

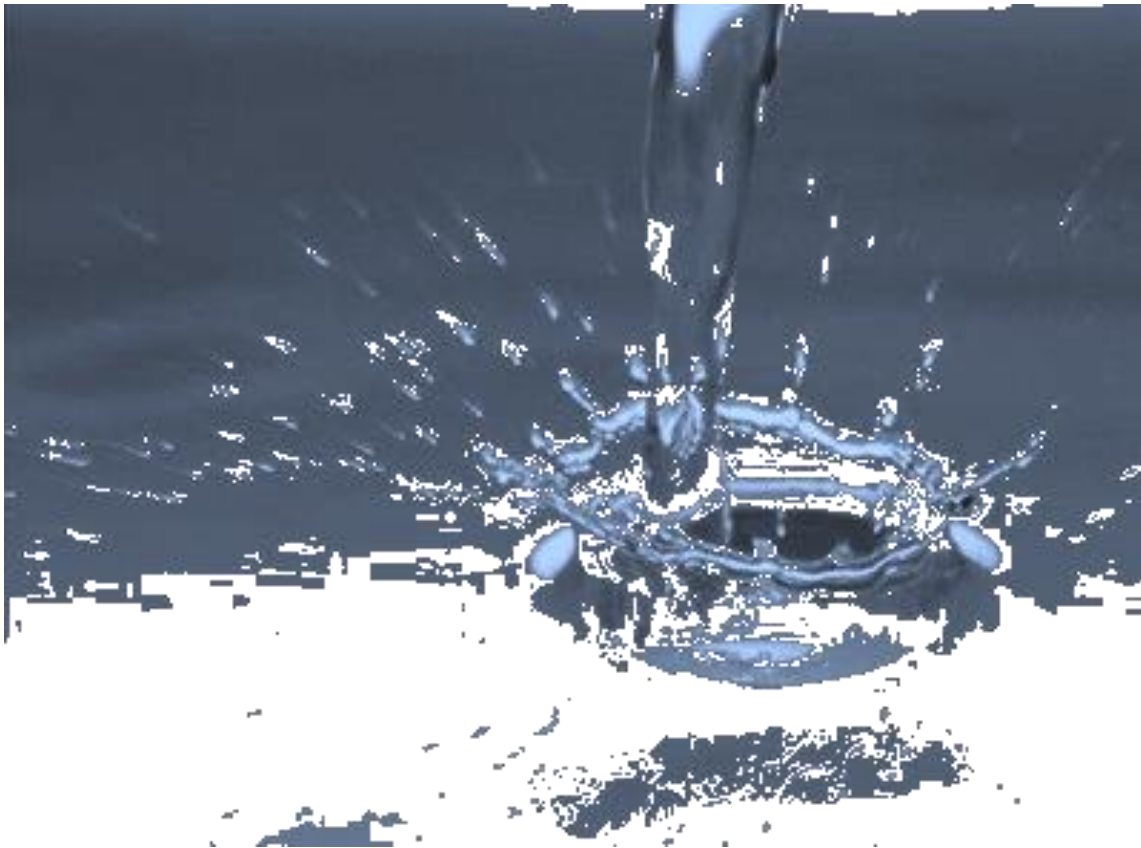


2010

Universidad Politécnica de Cataluña

Tesina de Máster
Arq. Gláucia Naves Pimentel

Tutor: Dr. Manuel Garcia



***[INTERPRETACIÓN NUMÉRICA DE LAS VARIABLES DE GESTIÓN
DEL CICLO HIDROLÓGICO URBANO]***

Con énfasis en el sector doméstico

Interpretación numérica de las variables de gestión del ciclo hidrológico urbano
Con énfasis en el sector doméstico

Tesina de Máster

Máster Oficial en Sostenibilidad
Especialidad en Edificación Sostenible

Arq. Gláucia Naves Pimentel

Tutor: Dr. Manuel Garcia

Director: Dr. Alberti Cuchí i Burgos



Universidad Politécnica de Cataluña



Agencia de Ecología Urbana de Barcelona

Barcelona, 23 de diciembre de 2010.

Agradecimientos

A mi madre por su eterna presencia en mi vida. A mi padre por la dedicación y apoyo incondicional, sobre todo durante el periodo de desarrollo de este trabajo.

A mis hermanos, Máglius y Marília, por la comprensión y cariño en todos los momentos.

A mi tutor Manuel Garcia, por su paciencia, dedicación y por haberme pasado todo el conocimiento a lo largo del desarrollo de este trabajo.

A los profesores y compañeros del máster por el cariño, dedición y entusiasmo con los cuales nos transmitieron sus conocimientos durante el curso.

A Salvador Rueda y Francisco Cárdenas por facilitarme el desarrollo del trabajo en la Agencia de Ecología Urbana en el periodo de las practicas. A Carlos Sánchez, por la dedicación y todo el conocimiento técnico que me ha aportado.

A mis amigos, por el intercambio de informaciones, en especial a algunos que fueron esenciales en la realización del trabajo, como Lilian, Greta, Mayra y Mariana; sin ellos la finalización de lo mismo no sería posible.

Índice

RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
RESUM.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Contexto y antecedentes.....	10
1.2. Objeto de trabajo.....	11
1.3. Motivación.....	11
1.4. Metodología.....	11
1.5. Objetivos.....	12
1.5.1. General.....	12
1.5.2. Secundarios.....	12
1.6. Aportaciones.....	12
1.6.1. Aportaciones conceptuales.....	12
1.6.2. Aportaciones de planeamiento.....	12
2. FUNDAMENTACIÓN TEORICA.....	13
2.1. El agua en el mundo.....	13
2.2. La problemática global del agua.....	14
2.3. Demanda de agua y consecuencias más comunes de su abuso.....	16
2.3.1. Panorama mundial.....	16
2.3.2. Demanda industrial.....	17
2.3.3. Demanda agrícola.....	18
2.3.4. Demanda urbana.....	20
2.4. El cambio climático y su impacto sobre el ciclo hidrológico.....	21
2.5. Resumen de la problemática.....	22
2.5.1. Factores relacionados con la demanda de agua.....	22
2.5.2. Factores relacionados con la disponibilidad de agua.....	22
2.6. Contribución a la solución de la problemática.....	23
3. DESCRIPCION E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.....	24
3.1. La ciudad como interface en el ciclo del agua.....	24
3.1.1. La ciudad como interface en los procesos naturales.....	24
3.1.2. La ciudad como interface entre dos calidades extremas de agua.....	25
3.1.3. Dimensión de la interface.....	25
3.2. Clasificación del agua en el ciclo hidrológico urbano.....	25
3.2.1. Agua potable.....	26
3.2.2. Aguas marginales.....	26

3.3.	Desagregación del ámbito urbano	27
3.3.1.	Desagregación sectorial	28
3.3.2.	Desagregación arquitectónica o por tipologías edificatorias.....	28
3.4.	Factores que influyen en la demanda urbana de agua	29
3.4.1.	Visión actual según algunos investigadores.....	29
3.4.2.	Demanda umbral de agua: definición y condicionantes.....	34
3.5.	Determinación de las tasas umbral de demanda urbana de agua	34
3.5.1.	Estimación de la demanda umbral bruta	39
3.5.2.	Aplicación de las tasas obtenidas a núcleos urbanos antiguos.....	39
3.6.	Potencial de las fuentes no convencionales	40
3.6.1.	Pluviales.....	40
3.6.2.	Nieblas	41
3.6.3.	Grises	41
3.6.4.	Negras	42
3.6.5.	Regeneración y reutilización de aguas no convencionales	42
3.6.6.	Aprovechamiento de las aguas regeneradas.....	43
4.	TECNOLOGIA ASOCIADA	47
4.1.	Ahorro de agua.....	47
4.1.1.	Ahorradores de agua	47
4.1.2.	Especificaciones de aparatos ahorradores	47
4.1.3.	Potencial de ahorro de agua	49
4.2.	Tratamiento de agua potable	51
4.2.1.	Sistemas tradicionales	51
4.2.2.	ETAP: Estación de Tratamiento de Agua Potable	54
4.2.3.	Sistemas no tradicionales	54
4.3.	Tratamiento de aguas residuales	54
4.3.1.	Sistemas tradicionales	55
4.3.2.	EDAR: Estación Depuradora de Aguas Residuales.....	58
4.3.3.	Sistemas no tradicionales	59
4.4.	Regeneración de aguas residuales y marginales.....	61
4.4.1.	Regeneración del efluente de una EDAR.....	61
4.4.2.	Regeneración de aguas grises.....	61
4.4.3.	Ámbitos de reutilización	62
4.4.4.	Equipos de reutilización de tipo residencial.....	63
5.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	65
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
6.1.	Conclusiones.....	68

6.2. Recomendaciones	68
BIBLIOGRAFIA.....	69
ANEXO I - INDICE DE ELEMENTOS.....	71
Diagramas.....	71
Esquemas	71
Ilustraciones.....	71
Tablas.....	72
ANEXO II - EXPRESIONES MATEMÁTICAS Y SIMBOLOGÍAS.....	73
ANEXO III - GLOSARIO	75
Evapotranspiración.....	75
Infiltración.....	75
Caudal ecológico.....	75
ANEXO IV – CÓDIGO TÉCNICO EN EDIFICACIONES (DB HS SALUBRIDAD) ..	76

RESUMEN

Se ofrecen los resultados de la investigación realizada con el propósito de clasificar y dimensionar las variables que intervienen en la gestión eficiente del ciclo hidrológico urbano, entendiéndose por este concepto, el ciclo que sigue el agua desde que entra en el sistema urbano hasta que es definitivamente desechada, pasando por la regeneración y reutilización de las aguas residuales y la captación de aguas pluviales.

En el proceso investigativo y de dimensionado de las variables se han utilizado procedimientos estadísticos sobre encuestas, simulaciones con datos reales de lluvia de diferentes zonas geográficas e información obtenida de otros estudios realizados en la Agencia de Ecología Urbana o por otras entidades, sobre todo en España.

El estudio e interpretación de los datos obtenidos permite asignar valores numéricos adecuados a las diferentes variables involucradas en los modelos de gestión sostenible del ciclo hidrológico urbano. Los resultados obtenidos para diferentes proyectos elaborados por la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona presentan un grado de aproximación significativo con aquellos que habían sido obtenidos por otros métodos.

Este trabajo posibilitará, además, el posterior desarrollo de modelos para una gestión eficiente del ciclo hidrológico urbano adaptados a diferentes tejidos urbanos y tipologías edificatorias, así como a distintas condiciones climatológicas, como una herramienta más en el diseño de estrategias de adaptación al cambio climático y a la creciente demanda de agua potable.

ABSTRACT

By this paper we offered the results of research addressed to classify and evaluate the variables involved in the efficient management of urban water cycle, which means in this context, the cycle followed by the water in the city until it has been definitively ruled out, after passing through the regeneration and reuse of wastewater and rainfall water.

In the research process and the dimensioning of the variables it were used statistical procedures for surveys, simulations with actual rainfall data from different geographical areas and information obtained from other studies in Urban Ecology Agency or other institutions, especially in Spain.

The study and interpretation of data obtained allows getting numerical values of the different variables involved in models of sustainable urban water cycle. The results obtained by this way for the various projects developed by the Urban Ecology Agency of Barcelona have an important degree of accuracy with regards to those had been obtained by other methods.

This work will allow also the further development of models for the efficient management of urban water cycle adapted to different urban fabrics and architectonic typologies, as well as to different weather conditions, as a tool in the design of adaptation strategies to climate change and to the growing demand for drinking water.

RESUM

S'ofereixen els resultats de l' investigació realitzada amb el propòsit de classificar i dimensionar les variables que intervenen en la gestió eficient del cicle hidrològic urbà, definint-se aquest concepte, el cicle que segueix l'aigua des de la seva entrada al sistema urbà fins que és definitivament tractada com a rebuig, passant per la regeneració i reutilització de les aigües residuals i la captació d'aigües pluvials.

En el procés i dimensionat de les variables s'han utilitzat processos estadístics sobre enquestes, simulacions amb dades reals de pluja de diferents zones geogràfiques i informació obtinguda d'altres estudis realitzats per l'Agència d'Ecologia Urbana o per altres entitats, sobretot a Espanya.

L'estudi i interpretació de les dades obtingudes permet assignar valors numèrics adequats a les diferents variables involucrades als models de gestió sostenible del cicle hidrològic urbà. Els resultats obtinguts per a diferents projectes elaborats per l'Agència d'Ecologia Urbana de Barcelona presenten un grau d'aproximació significatiu amb aquells que havien sigut obtinguts per altres mètodes.

Aquest treball possibilitarà, a més a més, el posterior desenvolupament de models per a una gestió eficient del cicle hidrològic urbà adaptats a diferents teixits urbans i tipologies edificatòries, així com a diferents condicions climatològiques, com una eina més al disseny d'estratègies d'adaptació al canvi climàtic i a la creixent demanda d'aigua potable.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto y antecedentes

España casi ha agotado las posibilidades de aprovechamiento sostenible de su potencial hídrico, lo que permite vislumbrar que la disponibilidad de agua dulce, en los tiempos venideros, está seriamente amenazada de donde se desprende que los efectos a mediano y largo plazo del cambio climático global, la elevada demanda de agua que supone el regadío en la producción de alimentos, el creciente consumo urbano a causa del mejoramiento de las condiciones de vida y el desarrollo del turismo en algunas zonas, son factores que representan un importante reto para el planeamiento y la práctica de la gestión del ciclo hidrológico en el futuro inmediato.

De otra parte, la formación de una conciencia universal de ahorro y la implantación de sistemas e infraestructuras más eficientes en la gestión de los recursos hídricos, requieren largos períodos de tiempo y cuantiosas inversiones, lo que hace indispensable disponer de herramientas, tanto conceptuales como de cálculo y diseño, que permitan asumir este reto oportuna y adecuadamente.

El propósito de esta investigación, en consecuencia, consiste en identificar y clasificar esos criterios y, al propio tiempo, desarrollar los instrumentos matemáticos que permitan configurarlos en el universo de situaciones reales en que sería necesaria su aplicación.

