90	0	- €	
Seccionamie	10	8	203,2	988,36	0	- €	
Seccionamie	10	10	254	1420,21	0	- €	
Seccionamie	10	12	304,8	2746,61	0	- €	
Seccionamie	16	2	50,8	205,95	0	- €	
Seccionamie	16	2,5	63,5	246,72	0	- €	
Seccionamie	16	3	76,2	372,65	0	- €	

## Pozos

**Tabla 24 – Base de datos de Pozos**

Tipo	Unidad	Diámetro (mm)	Precio ejecución material	UD/ML	Precio final	TOTAL
Perforación	ML	500	318,25	0	- €	- €
Perforación	ML	400	225,82	0	- €	REFERENCIAS BD de pozos y sondeos. Descripciones.
Perforación	ML	381	226,6	0	- €	Siguiente: Bombas
Sondeo	UD	318	33381,47	0	- €	Índice
DEFINIDA POR EL USUARIO					- €	Resumen

## Bombas

**Tabla 25 – Base de datos de Bombas**

H (m)	Q (l/s)	Q (m3/h)	N (rpm)	Bomba	Precio unitario	Ud	Total	TOTAL
10	5	18	1500 rpm	MEN 65- 40-200L	1.682,00 €	0	- €	- €
20	5	18	750 rpm	ME 300-450	12.675,00 €	0	- €	REFERENCIAS BD Bombas
30	5	18	1500 rpm	ME 200-400	14.969,00 €	0	- €	Siguiente: CT
40	5	18	3000 rpm	MEN 50- 32-200	2.000,00 €	0	- €	Índice
50	5	18	3000 rpm	MEN 65- 40-250	2.074,00 €	0	- €	Resumen
60	5	18	3000 rpm	MEN 65- 40-250	2.074,00 €	0	- €	
70	5	18	3000 rpm	MEN 65- 40-250	2.074,00 €	0	- €	
80	5	18	3000 rpm	MEN 65- 40-250	2.074,00 €	0	- €	
10	15	54	1500 rpm	MEN 65- 40-200L	1.682,00 €	0	- €	
20	15	54	750 rpm	ME 300-450	12.675,00 €	0	- €	

## Centros de Transformación

Tabla 26 – Base de datos de Centros de Transformación

kVA	€/ud	Selección	TOTAL	TOTAL	- €
25	5.532,97 €	0,00	- €		
50	6.263,74 €	0,00	- €		
100	7.203,30 €	0,00	- €		
160	9.500,01 €	0,00	- €		
200	11.170,35 €	0,00	- €		
250	11.483,53 €	0,00	- €		
315	12.631,89 €	0,00	- €		
400	13.780,25 €	0,00	- €		
500	13.780,25 €	0,00	- €		
630	17.225,31 €	0,00	- €		
800	19.313,22 €	0,00	- €		
1000	21.923,11 €	0,00	- €		
1250	22.986,71 €	0,00	- €		
1600	24.451,34 €	0,00	- €		
2000	26.098,95 €	0,00	- €		
DEFINIDO POR EL USUARIO	- €		- €		

REFERENCIAS BD Centros de Transformación.

Siguiente: Depósitos

Índice

Resumen

## Depósitos

Tabla 27 – Base de datos de Depósitos

Tipo	Volumen (m3)	Precio (€)	Selección	Total	TOTAL	- €
Elevado	hasta 100	19478,22	0	0,00		
	100 - 300	58434,65	0	0,00		
	300 - 600	72454,3	0	0,00		
Enterrado	500 - 1000	120754,05	0	0,00		
	1000 - 3000	347308,95	0	0,00		
	> 3000	420132,84	0	0,00		

REFERENCIAS BD Depósitos

Siguiente: Hidrantes

Índice

Resumen

## Hidrantes

Tabla 28 – Base de datos de Hidrantes

Tipo	Diámetro (pulgadas)	Diámetro de la boca (mm)	Precio unitario	Cantidad	Precio	TOTAL	- €
Columna húmeda	3	76,2	1.134,35	0	0		
Columna húmeda	4	101,6	1.269,53	0	0		
Columna húmeda	6	152,4	1.418,71	0	0		
Columna seca	3	76,2	849,2	0	0		
Columna seca	4	101,6	932,82	0	0		
Columna seca	6	152,4	1.041,57	0	0		
Bajo nivel de tierra	3	76,2	315,03	0	0		
Bajo nivel de tierra	4	101,6	363,39	0	0		
Bajo nivel de tierra	3	76,2	377,78	0	0		
Bajo nivel de tierra	4	101,6	430,48	0	0		
Bajo nivel de tierra	5	127	409,73	0	0		
DEFINIDA POR EL USUARIO			0	0	0		

Referencias BD con descripciones de acometidas

Índice

Siguiente: Resumen



Columna seca



Columna húmeda



Bajo nivel de tierra

## Contadores

Tabla 29 – Base de datos de Contadores

Precio unitario	Cantidad	Precio total	
25,00 €	0	- €	TOTAL - €
50,00 €	0	- €	
Definida por el usuario			

### 4. TABLA RESUMEN DE PRECIOS

La última hoja de la base de datos conjunta corresponde a un resumen en el que se recoge el capital acumulado para cada uno de los elementos.