Esta investigación se centra, por tanto, en la obtención de herramientas matemáticas de valoración de las variables que intervienen en los modelos de gestión optimizada del ciclo hidrológico urbano, sobre la base de una identificación y clasificación previa de las mismas. Para desarrollarla se ha dividido la problemática atendiendo la naturaleza de las variables involucradas en sus distintos componentes principales, como sigue:

- Clasificación de las aguas de uso urbano por calidades y destinatarios;
- Clasificación de las aguas procedentes de fuentes no convencionales por sus calidades en origen y usos urbanos posibles. Establecimiento de los métodos de cálculo para la estimación de sus cuantías;
- Clasificación y evaluación de las tecnologías de regeneración de aguas de fuentes no convencionales;
- Determinación de las tasas de demanda atendiendo a criterios urbanísticos y de calidad del agua suministrada;
- Clasificación del ámbito urbano atendiendo a la edad del tejido y las tipologías edificatorias predominantes.

El desarrollo de toda la investigación se ha basado en datos de encuestas sobre el consumo de agua en diferentes espacios urbanos, simulaciones realizadas con series largas de datos diarios de lluvia, búsquedas bibliográficas y sistematización de la información obtenida por esta vía, proyectos realizados por la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona y el asesoramiento de personas cualificadas en el planeamiento urbanístico.

Los resultados se aplican a espacios urbanos nuevos o remodelaciones, donde es posible alcanzar elevados niveles de concienciación social y de eficiencia de las infraestructuras hidráulicas. Los resultados se ofrecen en forma de variables y metodologías de cálculo orientadas al dimensionamiento de las redes urbanas, la selección de tecnologías adecuadas de tratamiento de las aguas y al diseño de esquemas de gestión, viables y sostenibles.

Los criterios y métodos propuestos han sido aplicados a proyectos desarrollados por la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, obteniéndose resultados coincidentes dentro de un marco adecuado de significación.

1.2. Objeto de trabajo

Si representamos la demanda bruta de agua de un espacio urbano cualquiera por "Db" y el total de las aguas urbanas que pueden ser recuperadas e integradas al suministro por "Ar", la demanda de agua de fuentes externas "Se" podría representarse por:

$$Se = Db - Ar$$

Si definimos ahora el conjunto de variables involucradas en el cálculo de las magnitudes de "Db" y "Ar" como las variables del proceso de integración "I" de las aguas que se generan en el ámbito urbano, el **objeto de investigación** vendría dado por el conjunto $I = \{Db, Ar\}$

1.3. Motivación

La Agencia de Ecología Urbana de Barcelona acumula más de diez años de experiencia en el planeamiento urbanístico, donde uno de los objetivos ha sido y es el uso integrado de las aguas y el logro del más alto grado posible de autosatisfacción de la demanda, habiéndose generado un fondo de criterios e indicadores que requieren ser comparados, evaluados y finalmente sistematizados, de modo tal que puedan conocerse y utilizarse eficientemente y con seguridad. La necesidad y la conveniencia de desarrollar esta tarea ha sido la motivación principal de asumirla como trabajo de tesis.

1.4. Metodología

Consiste en la realización de un estudio transversal histórico - descriptivo de las variables involucradas en el objeto de investigación, utilizando como instrumentos: técnicas de procesamiento estadístico sobre encuestas; métodos matemáticos deductivos y búsquedas bibliográficas.

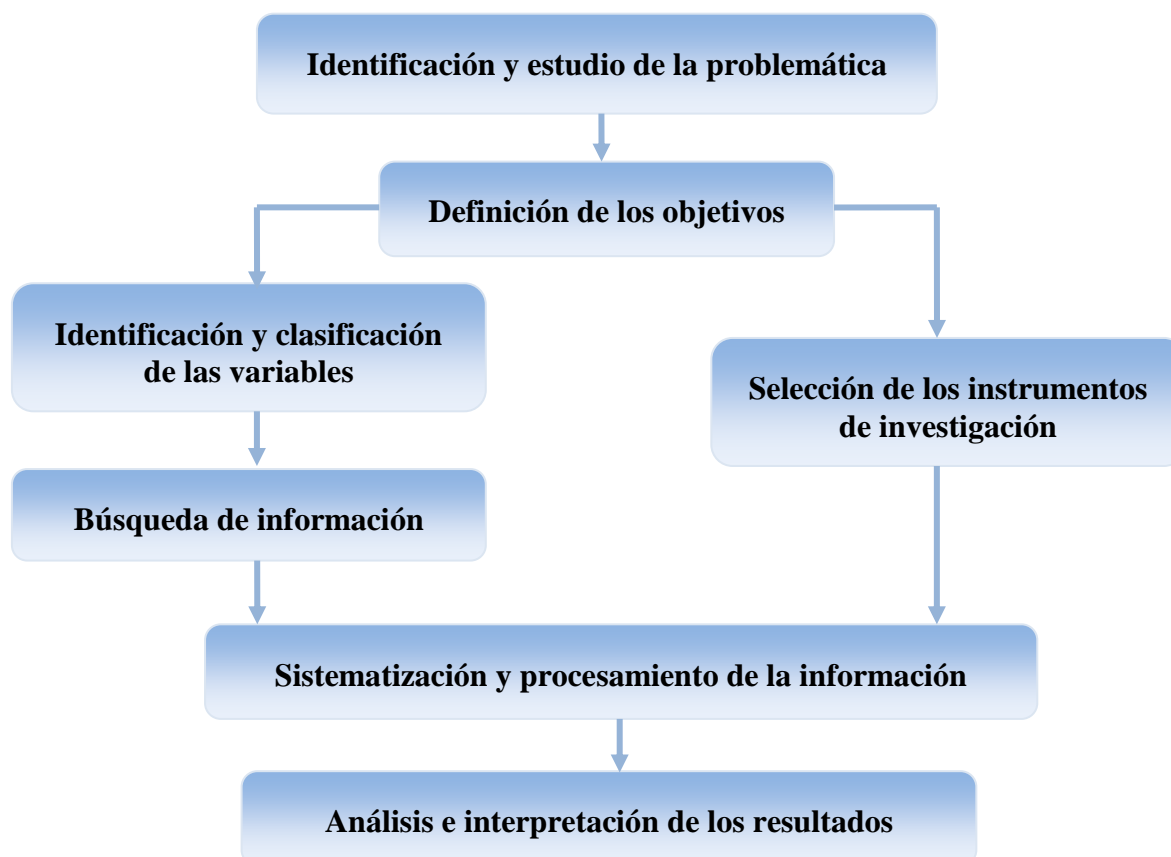


Diagrama 1 – Identificación de la problemática
Fuente: elaboración propia

1.5. Objetivos

1.5.1. General

Elaborar criterios y herramientas matemáticas que permitan sistematizar la evaluación de las diferentes variables que definen el objeto de investigación en proyectos urbanísticos, desarrollados sobre escenarios de elevada concienciación social que incorporen tecnología punta, respecto a diferentes tipologías arquitectónicas, patrones climáticos y edades del tejido urbano.

1.5.2. Secundarios

- Obtener, utilizando métodos estadísticos y deductivos, las tasas de consumo umbral de aguas de diferentes calidades para diferentes tipologías arquitectónicas y edades del tejido urbano;
- Deducir fórmulas matemáticas que permitan generalizar el cálculo de variables de aprovechamiento vinculadas a diferentes patrones climáticos;
- Elaborar bases de datos sobre las tecnologías existentes aplicables a la economía de agua y el aprovechamiento de aguas procedentes de fuentes no convencionales.

1.6. Aportaciones

Las aportaciones de este trabajo son de dos tipos, a saber: conceptuales y de planeamiento.

1.6.1. Aportaciones conceptuales

Entre las aportaciones conceptuales destacan las siguientes:

- Establecimiento y definición de las tasas umbral de demanda urbana y sus condicionantes;
- Diferenciación entre demanda (criterio de planeamiento, de carácter determinístico) y consumo (derivado de la gestión del agua, de carácter aleatorio);
- Aguas marginales: concepto que agrupa las aguas urbanas no potables susceptibles de ser regeneradas;
- Ciudad consumidora – suministradora en asociación simbiótica con consumidores externos.

1.6.2. Aportaciones de planeamiento

Entre las aportaciones de planeamiento, destacan:

- Dimensionamiento de las tasas umbral de demanda mediante indicadores estándar;
- Dimensionamiento de los potenciales de aprovechamiento de las fuentes de aguas marginales mediante expresiones analíticas;
- Esquemas de gestión del ciclo hidrológico urbano.

2. FUNDAMENTACIÓN TEORICA

2.1. El agua en el mundo

Cerca de 70 % de la superficie terrestre está ocupada por agua, lo que confiere a nuestro planeta, en opinión de muchos, el apelativo de "Planeta Agua". Sin embargo, solo el 0,26% de toda esa agua es accesible para el consumo humano.

El agua dulce constituye un recurso renovable pero limitado e irregular en la naturaleza; es además indispensable para la vida, por lo que se le atribuye la condición de "bien común". El desconocimiento de su fragilidad, ha conducido, en tiempos pasados, a un deterioro acelerado de su disponibilidad y calidad en la naturaleza, con repercusiones medioambientales negativas y frecuentemente irreversibles. Esto, unido a su vulnerabilidad frente al impacto del cambio climático, lanza un dramático alerta respecto a la necesidad de su protección y uso racional como una decisión de vida para las próximas generaciones.

De toda el agua disponible para el consumo humano el 50 % se concentra en seis países, siendo su distribución geográfica muy desigual. En algunas regiones del mundo la escasez de agua dulce se suma a las amenazas de la presión de actividades humanas y el cambio climático. La mala gestión de las aguas en algunos de esos países, juntamente con las repercusiones de la globalización del comercio sobre la gestión del agua, problemas relacionados al cambio climático y otros, son muchos de los conflictos vinculados a la disminución de los recursos hídricos.

Los recursos hídricos mundiales están bajo presiones crecientes. El aumento de la población, el incremento en la actividad económica y la mejor calidad de vida llevan a una creciente competencia por los recursos limitados de agua dulce. Una combinación de inequidad social, marginalidad económica y carencia de programas de superación de la pobreza, también obligan a las personas que viven en la extrema pobreza a sobreexplotar las tierras y los recursos forestales, que unido a la carencia de medidas de control contra la polución degradan aún más los recursos de agua. (Técnico-TAC, 2000)

El agua dulce para el uso humano proviene directa o indirectamente de las precipitaciones, la cual varía en gran medida a través del tiempo y el espacio. La mayoría de las regiones tropicales y subtropicales mundiales se caracterizan por grandes variaciones anuales y estacionales en las lluvias. Esta múltiple variabilidad incrementa la demanda de desarrollo de infraestructura y la necesidad de manejar la oferta y demanda de agua. El desafío en administrar la variabilidad es claramente mayor en los países más pobres, los que presentan menores recursos humanos y financieros para enfrentar posibles problemáticas. (Técnico-TAC, 2000)

Las actividades humanas tienen un efecto adverso sobre la calidad de los recursos hídricos y sobre su ciclo, dado que el agua es desviada de su curso natural y sometida a procesos que modifican su composición, sobre todo cuando pensamos en los procesos de urbanización y las actividades de desarrollo socioeconómico. Para enfrentar las problemáticas anteriores y además encontrar vías de adaptación a las condiciones climáticas futuras, es indispensable desarrollar modelos de gestión del

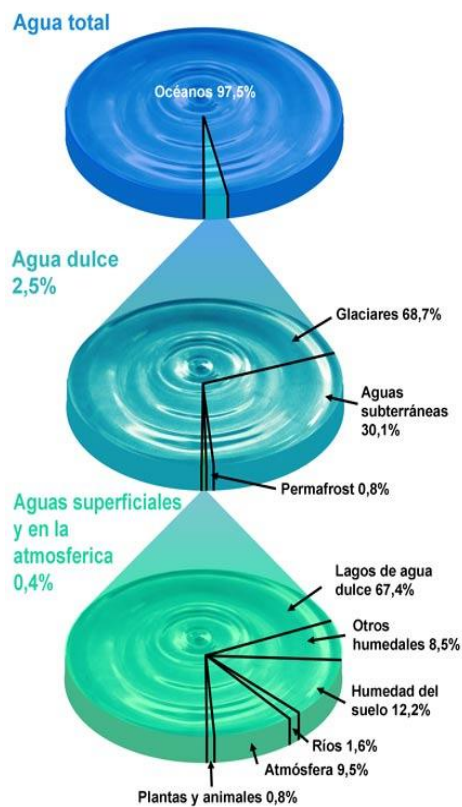


Ilustración 1 - Distribución mundial del agua en el planeta
Fuente: WWAP, 2006

ciclo hidrológico urbano de máxima eficiencia que, entre otras actuaciones, alcancen un elevado grado de integración de los recursos hídricos no convencionales¹ generados en el sistema.

2.2. La problemática global del agua

El mundo enfrentó una crisis tanto de cantidad como de calidad, causados por el continuo crecimiento de la población, la industrialización, las prácticas de producción de alimentos, el aumento del nivel de vida y las pobres estrategias de uso del agua. La gestión de aguas residuales o la falta de la misma, tiene un impacto directo sobre la diversidad biológica de los ecosistemas acuáticos. A lo largo del siglo XX, el uso y consumo de agua creció a un ritmo dos veces superior al de la tasa de crecimiento de la población y, aunque no se puede hablar de escasez hídrica a nivel global, va en aumento el número de regiones con niveles crónicos de carencia de agua. El problema constituye uno de los principales desafíos del siglo XXI al que se están enfrentando ya numerosas sociedades de todo el mundo. Cerca de 1.200 millones de personas, casi una quinta parte de la población mundial, vive en áreas de escasez física de agua, mientras que 500 millones se aproximan a esta situación. Otros 1.600 millones, alrededor de un cuarto de la población mundial, se enfrentan a situaciones de escasez económica de agua, donde los países carecen de la infraestructura necesaria para transportar el agua desde ríos y acuíferos. (UN-HABITAT, 2010)

La escasez de agua es un fenómeno no sólo natural sino también causado por la acción del ser humano. El agua potable en el planeta es suficiente para abastecer a 6.000 millones de personas, pero ésta distribuida de forma irregular, se desperdicia, está contaminada y se gestiona de forma insostenible. Se define como el punto en que, el impacto agregado de todos los usuarios, bajo determinado orden institucional, afecta al suministro o a la calidad del agua, de forma que la demanda de todos los sectores, incluido el medioambiental, no puede ser completamente satisfecha. La escasez puede ser una construcción social o consecuencia de la variación en los patrones de la oferta, derivados, por ejemplo, del cambio climático. Actualmente, cerca de 700 millones de personas procedentes de 43 países diferentes sufren escasez de agua. En el África Subsahariana se concentra el mayor número de países con estrés hídrico. Según pronósticos del UNDP (United Nations Procurement Division), respecto a la escasez del agua:

- En 2025, 1.800 millones de personas vivirán en países o regiones con escasez absoluta de agua;
- Bajo el contexto actual de cambio climático, en el 2030, casi la mitad de la población mundial vivirá en áreas de estrés hídrico, incluidos entre 75 y 250 millones de personas de África. Además, la escasez de agua en áreas áridas o semiáridas provocará el desplazamiento de entre 24 y 700 millones de personas.