El resultado final total (celda naranja en la imagen) corresponde con el valor patrimonial inicial de la instalación de distribución de agua, que servirá posteriormente para calcular el IVI de la instalación y valorar el estado actual de la red.

Tabla resumen de precios

TUBERÍAS	- €
ACOMETIDAS	- €
VÁLVULAS	- €
POZOS Y SONDEOS	- €
BOMBAS	- €
CENTROS DE TRANSFORMACIÓN	- €
DEPÓSITOS	- €
HIDRANTES	- €
CONTADORES	- €
<b>TOTAL</b>	<b>- €</b>

Volver al principio

### Ilustración 14 - Resumen

## ANEXO 2: CÁLCULO DEL PRECIO DE UNA ZANJA

Cuando se procede con la instalación de una tubería, es necesario la ejecución de la zanja para habilitar su colocación. Es decir, realmente, la zanja constituiría un elemento adicional a la base de datos planteada en este proyecto para la valoración de activos. Sin embargo, teniendo en cuenta su relación directa con los metros lineales de tubería instalados, se ha decidido simplificar y presentar el precio de la tubería de forma conjunta con el de la zanja.

En este Anexo, se define el cálculo del coste asociado a una zanja de forma secuencial. Este cálculo queda plasmado también en la base de datos de tuberías realizada mediante Excel.

### 1. CONSIDERACIONES PREVIAS

Hay que tener en cuenta que el tipo de tubería que se desee instalar determina el tipo de zanja a ejecutar, es decir, con el objetivo de garantizar una mejor accesibilidad y operación durante la obra, una tubería de menos de 600 mm de diámetro corresponderá con una zanja rectangular, mientras que una tubería de un diámetro mayor de 600 mm estará alojada en una zanja trapezoidal.

Es por ello que, pese a que los cálculos son comunes para ambos tipos de zanjas, hay que tener presente que el cálculo de la zanja rectangular se puede simplificar estableciendo que el ancho en el fondo y en la superficie es el mismo.

### 2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

#### 2.1. Dimensiones

En primer lugar, es necesario conocer las dimensiones de la zanja a ejecutar:

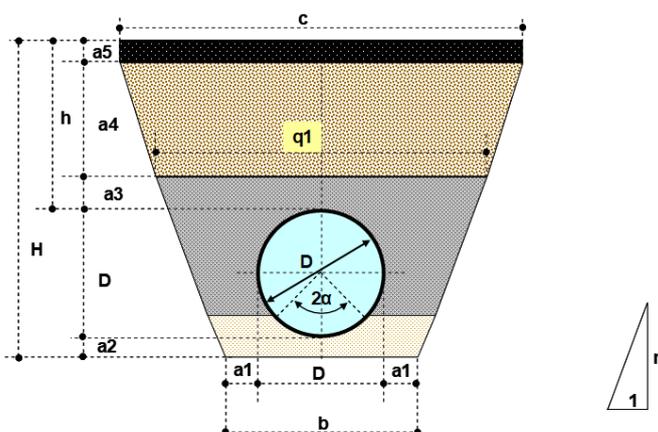


Ilustración 15 – Dimensiones de una zanja

Datos de entrada

- D: Diámetro de la tubería.
- a1: Distancia medida desde la tubería hasta el ancho de la profundidad máxima de la misma. El ancho b es la suma del diámetro D de la tubería, y de dos veces a1.
- a2: Altura medida desde el fondo de la zanja hasta la parte inferior de la tubería.
- a3: Altura medida desde la parte alta de la tubería hasta las zahorras compactadas.
- a4: Profundidad de la capa de zahorras.
- a5: Grosor de la baldosa.
- n: Unidades que se avanzan en vertical por cada unidad avanzada en horizontal. Permite determinar la pendiente de los laterales de la zanja.

Dimensiones básicas Calculadas a partir de los datos de entrada

- H: Profundidad de la zanja. Calculado a partir de los datos de entrada.
- c: Ancho de la zanja al nivel de la superficie. Calculado a partir de los datos de entrada.
- q1: Ancho de la zanja a la profundidad de la cinta señalizadora, indica la capa en la que acaban las zahorras compactadas y comienza la capa de arena. Calculado a partir de los datos de entrada
- b: Ancho de la zanja al nivel de profundidad máxima (H).
- h: Profundidad medida desde la superficie hasta la parte alta de la tubería. Suma de las dimensiones a3, a4 y a5.