Habitualmente, los hidrólogos miden la escasez de agua a través de la relación agua/población. Una zona experimentará de estrés hídrico cuando su suministro anual de agua caiga por debajo de los 1.700 m³ por persona. Cuando ese mismo suministro anual cae por debajo de los 1.000 m³ por persona, entonces se habla de escasez de agua. Y de escasez absoluta de agua cuando la tasa es menor a 500 m³. (UN-HABITAT, 2010)

¹ Fuentes no convencionales son las aguas pluviales, aguas regeneradas y desaladas.

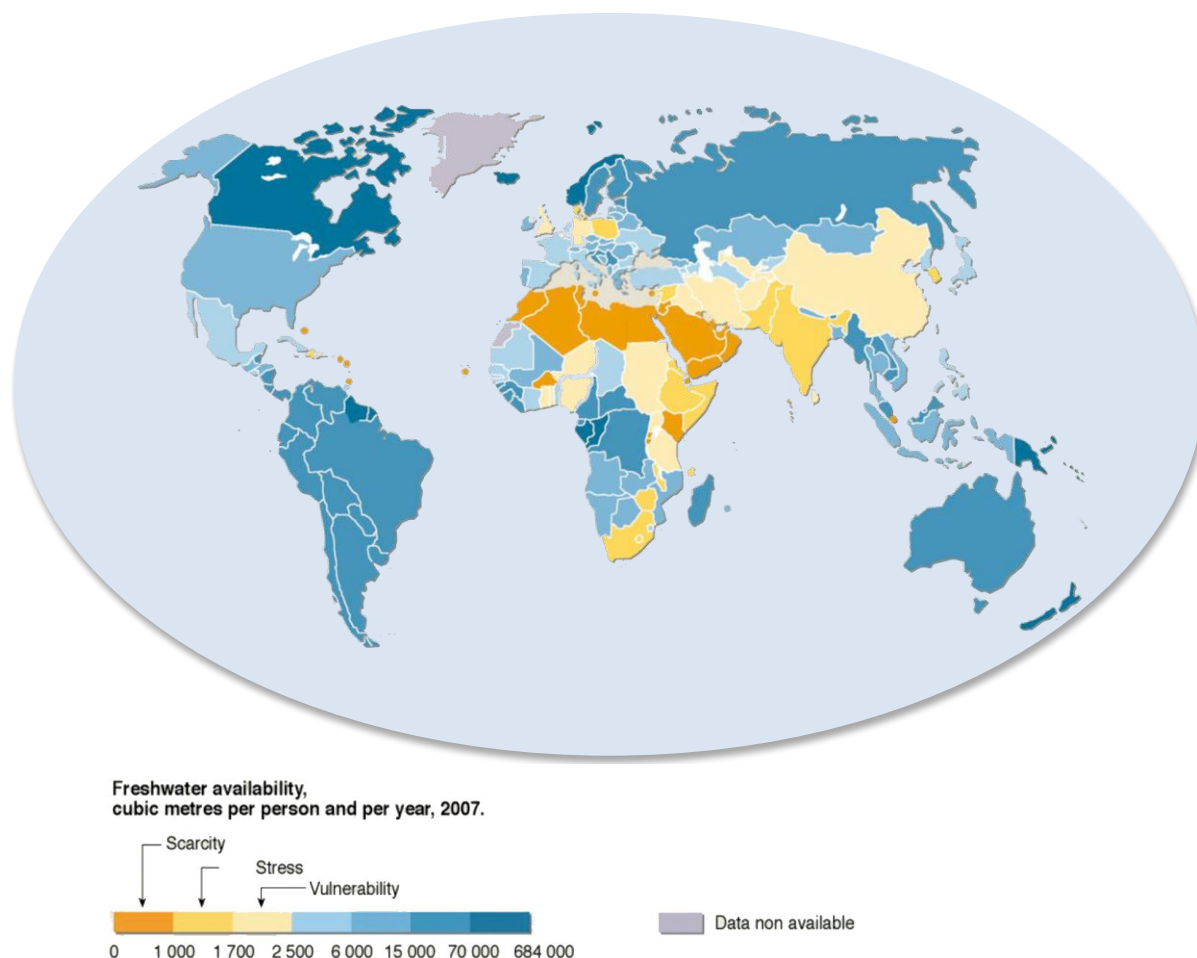


Ilustración 2 - Disponibilidad mundial de agua dulce
Fuente: United Nations Development Programme, 2006

Las variaciones en el flujo del agua y las recargas en las aguas subterráneas, tanto a consecuencia del clima como del mal manejo de las tierras, se pueden sumar a eventos de inundaciones y sequías, los cuales pueden traer consecuencias catastróficas en términos de las pérdidas de las vidas humanas a gran escala y el daño a los sistemas económicos, sociales y naturales. Los riesgos económicos también son importantes en el manejo y desarrollo de los recursos de agua, debido a las inversiones requeridas que habitualmente son de gran escala y de carácter de largo plazo. La contaminación del agua crea otro ramo de riesgos que afectan a la salud humana, al desarrollo económico y las funciones del ecosistema (Técnico-TAC, 2000). La fuente más importante de contaminación del agua es la falta de gestión y tratamiento adecuado de los residuos urbanos, industriales y agrícolas.

Además de servir para los requerimientos básicos de los seres vivos y los procesos industriales, el agua también actúa como un vertedero y un mecanismo de transporte de desechos urbanos, agrícolas e industriales causando contaminación. El deterioro de la calidad del agua causado por la contaminación influye sobre su uso, amenaza la salud humana y el funcionamiento de los sistemas acuáticos, reduciendo así la efectiva disponibilidad e incrementando la competencia por agua de calidad adecuada. (Técnico-TAC, 2000)

Cada día, dos millones de toneladas de aguas residuales y otros efluentes desembocan en las masas de agua.

La realización de predicciones regionales se complica por la extrema complejidad del ciclo hidrológico. Un cambio en las precipitaciones puede afectar la humedad de la superficie y la vegetación, que luego han de tener repercusiones en la evapotranspiración y la formación de nubes, lo

que a su vez afecta a las precipitaciones. Además, el sistema hidrológico responde no sólo a los cambios en el clima y las precipitaciones, sino también a las actividades humanas como la deforestación, la urbanización y la utilización excesiva de los abastecimientos de agua (UNFCCC, 2004). En general, la aceleración del ciclo hidrológico ha de dar como resultado un mundo más húmedo. La cuestión es determinar en qué medida esta humedad ha de finalizar cuando sea necesario. Las precipitaciones probablemente aumentarán en algunas zonas y disminuirán en otras.

2.3. Demanda de agua y consecuencias más comunes de su abuso

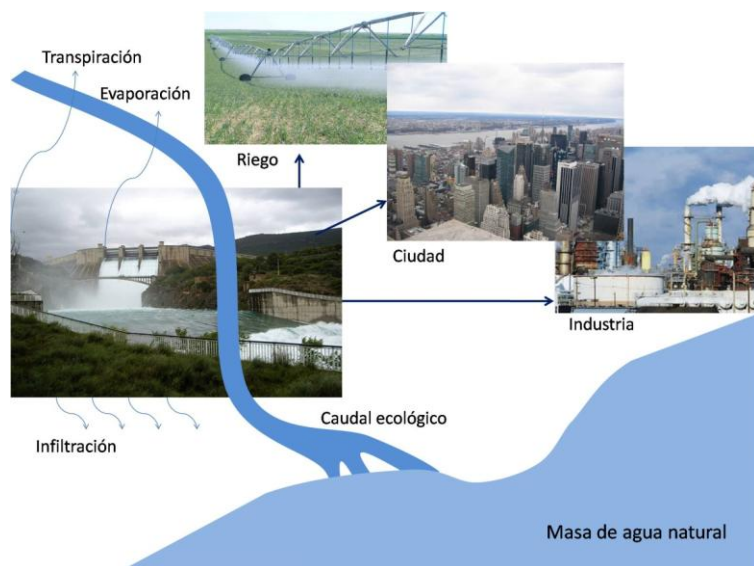


Ilustración 3: Ciclo del agua con distintos destinos
Fuente: elaboración propia

El aumento de la población mundial y su concentración en grandes ciudades generado por la explosión demográfica de mediados del siglo XX presionó sobre los gobiernos, cada vez con mayor intensidad, el incremento de la oferta de empleos y la producción de alimentos y bienes de consumo. Esta presión fue generando, como respuesta, una espiral de crecimiento en la producción industrial y la agricultura, lo que tuvo una repercusión directa sobre la demanda de agua, dando inicio a lo que pudiera denominarse como la “era de las presas”. Los diferentes países del mundo mostraban la regulación de sus recursos superficiales y la explotación de sus recursos subterráneos, como un

símbolo de progreso, a la vez que crecía la industria energética y turística asociada a los grandes embalses. La agricultura bajo el riego aportaba los déficits que la agricultura tradicional no podía cubrir.

Los resultados ambientales negativos no se hicieron esperar, contribuyendo al desarrollo de una conciencia mundial de protección de los recursos hídricos que en España encuentra su principal intérprete en la filosofía y práctica de la fundación “La nueva Cultura del Agua”.

2.3.1. Panorama mundial

La demanda hídrica se compone de los consumos derivados de las actividades humanas (urbano, agrícola e industrial), naturales (transpiración, evaporación y caudal ecológico) y pérdidas infraestructurales en conducciones.

Este estudio pone más énfasis en los consumos que se derivan de la actividad humana y en especial en los consumos domésticos, no obstante, también toma en consideración: las pérdidas en la conducción del agua desde la fuente hasta el consumidor y la reutilización de las aguas previamente usadas.

La demanda hídrica referente a los consumos derivados de la actividad humana, la podemos separar de acuerdo con sus usos y tipos de consumidores, como se ilustra en el diagrama siguiente.

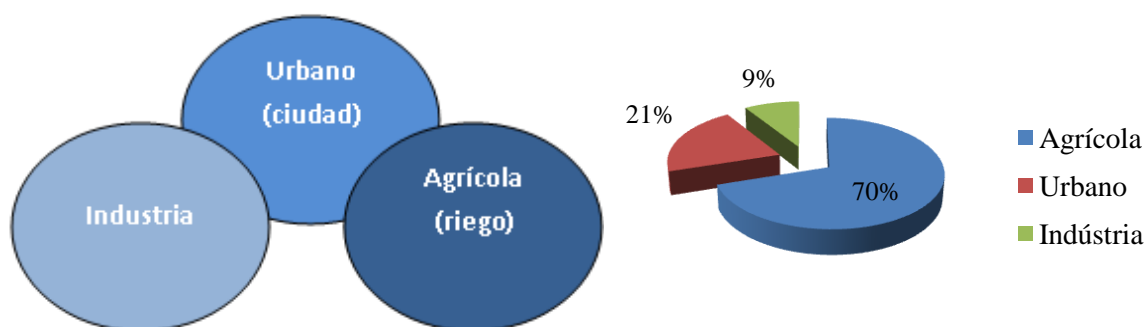


Diagrama 2 - Consumos del agua derivados de la actividad humana
Fuente: elaboración propia, con datos de la Organización de las Naciones Unidas

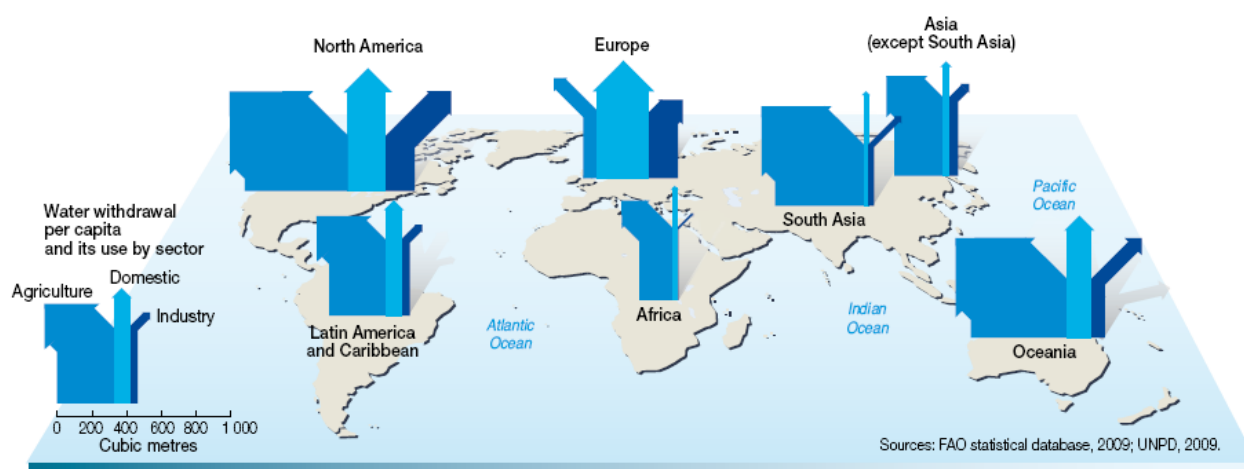


Ilustración 4 - Consumo mundial de agua por tipos de consumidores
Fuente: United Nations Development Programme, 2009

2.3.2. Demanda industrial

La demanda de agua industrial tiene su especificidad de acuerdo a la tecnología que se utilice, lo que se traduce en exigencias respecto a su magnitud y composición físico-química. En la mayor parte de los procesos industriales se utiliza en la limpieza, calefacción y refrigeración, para generar vapor, para el transporte de sustancias disueltas o partículas, como materia prima, como disolvente, y como parte constitutiva del propio proceso, generando, a su vez, residuales con unas características específicas, cuya composición puede exigir tratamientos primarios especiales antes de incorporarlos a las redes colectoras de las EDAR. Existen casos en que la agresividad del residual exige llevarlo a depósitos especiales.

En general, la industria utiliza el 9% del total de agua dulce derivada de fuentes superficiales y subterráneas. Cerca de la mitad de esta agua se utiliza en los procesos y la otra mitad en la refrigeración.

Según la Agencia Europea de Medio Ambiente, la extracción de agua por la industria manufacturera en Europa estuvo creciendo hasta el año 1980, cuando se estabilizó, comenzando a disminuir a mediados de 1990 pese a la continua expansión de la producción industrial. Esta reducción ha sido mayor en el este de Europa (aproximadamente el 79%) y se asocia principalmente con la disminución significativa en la industria durante el proceso de transición. De otra parte, las reducciones en general, se pueden atribuir a la disminución del consumo en la industria pesada (por ejemplo, la minería y la fabricación de acero); los intentos de algunos sectores para reducir los costos

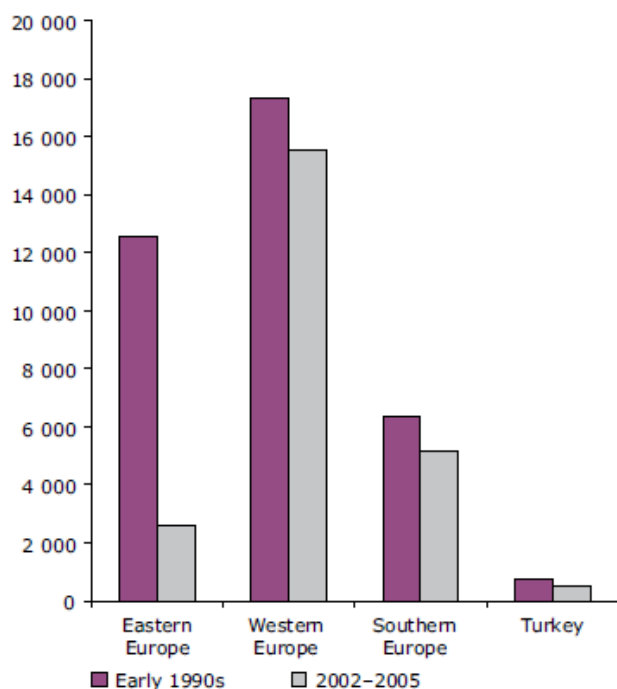


Ilustración 5: Extracción de agua para la industria (millones de m³/año) en la década de 1990 y en el periodo de 2002 -2005

Fuente: European Environment Agency, 2009

los vertidos, no sólo de una industria a otra, sino también dentro de un mismo tipo de industria. Estas resultan más contaminadas que las aguas residuales urbanas, además, con una contaminación mucho más difícil de eliminar.

A veces, las industrias no emiten vertidos de forma continua, sino únicamente en determinadas horas del día o incluso únicamente en determinadas épocas de año, dependiendo del tipo de producción y del proceso industrial. También son habituales las variaciones de caudal y carga contaminante a lo largo del día.

Su alta carga unida a la enorme variabilidad que presentan, hace que el tratamiento de las aguas residuales industriales sea complicado, requiriéndose un estudio específico para cada caso.

2.3.3. Demanda agrícola

De acuerdo con datos de la Organización de las Naciones Unidas, la actividad agrícola es la que tiene el mayor consumo del agua, con un 70% de la demanda total. El bombeo excesivo del agua subterránea ha resultado, frecuentemente, en el hundimiento de la tierra con su consecuente daño a las estructuras urbanas, la disminución del nivel freático, y en muchos casos, problemas de salinización, tanto que, en algunas fuentes ha tenido consecuencias catastróficas. Citamos como ejemplo el mar de Aral en la frontera de Kazajastán y Uzbekistán, que antes de 1970 era navegable y contaba con ricos bancos de pesca. En la actualidad, el bombeo de agua para el riego de algodón redujo su extensión en un 50% y su volumen en un 75%, convirtiéndose en un saladar, cementerio de barcos.

Según la comisión Mundial de Presas, más de la mitad de ellas se encuentran en los dos países más populosos del mundo, China e India. La mayor parte de los embalses de China sirven tanto para la agricultura como para la producción de energía. Aproximadamente entre un 17 y un 18% de todas las tierras de cultivo cuentan en la actualidad con sistemas de regadío suministrando al mundo más de 40% de su alimento. Países industrializados también dependen de presas y sistemas de riego.

En España, el 31% de la superficie total del país se encuentra amenazada por la degradación del suelo habiéndose iniciado procesos de desertificación en algunas zonas.

generados por el consumo de agua, incluidos los relacionados con la descarga de aguas residuales, y además, la introducción de tecnologías agua-eficientes.

En la actualidad, el consumo de sólo dos países, Alemania y Francia, representa más del 40% del consumo europeo de agua por la industria manufacturera. Inglaterra y Gales, Suecia, los Países Bajos, Austria, Finlandia, Noruega y Rumania también presentan una contribución relativamente grande al total europeo.

Los datos informados a Eurostat indican que la industria química y la del petróleo refinado son responsables de aproximadamente la mitad del uso del agua por la industria manufacturera, mientras que los metales básicos, el papel y las industrias agroalimentarias representan gran parte del resto. (Agency, 2009)

Las aguas residuales de origen industrial son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de

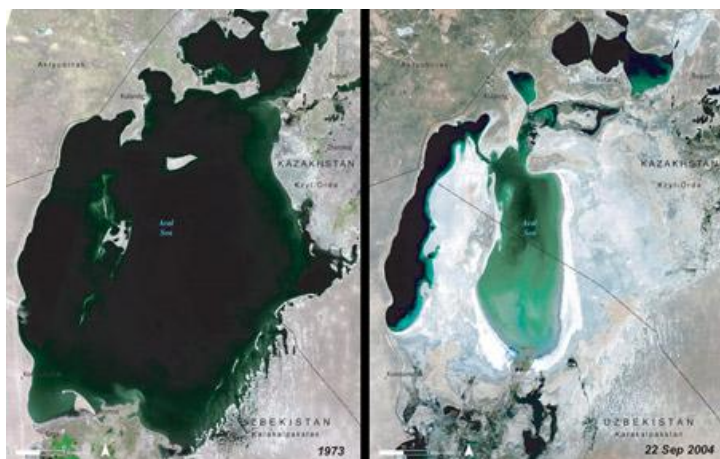


Ilustración 6: Mar de Aral en los años 1970 y 2004
Fuente: Libro "Who owns the water"

con más de 20 millones de motobombas de alta capacidad para riego que extraen el doble del volumen que el agua subterránea podría filtrar en el mismo periodo de tiempo, las consecuencias del uso inconsciente han sido desastrosas: el nivel del agua subterránea ha descendido más de 30m y algunos de los mayores acuíferos indios se han agotado.

El impacto del descenso del nivel de agua subterránea en zonas costeras, todavía es peor, pues una vez que su nivel desciende por debajo del nivel del mar, el agua del mar intrusión y saliniza el agua dulce. La concentración de sal en algunos acuíferos es tan alta que el agua no puede ser utilizada para beber ni tampoco en el riego. (Muller, 2006)

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) estima que la superficie de tierras de cultivo deberá aumentar en un 20% en los próximos años, en tanto que el rendimiento actual del agua en los países en vías de desarrollo alcanza sólo el 38%, dado que más de la mitad se pierde por infiltración o por evaporación antes de llegar a los sistemas de riego. Una



Ilustración 7 - Mar de Aral en los años 1970 y 2004
Fuente: Libro "Who owns the water"

técnica de riego más eficiente sería por goteo, donde demanda un 40% menos de agua. Sin embargo, en la actualidad, la técnica sólo es utilizada en 1% de todas las tierras de regadío, limitándose a pequeños agricultores y en el cultivo de plantas de bajo porte, como viñas y hortalizas.

A partir de la década de los años 90, expertos en agua y agrónomos empezaron a considerar la idea del agua virtual, para mejorar el funcionamiento de las reservas mundiales de agua. Este concepto se refiere a la cantidad de agua necesaria para producir un mismo tipo de alimento en diferentes países, según el clima y método de riego utilizado. Por ejemplo, para producir carne se necesita una cantidad de agua diez veces mayor que para cultivar vegetales (300 gramos de carne equivalen a 3000 litros de agua), sin embargo, el cálculo del agua virtual no tiene en cuenta la situación política de un país ni las barreras comerciales que puedan existir entre los países en vías de desarrollo y las más potentes naciones agrícolas. Sobre esas y otras problemáticas se desarrollan los temas pendientes de más estudios para una aplicación más eficiente.

Según Lars Muller, once países, que juntos agrupan casi la mitad de la población mundial (entre ellos, China, EEUU e India) han tenido un balance negativo del agua en los últimos 10 años, es decir, que consumen más de lo que la naturaleza puede reponer. Más de la mitad el agua consumida por esos países proviene de fuentes subterráneas.

En algunos países donde las fuentes subterráneas se encuentran cerca de la superficie, su reposición ocurre de manera más rápida por las lluvias, como son los casos de Holanda y Dinamarca. En la India,

En algunos países donde las fuentes subterráneas se encuentran cerca de la superficie, su reposición ocurre de manera más rápida por las lluvias, como son los casos de Holanda y Dinamarca. En la India,

A partir de la década de los años 90, expertos en agua y agrónomos empezaron a considerar la idea del agua virtual, para mejorar el funcionamiento de las reservas mundiales de agua. Este concepto se refiere a la cantidad de agua necesaria para producir un mismo tipo de

2.3.4. Demanda urbana

El consumo urbano² de agua representa un 21 % del consumo total, experimentando un crecimiento en espiral a causa del acceso creciente a condiciones de confort, el aumento de la población y el incremento del poder adquisitivo en los países desarrollados, a tal punto que ha generado una espiral de consumo que en las últimas décadas ha ido haciéndose cada vez más insostenible frente a la falta de equilibrio entre la utilización del recurso natural y su capacidad de regeneración.



Ilustración 8 - Torre Agbar, Aguas de Barcelona
Fuente:
<http://www.torreagbar.com/home.asp>

En la vertiente mediterránea de España, el consumo del agua en el sur del país se ha incrementado en un 13% cada año, haciendo que éstas dependan del norte del país para el suministro del agua. Para gestionar los problemas del agua en las próximas décadas, el país tendrá que mejorar eficientemente la utilización del agua de que dispone, con un uso y reuso consciente. (Muller, 2006)

La urbanización, junto con su inseparable desarrollo industrial, tiene profundos impactos sobre el ciclo hidrológico tanto cuantitativa como cualitativamente.

Los recursos hidráulicos disponibles en las cercanías de las ciudades, se están acabando o degradando a tal punto que aumenta substancialmente el costo marginal de su abastecimiento. Estos aumentos en costos surgen de la necesidad de explotar fuentes nuevas y más remotas, así como de los mayores requisitos de tratamiento a raíz del deterioro de la calidad del agua. Su disminución resulta mayormente de las inadecuadas políticas para la fijación de precios y medidas de conservación.

La eliminación incorrecta de los desechos urbanos e industriales contribuye al deterioro de la calidad del agua en las fuentes valiosas de agua potable de alta calidad.

La impermeabilización de la superficie del suelo en las áreas urbanas cambia considerablemente la hidrografía, resultando en picos de avenida más altos e inundaciones más frecuentes, y a menudo se reduce el recargado directo del agua subterránea. Al mismo tiempo, la escorrentía urbana es una de las principales fuentes de contaminación no puntual. Los problemas de contaminación del agua en los lagos, aguas costaneras y marinas, puede resultar en la pérdida de amenidades (oportunidades recreativas y rentas del turismo), agotamiento de las pesquerías, y problemas de salud asociados con el contacto recreativo y la contaminación de los peces y mariscos.



Ilustración 9: Embalse La Baells, de suministro a Barcelona
Fuente:
<http://www.panoramio.com/photo/17173017>

² El consumo urbano contempla tres destinos principales: uso doméstico, uso público y uso comercial. La proporción de agua potable y no potable varía mucho de una actividad a otra. En un centro de elaboración de alimentos podría requerirse agua potable en una proporción elevada, al paso que en una oficina este consumo se reduce a los aseos (lavamanos) dado que el agua de beber generalmente se suministra embotellada.

2.4. El cambio climático y su impacto sobre el ciclo hidrológico

Entre los numerosos impactos y vulnerabilidades sociales, económicas y ambientales del cambio climático, los efectos previstos sobre el estado cualitativo y cuantitativo de los recursos hídricos europeos resultan críticos para la vida de la población y la economía. Los recursos hídricos intervienen en un amplio rango de sectores socioeconómicos y ambientales, incluyendo la salud, la agricultura, la biodiversidad, la seguridad pública, la industria y la navegación. (Marino, 2009)

El cambio climático es un fenómeno en evolución con carácter irreversible, al menos, en períodos de tiempo que superan cualquier previsión razonable de planeamiento. Según el criterio de instituciones competentes, generará, en toda la península ibérica, una reducción en la tasa anual de lluvia y un aumento en la dispersión de las nuevas series estadísticas, lo que en su conjunto producirá una reducción aún mayor en el rendimiento de las fuentes de suministro. Esta circunstancia unida al incremento natural de la demanda a causa del crecimiento demográfico y económico, conduce inevitablemente a la búsqueda de soluciones de adaptación, que en lo referente a la disponibilidad de agua para fines socioeconómicos podrían tener un carácter urgente. (M. García, 2007)

La elevada temperatura del agua y las variaciones de la escorrentía tienden a producir cambios en la calidad del agua afectando la salud humana y el ecosistema. Los impactos del cambio climático, respecto al ciclo hidrológico, no se limitan solo a cambios en las precipitaciones, sino también a otros factores, tales como:

- El aumento de la temperatura del agua en arroyos y ríos reduciendo el contenido de oxígeno y aumentando las tasas de respiración biológica resultando, por lo tanto, en una concentración mayor del oxígeno disuelto;
- Alteraciones de hábitats y en la distribución de los organismos acuáticos. Por ejemplo, una serie de organismos acuáticos se ajustan a las preferencias de temperatura, que determinan su distribución espacial. Las altas temperaturas del agua conducen a cambios en la distribución e incluso pueden llevar a la extinción de algunas especies acuáticas;
- Alteración de la estratificación térmica y mezcla de las aguas de los lagos;
- Cambio del ciclo de nutrientes en los sistemas acuáticos y proliferación de algas;
- A medida que aumentan las temperaturas, las poblaciones de bacterias que controlan los procesos de mineralización del nitrógeno y nitrificación de los suelos también aumentan.