**2.2. Cálculo de las dimensiones de una zanja trapezoidal**

En primer lugar, a partir de los datos de entrada mencionados, calculamos la profundidad total de la zanja y los anchos a diferentes niveles:

$$H = a_2 + D + H \quad (1)$$

$$b = 2 \cdot a_1 + D \quad (2)$$

$$q_1 = \frac{2 \cdot (a_3 + a_2 + D)}{n} \quad (3)$$

$$c = q_1 + \frac{2 \cdot a_4}{n} \quad (4)$$

$$\frac{\text{Superficie}}{\text{m roca}} = c \quad (5)$$

El volumen total excavado será, por cada metro de roca:

$$\frac{\text{Volumen excavado}}{\text{m roca}} = \frac{(H - a_5)(b + c)}{2} \quad (6)$$

El espacio total ocupado por la tubería es:

$$\frac{\text{Volumen tubería}}{\text{m roca}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (7)$$

El volumen del primer tramo de zahorras compactadas es:

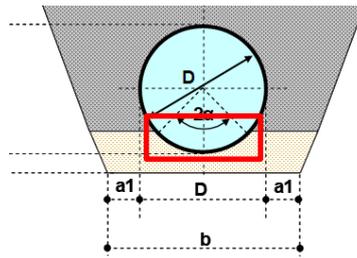
$$\frac{\text{Volumen propio zahorras}}{\text{m roca}} = \frac{(q_1 + c) \cdot a_4}{2} \quad (8)$$

Las dimensiones de la cama de la zanja son:

$$\frac{\text{Ancho cama en roca}}{\text{m roca}} = b + \frac{2 \cdot (a_2 + D \cdot (1 - \cos \alpha))}{n} \quad (9)$$

$$\frac{\text{Alto cama en roca}}{\text{m roca}} = a_2 + \frac{D \cdot (1 - \cos \alpha)}{2} \quad (10)$$

A continuación, calculamos el espacio que ocupa parte de la tubería en la cama de la zanja, para poder tenerlo en cuenta en los siguientes cálculos, lo llamaremos "Sector triángulo".



**Ilustración 16 – Sector triángulo**

$$Sector = \alpha \cdot \frac{D^2}{4} \quad (11)$$

$$Triángulo = r^2 \cdot \cos \alpha \sin \alpha \quad (12)$$

$$Sector \text{ triángulo} = Sector - Triángulo \quad (13)$$

Una vez calculada esta dimensión, es posible calcular el volumen del material de relleno seleccionado para la zanja:

$$\frac{Volumen \text{ selecc.}}{m \text{ roca}} = \frac{(q_1 + ancho \text{ cama roca})}{2} \cdot (a_3 + a_2 + D - \text{alto cama roca}) - V_{tubería} + Sector \text{ triángulo} \quad (14)$$

Finalmente, calculamos el volumen de arena dispuesto en el fondo de la zanja:

$$\frac{Volumen \text{ arena}}{m \text{ roca}} = \frac{(ancho \text{ cama roca} + b)}{2} \cdot \text{alto cama roca} - Sector \text{ triang.} \quad (15)$$

### 2.3. Cálculo de las dimensiones de una zanja rectangular

Si la zanja a ejecutar tiene sección rectangular, el procedimiento es el mismo, teniendo en cuenta esta vez que el ancho es constante a lo largo de toda la sección.

En primer lugar, a partir de los datos de entrada mencionados, calculamos la profundidad total de la zanja y los anchos a diferentes niveles.

$$H = a_2 + D + H \quad (16)$$

$$b = 2 \cdot a_1 + D \quad (17)$$

$$q_1 = b \quad (18)$$

$$c = b \quad (19)$$

$$\frac{\text{Superficie}}{\text{m roca}} = c \quad (20)$$

El volumen total excavado será, por cada metro de roca:

$$\frac{\text{Volumen excavado}}{\text{m roca}} = (H - a_5) \cdot b \quad (21)$$

El espacio total ocupado por la tubería es:

$$\frac{\text{Volumen tubería}}{\text{m roca}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (22)$$

El volumen del primer tramo de zahorras compactadas es:

$$\frac{\text{Volumen propio zahorras}}{\text{m roca}} = \frac{(q_1 + c) \cdot a_4}{2} \quad (23)$$

Las dimensiones de la cama de la zanja son:

$$\frac{\text{Ancho cama en roca}}{\text{m roca}} = b \quad (24)$$

$$\frac{\text{Alto cama en roca}}{m \text{ roca}} = a_2 + \frac{D \cdot (1 - \cos \alpha)}{2} \quad (25)$$