Estudios hechos por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007), predice que la temperatura media del planeta en 2100 se situará entre 1,8 °C y 4°C por encima de la media de 1980 – 2000. Como consecuencia se pronostican episodios meteorológicos extremos más frecuentes, incluyendo las sequias, inundaciones y la elevación del nivel del mar. (Marino, 2009)



Ilustración 10 - Problemática del agua
 Fuente: libro “Blue Planet Run”

2.5. Resumen de la problemática

La problemática a cuya solución contribuye este trabajo viene dada por los resultados de un balance de circunstancias altamente negativo en relación con el acceso al agua dulce y el creciente deterioro de las fuentes de suministro, que puede resumirse en dos conjuntos de factores, uno relacionado con la demanda y el otro con la disponibilidad.

2.5.1. Factores relacionados con la demanda de agua

El crecimiento de la población ha devenido en varios fenómenos paralelos, entre los que destacan: la concentración de la población en torno a centros urbanos cada vez mayores, el desarrollo económico vinculado a la necesidad creciente de empleos y el aumento incesante de la demanda de alimentos y bienes de consumo.

Como consecuencia de este crecimiento, el consumo de agua ha crecido en espiral, especialmente en lo que respecta a la demanda urbana y para regadío. También ha crecido muy rápido la demanda de agua industrial. Este crecimiento descontrolado no constituyó problema alguno mientras las fuentes de agua disponían de excedentes. Con la explosión demográfica que se inició hace unos 30 – 40 años, las posibilidades de satisfacción se han ido haciendo cada vez más críticas en muchas partes del mundo y en particular, en España.

2.5.2. Factores relacionados con la disponibilidad de agua

El deterioro que el desarrollo económico y social ha generado sobre las fuentes naturales de suministro y el impacto del cambio climático en el proceso de evolución, han ido reduciendo la disponibilidad de agua en muchas fuentes, resultando que hoy se dispone de mucho menos agua de

buena calidad en estado natural que hace cuatro o cinco décadas. La amenaza del cambio climático constituye para muchas regiones y en particular para el sur de España, un peligro inminente de escasez hídrica que habrá que enfrentar con medidas que se adopten en el presente.

2.6. Contribución a la solución de la problemática

La contribución de este trabajo a la solución de la problemática viene dada en cuatro áreas principales, a saber:

- Introducción de conceptos nuevos que ayudarían a desarrollar un planeamiento más sostenible en cuanto al agua, entre ellos las tasas umbral de demanda;
- Dimensionamiento de tasas umbral de demanda mediante valores numéricos estandarizados;
- Dedución de fórmulas que permitan evaluar los potenciales aprovechables netos de aguas urbanas procedentes de fuentes no convencionales;
- Proposición de esquemas de gestión que puedan ser aplicados a diferentes soluciones del planeamiento urbanístico.

Todo lo anterior tributa tanto a elaboración de proyectos urbanísticos, como al desarrollo de modelos informatizados de aplicación a dichos proyectos.

3. DESCRIPCION E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se exponen los métodos y los condicionantes que intervienen en la elaboración de los criterios de demanda de agua de los sistemas urbanos por calidades, y las vías para calcular los potenciales de agua procedentes de fuentes urbanas no convencionales en el marco de un ciclo urbano del agua sostenible y viable.

3.1. La ciudad como interface en el ciclo del agua

La ciudad deviene en un ente transformador de todas las aguas que discurren a través de su tejido, tanto las que proceden de procesos naturales como las que son introducidas mediante procesos antropogénicos.

3.1.1. La ciudad como interface en los procesos naturales

Los sistemas urbanos, por regla general, impermeabilizan la mayor parte del suelo donde se asientan, introduciendo modificaciones en el ciclo natural del agua caracterizadas por un incremento en los caudales de escorrentía generados por las precipitaciones. Estas, que frecuentemente generan inundaciones, reducen además su contribución a la formación de caudales renovables en ríos y acuíferos subterráneos.

La calidad de las aguas pluviales sufre también una transformación radical durante su tránsito a través del tejido urbano. El pluvial que precipita sobre las cubiertas de los edificios, escurre con una contaminación moderada, en tanto que el que discurre por el ámbito público (calles, plazas, etc.) alcanza un alto grado de contaminación variada. Las fuentes de contaminación son diversas, destacándose entre otras:

El transporte urbano y el tránsito: los contaminantes asociados al transporte se generan básicamente en las operaciones cotidianas de mantenimiento de los vehículos y debido al uso y desgaste de éstos durante su vida útil. Destacan: combustibles, lubricantes, residuos, polvos, materias arrastradas en los gases de la combustión, restos de pintura y otras partículas resultantes del desgaste, etc.

El pavimento: incluye partículas asfálticas o de hormigón procedentes de los pavimentos, restos de pintura de las marcas viarias y componentes de las juntas de expansión. Cantidades presentes en ciertos lugares son muy variables y difíciles de cuantificar.

Vegetación urbana: aporta principalmente materia orgánica por la descomposición de hojas, semillas, polen, trozos de corteza. Se estima que un árbol maduro puede producir durante la estación de caída de las hojas de 15 a 25 kg de residuos. En sistemas unitarios esta materia orgánica se suma a la de las aguas negras en las estaciones depuradoras.

Contaminación atmosférica: la polución atmosférica es especialmente significativa en aquellas ciudades con polígonos industriales importantes y sometidas a fenómenos de inversión térmica que tienden a concentrar los contaminantes sobre el área urbana, impidiendo su dispersión. La lluvia produce un lavado de estos contaminantes que se incorporan al ciclo del agua. Destaca, entre otros fenómenos, la llamada Lluvia Acida.

Actividad ciudadana: la actividad ciudadana genera durante su vida cotidiana, ya sea intencionadamente o por descuido, pequeños depósitos de materiales muy diversos, como papeles, plásticos, metales, vidrios, madera, alimentos, restos vegetales y otros residuos. Tales depósitos proliferan principalmente en las inmediaciones de las playas y en las partes más antiguas de las ciudades.

La fauna urbana: las aves en libertad que habitan el medio urbano y los animales domésticos contribuyen con sus excrementos a incrementar el potencial de aportación orgánica en los medios acuáticos.

Actividad constructiva: la construcción y demolición de estructuras se concentra en lugares específicos y genera una gran cantidad de polvos y de desechos diversos que se incorporan parcialmente al ciclo del agua cuando se producen lluvias intensas antes de ser retirados.

3.1.2. La ciudad como interface entre dos calidades extremas de agua

La ciudad funciona como una interface entre dos calidades extremas de agua, de una parte, las aguas que entran a las ciudades procedentes de un proceso de potabilización presentando una calidad óptima, regulada por normativas legales y preceptos de carácter ético. De otra parte, el agua que sale de la ciudad como agua residual, presentando un grado de deterioro considerable, contaminada con materia orgánica, desechos biológicos, detergentes, productos químicos, sólidos en suspensión y otros muchos compuestos que la hacen altamente peligrosa para la salud humana y para el medio ambiente en general.

Los procesos necesarios para devolver al agua residual procedente de un sistema urbano, con una calidad mínima que la haga apta para ser devuelta a la naturaleza, son extremadamente costosos y consumen importantes cantidades de energía. Además, aporta una contaminación atmosférica secundaria durante el proceso de depuración, que contribuye al cambio climático global todo lo que, en su conjunto, representa un valor añadido que finalmente se pierde.

De lo anterior se desprende que la reutilización de las aguas usadas en el metabolismo urbano reviste una importancia estratégica y ética. Como, desde el punto de vista ambiental, como socioeconómico, como también para reducir la presión sobre las fuentes naturales de agua dulce y atenuar su impacto como vehículo de contaminación y portador de gases de efecto invernadero.

3.1.3. Dimensión de la interface

De toda el agua que se suministra a un sistema urbano retorna al medio, en términos generales, entre el 85 y el 90%, en forma de aguas residuales que, en dependencia de factores socioeconómicos y culturales pueden recibir o no una depuración previa. Si ignoráramos las regulaciones sanitarias y las consideraciones de carácter ético, e instaláramos sistemas de recuperación de estas aguas para su reutilización en el mismo sistema urbano que las genera, su demanda se reduciría, después de pérdidas en procesos y conducción, en un 70 a 80 %.

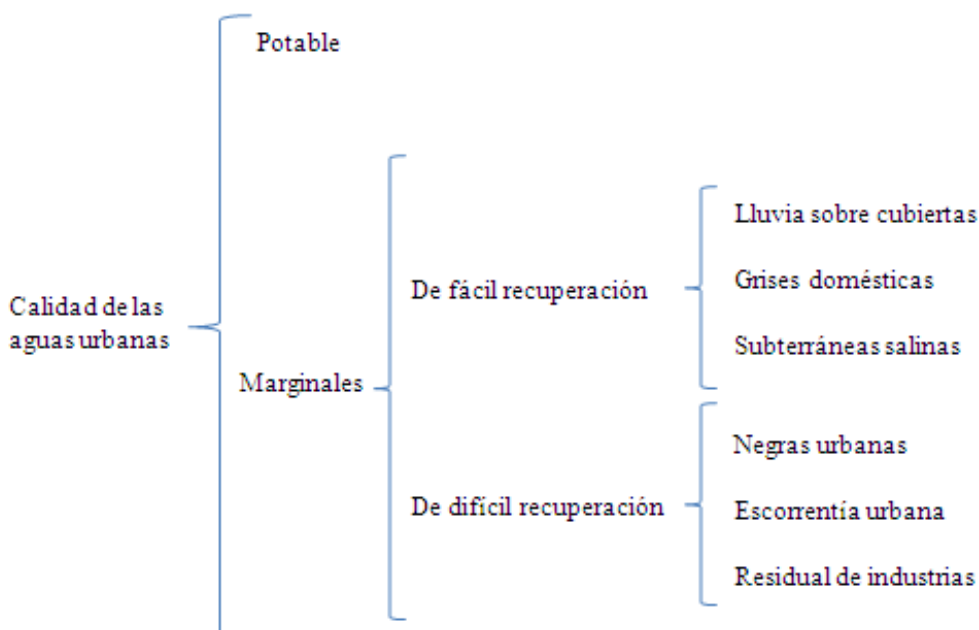
Si añadimos al concepto anterior, las aguas pluviales, dependiendo de las condiciones climáticas de la zona del enclave urbano, el agua deteriorada por la ciudad superaría en mucho a la demanda.

De estos apuntes se desprenden dos conclusiones de mucho peso, aunque no representen soluciones íntegramente viables:

- La cuantía del agua deteriorada por un sistema urbano no depende solamente de la cantidad de agua que se le suministre, sino además, de la cantidad de pluvial que precipita sobre las áreas impermeabilizadas, de la magnitud de los cuerpos receptores de las aguas residuales depuradas y el grado y prevalencia de la afección que se les ocasiona;
- La reducción del suministro de agua desde fuentes naturales, la recuperación de las aguas deterioradas por el metabolismo urbano y la modificación de las condiciones naturales del suelo, son imperativos de carácter ético y de supervivencia.

3.2. Clasificación del agua en el ciclo hidrológico urbano

Las aguas que intervienen en el ciclo hidrológico urbano se agrupan en dos categorías principales que denominamos como potables y marginales, correspondiendo la primera categoría a las aguas que han sufrido un tratamiento suficiente para hacerlas aptas para su ingestión por seres humanos. La segunda categoría engloba una variedad de calidades que va desde las aguas prepotables de fácil recuperación hasta las aguas negras de muy difícil y costosa recuperación. En el cuadro siguiente se ofrece una clasificación más detallada.



3.2.1. Agua potable

Se denomina así a las aguas procedentes generalmente de fuentes externas, que han sufrido un proceso de tratamiento para que cumplan las exigencias legales de “aguas aptas para el consumo humano directo”.

3.2.2. Aguas marginales

Denominamos como “aguas marginales” a las aguas generadas en el ámbito urbano que no son aptas para el consumo humano directo. Clasificando en esta categoría las aguas residuales, los pluviales urbanos y las aguas subterráneas contaminadas, sub clasificándose en “Aguas de fácil reutilización” y “Aguas de difícil recuperación”.

Aguas urbanas de difícil recuperación: son extremadamente agresivas, requiriendo tratamientos muy complejos y costosos que consumen grandes cantidades de energía para su regeneración o para su devolución al medio. Además de las aguas negras domésticas, se incluyen en esta clasificación, el pluvial colectado en calles y plazas, las aguas procedentes del lavado del espacio público y los residuales procedentes de diversos servicios, tales como: hospitales, laboratorios, zonas industriales (circunstancia esa que añade a su agresividad medioambiental, la posibilidad de servir como vectores de enfermedades), etc.

La relación que existe entre las aguas negras y grises domésticas es de 1:4, o sea, que por cada unidad de volumen de aguas negras, se generan cuatro de aguas grises, de la misma unidad de volumen. La baja proporción de las aguas negras en el residual doméstico es una de las razones que argüimos para descártalas.

El pluvial urbano que precipita en las calles y plazas, además de su carácter eventual, se convierte en una forma de escorrentía que entra en la clasificación de aguas negras de difícil reutilización, dado que durante su desplazamiento produce un lavado de las superficies donde se han estado depositando diversas materias en el período anterior sin lluvia. Entre otras destacan: sedimentos, principalmente en suspensión, arrastres, sustancias que demandan oxígeno, nutrientes (N, P), metales pesados, contaminantes tóxicos, grasas y aceites, bacterias, virus y materias flotantes.

Aguas urbanas de fácil recuperación: estas aguas pueden ser recuperadas mediante procesos de regeneración relativamente sencillos, baratos y de bajo consumo energético, dependiendo de las exigencias del consumidor o destinatario. Clasifican en esta categoría las aguas grises domésticas y el pluvial colectado en las cubiertas de los edificios.

Las grises, reiteramos, representan aproximadamente el 80 % del residual doméstico y hasta 60% del residual urbano total. Su composición es compleja, no obstante, su tratamiento es mucho más sencillo que el de cualesquiera otras aguas incluidas en la categoría de aguas de difícil recuperación.

Las aguas pluviales colectadas en las cubiertas de los edificios presentan una contaminación variada, pero de bajas cargas, principalmente cuando se crean dispositivos que permiten un lavado previo de la superficie de captación antes de iniciarse el almacenamiento. Su significación en el suministro de no potables, desde el punto de vista volumétrico, no es elevada, tiene una ocurrencia eventual y depende de la pluviosidad del lugar de estudio. No obstante, representa un aporte de agua de mejor calidad y con una carga físico-química diferente de las de las aguas grises, lo que contribuye a mejorar la calidad resultante cuando ambas son mezcladas.

El esquema siguiente define los destinos de las aguas de acuerdo con la clasificación y calidades ya citadas.