Del mismo modo que para la zanja trapezoidal, se calcula el “Sector triángulo”. En este caso, coincide para ambos tipos de zanja.

$$\text{Sector} = \alpha \cdot \frac{D^2}{4} \quad (26)$$

$$\text{Triángulo} = r^2 \cdot \cos \alpha \sin \alpha \quad (27)$$

$$\text{Sector triángulo} = \text{Sector} - \text{Triángulo} \quad (28)$$

Una vez calculada esta dimensión, es posible calcular el volumen del material de relleno seleccionado para la zanja:

$$\frac{\text{Volumen selecc.}}{m \text{ roca}} = b \cdot (a_3 + a_2 + D - \text{alto cama roca}) - V_{\text{tubería}} - \text{Sector triángulo} \quad (29)$$

Finalmente, calculamos el volumen de arena dispuesto en el fondo de la zanja:

$$\frac{\text{Volumen arena}}{m \text{ roca}} = \text{ancho cama roca} \cdot \text{alto cama roca} - \text{Sector triang.} \quad (30)$$

#### 2.4. Cuadro de precios y coste final de la zanja

Unidad de obra	Unidad de medida	Precio (€)
Desbroce del terreno	m <sup>2</sup>	0,58
Restitución del terreno	m <sup>2</sup>	1,23
Excavación en tierra	m <sup>3</sup>	3,22
Excavación en roca	m <sup>3</sup>	17,48
Relleno propio	m <sup>3</sup>	4,15
Relleno de selección	m <sup>3</sup>	4,15
Relleno de arena	m <sup>3</sup>	15,5

De acuerdo a los cálculos de las dimensiones previamente mostrados, el precio total de la ejecución de la zanja será:

$$\frac{\text{Coste}}{m \text{ roca}} = \text{Sup} \cdot (\text{desbroce} + \text{restitución}) + \forall_{\text{excavado en roca}} \cdot \text{Excavación} + \forall_{\text{propio}} \cdot \text{Relleno}_{\text{propio}} + \forall_{\text{selección}} \cdot \text{Relleno}_{\text{selecc}} + \forall_{\text{arena}} \cdot \text{Relleno}_{\text{arena}} \quad (31)$$

# **PRESUPUESTO**

**ÍNDICE DEL PRESUPUESTO**

PRESUPUESTO .....	66
1. Presupuesto de recursos humanos.....	66
2. Presupuesto de material de trabajo.....	67
3. Presupuesto final.....	67

## PRESUPUESTO

El siguiente documento tiene como objetivo presupuestar los costes del estudio realizado para desarrollar la metodología propuesta.

Se ha estructurado en dos secciones principales: los costes asociados a recursos humanos y aquellos relacionados con el material de trabajo, es decir, los equipos y software utilizados durante el desarrollo del trabajo.

Nota: Todos los precios descritos llevan el IVA incluido.

### 1. PRESUPUESTO DE RECURSOS HUMANOS

Recurso	Tarea	Ud (h)	Coste unitario (€/h)	Coste total (€)
Ingeniera Industrial Junior	Búsqueda de información	60	25,00 €	1.500,00 €
	Análisis de la información	60	25,00 €	1.500,00 €
	Elaboración de las bases de datos	100	25,00 €	2.500,00 €
	Redacción del trabajo	60	25,00 €	1.500,00 €
	Reuniones	20	25,00 €	500,00 €
	<b>Subtotal</b>			7.500,00 €
Ingeniera Industrial (Cotutora)	Supervisión de bases de datos	2	35,00 €	70,00 €
	<b>Subtotal</b>			70,00 €
Ingeniero Industrial (Tutor)	Orientación del alumno	60	45,00 €	2.700,00 €
	Supervisión y corrección del trabajo	10	45,00 €	450,00 €
	Reuniones	20	45,00 €	900,00 €
	<b>Subtotal</b>			4.050,00 €
	<b>TOTAL</b>			11.620,00 €

## 2. PRESUPUESTO DE MATERIAL DE TRABAJO

Concepto	Ud	Cantidad	Coste unitario (€/ud)	Coste total (€)
Microsoft Office 2010	h	1	69,00 €	69,00 €
Impresora	Páginas	65	0,02 €	1,30 €
Encuadernación	ud	1	3,00 €	3,00 €
Curso de aguas	ud	1	295,00 €	295,00 €
			<b>TOTAL</b>	<b>368,30 €</b>

## 3. PRESUPUESTO FINAL

Concepto	Coste total (€)
Presupuesto RRHH	11.620,00 €
Presupuesto Material	368,30 €
<b>TOTAL</b>	<b>11.988,30 €</b>

Asciende el presente presupuesto a la expresada cantidad de:

ONCE MIL NOVECIENTOS OCHENTA Y OCHO EUROS CON TREINTA CÉNTIMOS