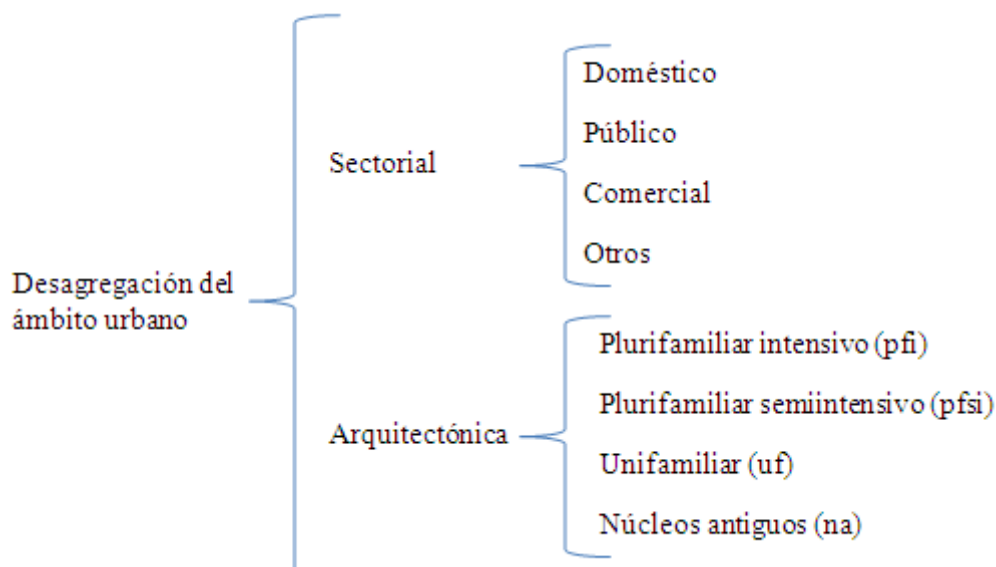


Diagrama 3 - El destino del agua des de su origen

Fuente: elaboración propia a partir de datos tomados de “Hacia un modelo eficiente de gestión integrada del ciclo hidrológico urbano”, 2007, M. García, Agencia de Ecología Urbana.

3.3. Desagregación del ámbito urbano

La demanda urbana de agua depende de factores tanto sociales como estructurales, de donde, su clasificación y evaluación implica disponer de una desagregación adecuada del ámbito urbano. A los efectos de este trabajo, el ámbito o espacio urbano ha sido dividido atendiendo a dos conceptos, el primero de carácter sectorial o estructural y el segundo arquitectónico o de tipología edificatoria.



3.3.1. Desagregación sectorial

Se refiere a los grandes destinos intraurbanos del agua, considerándose cuatro sectores básicos, a saber: doméstico, público, comercial y otros.

Sector doméstico: incluye solamente las viviendas.

Sector público: incluye el espacio público (calles, plazas, parques, etc.), las oficinas y otros espacios o edificaciones de carácter público. Entre los consumos vinculados a este sector están la higiene del espacio público, el suministro a oficinas, el riego urbano, las fuentes públicas, los centros privados de recreación y otros destinos del agua gestionados por la administración pública.

Sector comercial: incluye la red de comercio en su totalidad, hoteles, centros privados de recreación, clubes, oficinas privadas, pequeñas industrias intraurbanas y otros destinos del agua que no clasifiquen como domésticos o públicos.

Otros: Incluye el riego urbano para la producción de alimentos y otros destinos que no se clasifican dentro de los anteriores sectores, con la condición de que se ubiquen dentro del espacio urbano y se sirvan de las mismas fuentes de agua.

3.3.2. Desagregación arquitectónica o por tipologías edificatorias

Esta desagregación se refiere al modelo arquitectónico predominante de un espacio urbano dado. Corresponde principalmente a un criterio de compacidad, destacándose tres categorías que se definen como: Plurifamiliar intensivo (pfi); plurifamiliar semiintensivo (pfsi); unifamiliar (uf) y núcleos antiguos.

Plurifamiliar intensivo: Agrupa los espacios urbanizados mediante edificios multifamiliares de varias plantas, con altas densidades de población.

Plurifamiliar semiintensivo: El tipo de urbanización es más abierta, con amplios espacios públicos y edificaciones de pocas plantas. La densidad de población no es elevada.

Unifamiliar: se refiere a los espacios urbanizados donde dominan las viviendas aisladas y edificaciones adosadas, con una densidad muy baja de población.

Núcleos antiguos: Se refiere a los espacios ocupados por sistemas urbanos antiguos, caracterizados por calles estrechas y generalmente por un elevado valor patrimonial de carácter local o de mayor alcance.

3.4. Factores que influyen en la demanda urbana de agua

La ciudad tradicional ha constituido hasta el presente, uno de los fenómenos antropogénicos de mayor impacto sobre la naturaleza, y en particular, sobre las variables del ciclo hidrológico y la calidad del agua, aspectos éstos que han sido tratados en apartados anteriores. La búsqueda de medios y formas de revertir esta condición pasa por la racionalización del consumo, la reducción de las pérdidas en el proceso de gestión y la discriminación de la demanda atendiendo a las exigencias higiénico sanitarias del suministro con el propósito de viabilizar el reciclaje como vía de reducir la demanda de fuentes externas.

La hipótesis principal que sustenta este trabajo consiste en que un buen concepto de ciudad funcional, compleja y compacta, concebida y gestionada bajo principios de sostenibilidad, podría reducir considerablemente la presión sobre las fuentes naturales de agua y, en algunos casos, pasar de la condición de ciudad consumidora a la condición de ciudad consumidora – suministradora, convirtiéndose en fuente de suministro a usuarios asociados.

De lo anterior se derivan dos conceptos básicos, a saber: la demanda de agua por calidades aplicada a sectores urbanísticos y tipologías edificatorias; y los modelos de gestión (que no se desarrollan en este trabajo) donde la ciudad recicla parte de su demanda o pasa a formar parte de un complejo de gestión hídrica en asociación con consumidores externos mediante una relación simbiótica.

3.4.1. Visión actual según algunos investigadores

El agua es esencial para el desarrollo humano y está intrínsecamente relacionada con la aparición de asentamientos urbanos y su crecimiento. Históricamente la expansión urbana ha ido acompañada de la investigación y explotación de nuevos recursos hídricos para satisfacer las necesidades de los diferentes usos (agrícola, industrial y urbano), que han ido cambiando a lo largo de los siglos. Las fuentes de agua locales utilizadas originariamente se han complementado e incluso sustituidas por fuentes cada vez más lejanas, con repercusiones socio - ambientales que han rebasado los límites territoriales de la ciudad. El aumento de la oferta y de la mejora de la calidad del agua disponible en pueblos y ciudades ha favorecido el crecimiento económico y de la población, a la vez que ese bien básico ha sido fuente de conflictos sociales y territoriales, especialmente en aquellas zonas donde el agua ha sido tradicionalmente un recurso escaso. (Domene, El Paper d'aigua, 2009)

3.4.1.1. Factores que influyen en la magnitud de la demanda de agua doméstica

En un momento en el que más del 50% de la población mundial vive en ciudades y en un contexto de aumento futuro de la escasez del agua en determinadas zonas como consecuencia del cambio climático, el suministro y la gestión del agua para usos domésticos es un tema de especial relevancia para políticos, técnicos e investigadores.

Además de los estudios realizados en el campo de la ingeniería, centrados sobre todo en la investigación y distribución de nuevas fuentes de abastecimiento, en la mejora de la calidad (potabilización y depuración) y de la eficiencia en el aprovechamiento, existe una producción técnico - científica que trata de abordar el estudio del ciclo hidrológico desde otras perspectivas.

En lo político se ha centrado el interés en quien tiene la titularidad del agua y el poder sobre su gestión, así como en cuáles usos han sido priorizados respecto a otros. El enfoque socio ambiental ha intentado profundizar en los diversos factores que influyen en el consumo urbano de agua y los impactos que el aumento de su consumo, en zonas urbanas, está provocando en el medio ambiente y en la sociedad.

Finalmente, se ha alcanzado un alto grado de comprensión sobre la eficiencia de la gestión de factores condicionantes de la demanda, como criterio de reducción de la presión sobre las fuentes de suministro y el impacto ambiental de la ciudad. Destacamos:

- Sociales: cultura y composición familiar, grado de conciencia ambiental;
- Económicos: el precio del agua y nivel de ingresos;

- Institucionales: normativas e instrumentos legales, educación, información;
- Infraestructurales: modelo residencial, densidad edificatoria, tipología y superficie de la vivienda, número de puntos de consumo;
- Técnicos: contadores individuales, tecnología utilizada (sistemas de ahorro);
- Ambiental: clima y tipo de vegetación de las zonas ajardinadas, gestión del pluvial urbano.

Las realidades sociales y políticas juegan un papel importante en el uso del agua y, consecuentemente, en las consideraciones de la eficiencia. A parte de los factores económicos, que tienen una influencia directa respecto al consumo eficiente del agua, otros factores sociales también juegan su papel en la demanda urbana.

Los consumos básicos dentro de las viviendas, tales como la higiene personal y doméstica y la preparación de alimentos, son relativamente estables para diferentes niveles de renta, evidenciándose los incrementos en los usos exteriores, como jardines y piscinas, en viviendas con altos niveles de ingresos. Por otra parte, el precio del agua, es prácticamente político y no representa el valor real de abastecimiento, aunque las Directivas de la UE promueven que el precio tenga un aumento gradual para recuperar el coste de las nuevas infraestructuras que pueden ser necesarias en el futuro, repartiendo la carga de las mismas proporcionalmente al consumo.

En países como Alemania, Suecia, Holanda, el precio del agua es de 4 a 5 veces más caro que en algunas regiones de España (y no tienen problemas con la falta de agua). Regiones como Madrid ya incorporan en sus recibos un aumento del 10% para obtener fondos para nuevas infraestructuras que pueden ser necesarias en el futuro. (Moya, 2007)

En la tabla siguiente podemos comparar las diferencias regionales en los costes estadísticos del agua desde el año de 1999 a 2004.

Región	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Andalucía	0,58	0,59	0,64	0,69	0,79	0,94
Asturias	0,45	0,51	0,54	0,59	0,65	0,65
Canarias	1,55	1,58	1,66	1,67	1,68	1,64
Cantabria	0,46	0,53	0,53	0,55	0,60	0,69
Castilla y León	0,42	0,42	0,46	0,49	0,53	0,61
Cataluña	0,90	0,94	0,91	0,98	1,04	0,92
Comunidad Valenciana	0,62	0,66	0,71	0,78	0,83	1,20
Galicia	0,50	0,54	0,60	0,61	0,62	0,78
Madrid	0,68	0,69	0,76	0,81	0,86	1,00
Murcia	0,99	1,12	1,12	1,08	1,08	1,41
Navarra	0,45	0,60	0,59	0,63	0,73	1,11
País Vasco	1,06	1,12	1,09	1,14	1,15	0,83
España	0,69	0,73	0,77	0,81	0,86	0,96

Tabla 1 - Coste medio del suministro de agua en €/m³
Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas

Las preferencias sociales forman una parte integral de la sociedad que puede influir de manera importante sobre la actitud de las personas en cuanto a la necesidad del uso eficiente del agua. La abundancia en el suministro en algunas zonas, dificulta los esfuerzos relacionados con la eficiencia de su uso en mucho mayor grado que en áreas con recursos menos abundantes.

Otro ejemplo, también relacionado con las preferencias sociales, es el tipo de césped utilizado en jardines. Se observa, un uso exacerbado de vegetación ornamental exigente en la demanda de agua para riego en zonas áridas. Esto muestra que las actitudes, gustos y preferencias, dan lugar a consideraciones importantes en lo que se refiere al incremento en la eficiencia del uso del agua.

La educación pública es clave para lograr la aceptación de la eficiencia en el uso del agua como una necesidad inaplazable y también una actitud proactiva hacia el uso racional. En épocas de escasez de agua, muchas comunidades utilizan técnicas de información y educación pública para evitarla o aliviarla. Frecuentemente, el hecho de señalar los beneficios económicos que se pueden obtener de la conservación del agua puede iniciar una acción hacia la eficiencia en su uso. También parece que los intentos por modificar las tarifas o por instalar medidores pueden tener mayor éxito si son acompañados por fuertes campañas de información pública.

Podemos señalar algunas características que claramente afectan las decisiones sobre la eficiencia en el uso del agua, como por ejemplo en el sector de la construcción, donde muchos países utilizan códigos que especifican normas mínimas que se deben cumplir. La eficiencia del uso del agua, raramente se ha tomado en cuenta para los fines de estos códigos. Si no se modifican las normas y los códigos, no sólo en el ámbito de la construcción, se hace muy difícil lograr un eficiente uso del agua.

Otro aspecto a considerar es el de los derechos de propiedad. En los derechos de recursos naturales de cualquier tipo existen varios grados de propiedad que varían desde el público hasta el privado. Del lado público de la escala, el acceso está completamente abierto a todos los ciudadanos, dado que el recurso es gratis. Con acceso abierto, no existe incentivo para manejar el recurso de una manera conservadora y eficiente, excepto a través de la persuasión moral, la que es difícil de invocar en la mayoría de los casos. En el otro extremo del espectro, en lo relativo a la propiedad privada, el acceso al recurso pertenece exclusivamente a su dueño por ley, y es divisible y transferible. Bajo tales condiciones, existen incentivos para el manejo efectivo y el uso eficiente.

Autores como Demsetz (1967) y Pearse (1988), han mostrado que el cambio de propiedad pública de bienes comunes a propiedad privada de los recursos, ofrece una respuesta al costo social externo. Cuando los recursos son abundantes en relación con la demanda (como lo fue una vez la tierra en Norte América), no existe incentivo para desarrollar un sistema de derechos de propiedad, y se aplican las características de la propiedad común. Pero, en la medida en que se desarrolla el crecimiento económico y de población, los conflictos sobre el acceso al recurso se incrementan en número y en gravedad, incluyendo la pérdida de vidas humanas, al punto que, el costo social en los extremos de tales conflictos es tan elevado que vale la pena modificar los derechos básicos de propiedad (un proyecto costoso en sí) para lograr diferentes grados de propiedad privada.

Aplicado a nuestro caso, puede resumirse que el agua tipifica los recursos de propiedad común de bajo precio y falta de exclusividad. Bajo estas condiciones, existe poco incentivo para el uso eficiente y conservador de los recursos. De hecho, en muchos casos cuando el margen para el sobreuso y el abuso es grande, el manejo de esta situación resulta muy complejo y difícil. La teoría, no obstante, va aún más allá y sugiere que el costo social bajo tales condiciones aumentará a niveles socialmente inaceptables y que se terminará por alcanzar arreglos privados o semiprivados para los derechos.

En este momento, en algunas partes del mundo se puede apreciar la tendencia al cambio en el sistema de derechos de agua. En algunos casos se reasigna el agua, en otros, se pretende cobrar tarifas por el derecho a depositar desperdicios en ríos y lagos, y por último, se emiten permisos canjeables para el control de la contaminación. Bajo tales condiciones, el desarrollo de prácticas para aumentar la eficiencia en el uso del agua forma una tendencia conexas. El principio que surge de este análisis es que la eficiencia en el uso del agua es parcialmente un resultado de los derechos de propiedad que prevalecen en la sociedad, resultando que “mientras más alto sea el grado de propiedad privada, mayores serán las prácticas de uso eficiente”.

El consumo doméstico per cápita suele ser mayor cuando disminuye el número de miembros en el hogar y también en familias con niños. Los hábitos de consumo responsable llevan a consumos

menores. Otros factores como la instalación de contadores individuales y la tarificación del agua, muchas veces acompañados de información y reparación de fugas, disminuye igualmente el consumo per cápita. Relacionado con ello, las campañas y la instalación de sistemas de ahorro en los hogares y una normativa que fomente ahorro puede contribuir a consumos menores. (Domene, El Paper d'aigua, 2009)

Entre los factores urbanísticos, las viviendas más grandes y con más puntos de consumo comportan consumos domésticos de agua más elevados, si bien variable, teniendo el papel más importante, la tipología edificatoria. En las viviendas unifamiliares con usos exteriores como el riego del jardín o el mantenimiento de la piscina, los consumos de agua suelen ser más elevados que en los bloques de pisos.

A una escala mayor, el modelo residencial es una de las variables que explica mejor el consumo de agua. Las zonas urbanas basadas en un modelo de baja densidad de población, donde predominan las viviendas unifamiliares con jardines y piscinas, presentan unas demandas de agua per cápita muy superiores a las zonas urbanas compactas y con tipologías edificatorias de altas densidades. En este sentido, una planificación que tienda hacia un modelo urbano menos consumidor de agua debe ser la clave para afrontar el reto de la gestión sostenible del agua. (Domene, El Paper d'aigua, 2009)

Equipamientos	Plurifamiliar intensiva	Plurifamiliar semiintensiva	Unifamiliar
Ducha	34%	29%	21%
Inodoro (WC)	21%	20%	13%
Lavabo	18%	22%	11%
Lavadora	10%	9%	8%
Cocina	4%	3%	2%
Lavavajillas	5%	4%	4%
Otros	8%	7%	5%
Jardín	0%	6%	36%
Producción grises	62%	60%	40%
Uso agua reutilizada	21% (inodoro+jardín)	26%(inodoro+jardín)	49%(inodoro+jardín)
Aguas a depurar	30%	27%	19%
Ahorros en	88%	84%	57%
Ahorro ahorradores	44% <i>Aproximadamente 50%</i>	42%	29%
Ahorro potencial	21% + 44% = 65%	26% + 42% = 68%	49% + 29% = 78%

Tabla 2 - Consumo domestico racional por destino
Fuente: Datos Agencia de Ecología Urbana de Barcelona

Ambos conceptos, descritos en los apartados 3.2 y 3.3, tienen una implicación directa en la demanda urbana de agua y en la presión que los sistemas urbanos ejercen sobre las fuentes naturales de suministro. En el primer caso, por la reducción que la sustitución de agua potable por agua regenerada significa y, en el segundo, por la repercusión que el grado de compacidad urbana tiene sobre los consumos.

3.4.1.2. Calidades de agua aplicables a los sistemas urbanos.

Los sistemas urbanos admiten dos calidades de agua que podríamos definir, en principio, como agua potable y agua no potable, cuyas características deben ser establecidas en virtud de la legislación existente, resumida en la transposición española de la Directiva Marco del Agua de la UE.

Tanto esta directiva como otros instrumentos legales del sector de la salud, como la Ley de las Aguas y Código técnico en edificaciones (DB HS Salubridad)³ establecen que el agua de uso urbano, independientemente de los destinos que se le asignen, deben presentar una calidad tal que su contacto con las personas no les genere ningún tipo de afección. Desde este punto de vista, la tolerancia de las aguas no potables respecto a las potables se circunscribe a las aguas no aptas para el consumo humano directo cuyas características de sabor, aspecto o contenidos que no entren en contradicción con el principio sanitario básico pueden variar respecto a las aguas potables.

El estrecho margen de tolerancia legal y ética, plantea severas exigencias en cuanto al proceso de regeneración de aguas ya usadas y restringe su uso a destinos muy concretos, donde el contacto humano, no agresivo, nunca ocurra de forma habitual.

De acuerdo con lo anterior, se prevé el uso de aguas no potables (residual regenerada o pluvial urbano tratado) en la descarga del váter en todos los sectores, al riego urbano, limpieza de calles y plazas, fuentes ornamentales y otros similares, en el sector público.

Potable	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo humano directo o en la preparación de alimentos; • Elaboración industrial de alimentos y otros productos de consumo humano; • Destinos donde puedan ser ingeridas por accidente o descuido.
No potable	<ul style="list-style-type: none"> • Descarga del váter en todos los sectores; • Usos en otros sectores o procesos donde no exista riesgo de ingestión accidental o por descuido.

Tabla 3 - Tipos de calidad del agua

Fuente: elaboración propia, datos Ley de las Aguas y Código técnico en edificaciones (Salubridad)

3.4.1.3. Aspectos que marcan las diferencias entre tipologías edificatorias.

El consumo doméstico no tendría que variar de una tipología a otra si respondiera sólo a las necesidades humanas básicas en un medio socioeconómico desarrollado vinculado a una política de ahorro doméstico. No obstante, el nivel de ingreso de la familia juega un papel que se hace patente en el grado de dispersión del espacio urbano y por donde, repercute sobre la tipología edificatoria o arquitectónica con demandas diferenciadas de agua. Los incrementos en las urbanizaciones dispersas no se deben solamente a un incremento del consumo básico sino, fundamentalmente, a la aparición de otros consumos tales como el riego de extensas áreas verdes, el lavado de coches, las piscinas privadas y otros.

De otra parte, a medida que el medio urbano se dispersa, aumentan otros consumos en el sector público y comercial, como son el riego de una superficie verde mayor, la limpieza de una longitud mayor de calles, una mayor dispersión de los servicios y hábitos de consumo aprendidos de los residentes con altos estándares de vida. De otra parte abundan menos las oficinas y el sector comercial, generalmente disperso, con demandas per cápita, respecto a la población residente, inferiores a las que corresponden a los espacios más densamente poblados.

En los sistemas urbanos complejos, como son las ciudades que superan los 20 o 30 mil habitantes, las tasas de consumo suelen tener cierta aleatoriedad que en la práctica se estudian mediante una desagregación adecuada del tejido urbano, aplicando los criterios de consumo a un modelo de ponderación a fin de considerar la demanda en todos sus aspectos.

³ Ver anexo IV.

Por último, queda lo referente al reciclaje o reutilización de las aguas usadas y el aprovechamiento de las aguas pluviales dentro del concepto de aguas no potables, antes referido, que también tiene una expresión sectorizada y vinculada a las tipologías arquitectónicas. Pero, que a causa de las demandas energéticas adicionales destinadas a los procesos de regeneración y bombeo, pueden generar esquemas variados de gestión y criterios diferenciados sobre el grado de aprovechamiento y destinos en correspondencia con factores topográficos, climáticos y de otras índoles.

3.4.2. Demanda umbral de agua: definición y condicionantes

Se define como demanda urbana umbral de agua a las demandas límite inferior que sean viables bajo ciertas condiciones, atendiendo a la desagregación del sistema urbano por tipologías edificatorias.

El concepto de viabilidad, en este caso, resume factores de índole social en el contexto socioeconómico europeo, factibilidad de ejecución de las infraestructuras necesarias para lograrlo y aspectos políticos y legales, definiéndose de este modo los “criterios condicionantes” que hacen posible alcanzar las tasas de consumo umbral, finalmente adoptadas, y que pueden resumirse como sigue:

- Desarrollar una cultura de ahorro mediante la información adecuada y comprensible a través de los medios de difusión masiva y la introducción en los sistemas de estudio de la necesidad de ahorrar el agua, su coste de producción, su impacto ambiental y, sobre todo, su perspectiva de escasez a mediano plazo;
- Facilitar y promover el uso de accesorios hidráulicos domésticos ahorradores;
- Establecer sistemas tarifarios donde el estímulo impositivo del ahorro esté implícito;
- Medir todos los suministros de agua de forma separativa;
- Evaluar el grado de concienciación social respecto a la necesidad de ahorrar el agua, así como el grado de aplicación de las políticas y actuaciones concretas, mediante encuestas, teniendo como meta un mínimo de 8/10 encuestados positivas.

3.5. Determinación de las tasas umbral de demanda urbana de agua

La evaluación numérica de las tasas de demanda constituye, junto con la evaluación de los potenciales de las fuentes no convencionales, el objetivo central de esta tesina. Para lograrlo, se siguieron dos vías de investigación, la primera se orientó a las búsquedas bibliográficas y la segunda se apoya en investigaciones realizadas por la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona resumidas en dos trabajos titulados “Hacia un modelo eficiente de gestión del ciclo hidrológico urbano”, Manuel García, Noviembre de 2007 e “Indicadores de gestión del ciclo hidrológico urbano” del mismo autor, Enero de 2010.

Las búsquedas bibliográficas, de modo general, aportaron datos sobre consumos globales de ciudades y regiones completas y de otra parte, criterios sobre consumos domésticos dentro de unos límites muy amplios de variación. En ningún caso encontramos trabajos que satisficieran el objetivo principal de este trabajo, consistente en ofrecer tasas umbral de demanda urbana por sectores y tipologías edificatorias. Con excepción, de la investigación realizada en la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, que exponemos con cierto grado de detalles en el apartado 3.5.1.

Según los estudios realizados por el Instituto Nacional de Estadística de España (INE), respecto a los consumos en el año 2004, España se dispuso de 4.923 hm³ de agua de abastecimiento público urbano. De esta cantidad, un 82,1% (4.042 hm³) se suministró al sector doméstico, empresas e instituciones y para consumos municipales.

El consumo de agua de las familias españolas ascendió a 2.701 Hm³, lo que representa el 67% del consumo total. El consumo medio se situó en 171 litros por habitante y día, un 2,4% más que los 167 litros del año 2003. El valor unitario del agua (cociente entre ingresos por el servicio realizado y el volumen de agua gestionada) se incrementó un 11,6% en el año 2004, hasta situarse en 0,96

euros/m³. El valor unitario del abastecimiento de agua alcanzó los 0,66 euros/m³, mientras que el de tratamiento de aguas residuales fue de 0,30 euros/m³. (Moya, 2007)

Los consumos tienden a ser muy distintos según nos encontremos ante un urbanismo de alta densidad edificatoria o, por el contrario, ante un urbanismo disperso, de carácter extensivo con importantes usos exteriores, como por ejemplo, jardines y piscinas. (Domene, Saurí, Martí, Molina, & Huelin)

En la tabla siguiente podemos ver la evolución de los consumos de agua en España desde el año de 1999 a 2004.

Región	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Andalucía	180	183	181	184	184	189
Asturias	149	151	155	158	161	172
Canarias	135	139	135	134	135	147
Cantabria	180	188	174	182	185	187
Castilla y León	148	153	146	155	168	172
Cataluña	185	186	184	182	183	174
Comunidad Valenciana	164	166	156	158	163	178
Galicia	124	128	124	131	143	155
Madrid	176	176	171	166	166	171
Murcia	140	145	151	146	149	161
Navarra	150	159	147	148	152	144
País Vasco	142	154	151	147	149	150
España	165	168	165	164	167	171

Tabla 4 - Consumo medio en litros por habitante y día en las distintas regiones de España
Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas

En un estudio realizado en la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona (M. García, 2007 y 2010) se obtuvieron valores de consumo de agua urbano optimizados, basados en dos investigaciones. Una respecto a los consumos reales de 129 municipios de la Región Metropolitana de Barcelona, agrupadas por rangos de población, como sigue:

- Ciudades pequeñas: < 20.000 habitantes;
- Ciudades medias: 20.000 a 100.000 habitantes;
- Ciudades grandes: > de 100.000 habitantes.

El segundo estudio se realizó sobre 634 encuestas a hogares de diferentes tipologías arquitectónicas, aplicadas a tres categorías de densidad catalogadas, según la tipología edificatoria, como: plurifamiliar intensiva, plurifamiliar semiintensiva y unifamiliar. Las tasas de consumo real se obtuvieron, bajo condiciones no controladas, utilizando procedimientos estadísticos.

Los resultados que se obtuvieron por ambos métodos presentan valores muy cercanos. Obsérvese la siguiente tabla:

Vía de estudio	Concepto	Consumo medio per cápita en litros/día		
		Medio	Máximo	Mínimo
92 Ciudades	Población grande	120	140	110
Encuestas	PFI	120	168	72
92 Ciudades	Población media	135	160	115
Encuestas	PFSI	148	210	86
92 Ciudades	Población baja	205	270	155
Encuestas	UF	203	319	87

Tabla 5 - Comparación de los resultados obtenidos por ambas vías de estudio.
Fuente: Agencia de Ecología Urbana de Barcelona

La interpretación de los resultados, según el mismo autor, es la siguiente:

Los valores mínimos y máximos son realidades objetivas del muestreo, no obstante, siendo valores extremos, responden a condiciones puntuales que no debieran tomarse como referenciales. De otra parte, los valores medios obtenidos por ambas vías son técnicamente coincidentes, lo que les otorga un grado importante de confiabilidad.

Otro aspecto a tener en cuenta es que las desviaciones negativas son mucho más numerosas que las desviaciones positivas (asimetría negativa), lo que suponemos que ocurra también con la investigación basada en encuestas, resultando así que entre la media y la envolvente mínima se localiza la mayor parte de los datos (60 %). Un razonamiento tal permite asumir la media como un criterio envolvente adecuado para caracterizar el consumo cuando no se aplican medidas de ahorro de forma extensiva. Denominando a los consumos así obtenidos como “criterio de consumo racional”.

Criterio de selección según la información de entrada		Consumo (lpd)
Tipología edificatoria	Tipología de ciudad según la tipología de muestreo	
Plurifamiliar intensiva	Grandes o núcleos densos	120
Plurifamiliar semiintensiva	Media o núcleos semidensos	140
Unifamiliar	Pueblos o núcleos dispersos	200

Tabla 6 - Tasas racionales de consumo
Fuente: Agencia de Ecología Urbana de Barcelona

Basado en la investigación de encuestas se ofrece un criterio de distribución porcentual doméstica por destinos. Si aplicamos esos porcentajes a los criterios racionales de consumo que aparecen en la tabla anterior, se obtienen valores correspondientes por destinos domésticos:

Destinos	Consumos (%)			Consumo medio (lpd)		
	PFI	PFSI	UF	PFI	PFSI	UF
Ducha	34	29	21	41	41	42
Inodoro	21	20	13	25	28	26

Lavabo	18	22	11	22	31	22
Lavadora	10	9	8	12	12	16
Cocina	4	3	2	5	4	4
Lavavajillas	5	4	4	6	6	8
Jardín	0	6	36	0	8	72
Otros	8	7	5	10	10	10
Total	100	100	100	120	140	200

Tabla 7- Consumo domestico racional por destinos.
Fuente: Agencia de Ecología Urbana de Barcelona

La aparente incongruencia entre algunos consumos de la tipología UF respecto a las otras se debe a un coeficiente inferior de tiempo de ocupación de la vivienda media a lo largo del año, generado por un poder adquisitivo superior de sus ocupantes.

Según la misma investigación realizada, los niveles de ahorro de agua que pueden obtenerse utilizando accesorios diseñados con este propósito serían:

- Grifos y duchas: 50%;
- Inodoros: 35%.

El autor finalmente aplica a estos “consumos racionales” criterios de ahorro, asumiendo que en los hogares encuestados se instalaran grifos ahorradores, WC de pequeña cisterna y otras tecnologías reductoras de los consumos, alcanzando de este modo lo que ha denominado como “Tasas Umbral de Demanda”. La discriminación de los consumos que admiten agua no potable se realiza mediante un análisis de los consumos por destinos dentro y fuera de los hogares, proponiendo finalmente las tasas que aparecen en las tablas siguientes:

Usos del agua	Consumo medio (lpd)					
	PFI		PFSI		UF	
	Potable	No potable	Potable	No potable	Potable	No potable
Ducha	20		21		21	
Inodoro		18		20		18
Lavabo	11		15		11	
Lavadora	12		12		16	
Cocina	5		4		4	
Lavavajillas	6		6		8	
Jardín	0			8		72
Otros	10		10		10	
Doméstico	64	18	68	28	70	90
Público	2	12	2	12	2	12
Comercial	4	4	4	4	4	4
Total	70	34	74	44	76	106

Demanda total	104	118	182
---------------	------------	------------	------------

Tabla 8- Consumos optimizados para diferentes grados de compacidad de la ciudad de nueva urbanización y remodelación.

Fuente: Agencia de Ecología Urbana de Barcelona

Una consideración posterior conduce a la conclusión de que el consumo básico no depende de la gestión integral de las aguas, sino que puede lograrse mediante los mismos condicionantes anteriormente referidos, con soluciones de integración parciales o sin ellas, en cuyo caso, predomina o se consolida como suministro único el agua potable. Los resultados obtenidos de un análisis más reciente (2010) constatan la validez y vigencia de los resultados de estudio de 2007 y su concordancia con el indicador de 80lpd para condiciones de uso confortable y urbanización compacta, sostenido por algunos especialistas. La tabla siguiente ofrece los resultados obtenidos utilizando los datos de consumo que propone Intermon Oxfam para diferentes usos domésticos:

Tipos de consumo (litros)	Una vez/persona	Periodo 10 días	
		Frecuencia	Cantidad
Lavadora (60 l / lavado)	20	3	60
Limpieza hogar (15 l/limpieza)	5	2	10
Lavaplatos (18l/carga)	6	10	60
Cocinar (6l/día)	2	10	20
Ducharse	35	9	315
Bañarse	200	1	200
Lavarse los dientes	1.5	30	45
Lavarse las manos	1.5	30	45
Afeitarse	1	10	10
Público	8	30	240
Riego plantas	2	5	10
Beber	1.5	10	15
Otros	2	10	20

Tabla 9- Consumos basico umbral

Fuente: Agencia de Ecología Urbana de Barcelona

En sistemas urbanos complejos donde existan distintas tipologías edificatorias, la demanda media será obtenida mediante ponderación de las diferentes partes del conjunto, utilizando la siguiente expresión matemática:

$$D_m = \sum Ap_i \times W_i$$

Donde:

D_m : demanda media ponderada.

Ap_i : parte proporcional de la población en la tipología edificatoria dada.

W_i : demanda específica correspondiente a la tipología edificatoria dada.

La demanda de agua no potable D_{NP} se obtiene como el promedio ponderado de los consumos por sectores o tipologías edificatorias, resultando en la expresión matemática:

$$D_{NP} = \sum Ap_i \times Wp_i$$

Donde, Ap_i es la parte proporcional de la población en cualquier sector o tipología edificatoria y Wp_i es la demanda de agua no potable en ese sector.

3.5.1. Estimación de la demanda umbral bruta

Al consumo obtenido habría que añadir las pérdidas en la red, considerando por separado las pérdidas en la red de distribución (baja) y las pérdidas en la conducción (alta) desde la fuente hasta la red en baja.

En algunas ciudades del mundo, como Berlín, por ejemplo, las pérdidas en baja, es decir, en la red de distribución, se han reducido a 8%, en tanto que ciudades como Barcelona, alcanzan valores superiores a 12%. Las pérdidas en la conducción dependerán, en cualquier caso de la longitud de la conducción, el tipo de conducto que se utilice y su estado de conservación y otros.

Se adopta como criterio referencial el 10% de pérdidas en las redes internas de distribución y entre un 0,2% y un 0,5% / km de conducción en conductos cerrados en alta. Con lo anterior, la demanda bruta total en fuente o demanda en alta D_B sería:

$$D_B = D_m (1,1 + 0,002l)$$

3.5.2. Aplicación de las tasas obtenidas a núcleos urbanos antiguos

En los núcleos antiguos, generalmente compactos, resulta muy difícil, aplicar medidas de ahorro en todos los destinos urbanos, ya que implica la remodelación de las redes de distribución, lo que puede entrar en conflicto con la existencia de valores del patrimonio histórico y cultural o estructuras arquitectónicas no compatibles, además del alto coste que su instalación representaría. Un enfoque realista tendría que considerar criterios de aplicación razonables teniendo en cuenta las limitaciones citadas anteriormente, pudiéndose destacar:

- Redes separativas de distribución de agua de calidades diferentes: estarían limitadas a los viales donde las cañerías puedan ser soterradas bajo aceras o separadores de calzadas con condiciones para ello y tendrían ramificaciones limitadas que no alcanzarían la totalidad de espacios habitados;
- Redes separativas domesticas: estarían limitadas a los edificios donde la colocación de las mismas sea posible y, en algunos casos, no podrían colocarse en todas las viviendas de un mismo edificio por motivos arquitectónicos o del estado técnico del mismo. El aprovechamiento de pluviales estaría sujeto a las mismas limitaciones;
- En el sector comercial habrían limitaciones idénticas a las anteriores;
- El consumo público pudiera ser el mejor abastecido dado que, en cualquier caso, los camiones cisterna podrían acceder siempre a algún hidrante cercano al lugar de utilización del agua.

A la falta de elementos más precisos, se proponen los criterios de ponderación que se ofrecen en la tabla siguiente y que surgen de una estimación visual de núcleos urbanos existentes con una población total de media a baja.

Evidentemente, los criterios anteriores afectan la reutilización de las aguas regeneradas, pero no entran en conflicto con la aplicación de las tasas de demanda estudiadas referidas a los puntos de suministro intra – domiciliarios, los que habría que incrementar en las pérdidas atribuibles a las redes de distribución en los mismos edificios, a causa de su antigüedad y dificultades para repararlas o renovarlas.

En sentido general creemos que la tasa umbral de consumo, en núcleos urbanos antiguos “ D_{ma} ” donde la remodelación de las redes no sea viable equivale a la tasa de consumo umbral “ D_m ” de la tipología edificatoria plurifamiliar semiintensiva (pfsi), incrementada en las pérdidas “ Pe ” en

redes domiciliarias y de distribución, las que pueden variar entre el 10 y el 20 % de la demanda neta, resultando así que, para núcleos antiguos de las características indicadas la tasa de demanda sería de:

$$D_{ma} = 118 + P_e$$

$$1,1 D_m < D_{ma} < 1,2 D_m$$

3.6. Potencial de las fuentes no convencionales

La estimación del potencial de suministro de las fuentes urbanas no convencionales es fundamental para el desarrollo de modelos de gestión sostenible del ciclo hidrológico urbano. En este trabajo se han considerado como fuentes urbanas no convencionales, las precipitaciones atmosféricas y las aguas residuales, dentro de una sub clasificación que aparece en el apartado 3.3.

3.6.1. Pluviales

La estimación de la cuantía de aguas pluviales aprovechables es un problema muy complejo que depende de variables tales como:

- La pluviosidad del lugar en estudio;
- Acondicionamiento de la cubierta para la captación de lluvia;
- Intensidad y frecuencia de las precipitaciones;
- Densidad edificatoria;
- Superficie techada por persona.

La cubierta tendrá que tener una inclinación de 0,2% a 0,5% aproximadamente entre el punto más alejado y el lugar de descarga. Adoptamos 1mm/min, como la intensidad de lluvia que pueda ser captada sin desbordamiento. Eso dividido por 60 segundos llegaríamos a un valor aproximadamente de 0,02l/s/m². La resultante, sería la capacidad del punto de descarga del agua pluvial.

El punto de descarga, que también se puede llamar imbornal, deberá situarse en uno de los ángulos extremos de la cubierta, siendo que la inclinación debería estar en esa dirección. Ahí, se podría accionar un dispositivo de bloqueo y desbloqueo durante los primeros 4 mm de precipitación. Esta agua sería destinada al lavado de la cubierta del edificio, antes de empezar la captación del agua, reduciendo así la contaminación del agua pluvial colectada en la cubierta.

3.6.1.1. Estimación de la lluvia posible de ser captada

La cuantía de aguas pluviales que puede regularse en un sistema urbano, por cada persona, dependerá de la superficie de captación y de la cantidad de lluvia útil o aprovechable. La superficie de captación media (S_m) es el coeficiente de dividir la superficie cubierta total (S) del sistema urbano, el edificio o el conjunto de edificios, sobre la cantidad de personas (N_p) que viven bajo esa superficie cubierta, de modo tal que:

$$S_m = S / N_p$$

La cantidad de lluvia aprovechables (p) en cubiertas de edificaciones (M. García, 2007 y 2010) es del orden del 70% de la lluvia media anual (P), después de descontar los excesos durante eventos de gran intensidad y duración y las precipitaciones inferiores a 4 mm, destinadas al lavado de la superficie de captación, resultando finalmente que la cantidad de pluvial que puede regularse estaría expresada en la siguiente fórmula:

$$p = 0,7 S_m P$$

Técnicamente un sistema de captación del agua pluvial en la cubierta de una vivienda está compuesto principalmente de:

- Superficie de captación (impermeable);

- Sistema de conducción con rejillas y filtros para evitar que hojas u otros restos sean acarreados hasta el depósito de almacenamiento o aljibe;
- Aljibe para almacenar el agua;
- Un sistema de transporte y bombeo para conducir el agua hacia los puntos donde sea requerida;
- Un sistema de tratamiento a fin de adecuar el agua captada a las exigencias del consumo al que se destina.

3.6.2. Nieblas

Es una forma de precipitación atmosférica diferente de la lluvia que consistente en la formación de nubes muy bajas, a nivel del suelo y formadas por partículas de agua muy pequeñas en suspensión. La mayor parte de las nieblas se producen al evaporarse la humedad del suelo, lo que provoca el ascenso de aire húmedo que al enfriarse se condensa dando lugar a la formación de estas nubes bajas.



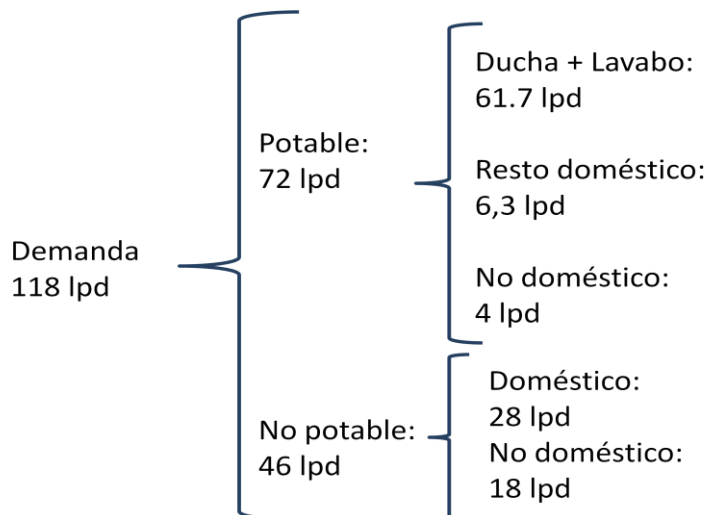
Ilustración 11: Atrapanieblas
Fuente: Plataforma Arquitectura

En algunos lugares de España, con clima semiárido y nieblas frecuentes, esta fuente puede suplir algunas cantidades de agua, especialmente para el regadío de la agricultura periurbana y también en muros verdes adosados.

Los interceptores de niebla, en dependencia de su estructura y posibilidades de orientación, pueden condensar hasta el 90 % de la humedad de la nube interceptada, no obstante, su uso presenta muchos inconvenientes en el ámbito urbano, siendo, unos de carácter estético y otros relacionados con la eventualidad del fenómeno.

3.6.3. Grises

Del suministro del agua (S), el 90% aproximadamente se convierte en agua residual. Las proporciones de los consumos por destinos internos respecto a la demanda estimada para un sistema urbano con tipología arquitectónica semiintensiva, serían las siguientes:



A partir de estas proporciones pueden elaborarse dos modelos de reutilización de grises, que denominamos G1 y G2. En el primero se aprovechan sólo las aguas procedentes de la ducha y el lavamanos, destinando el resto de grises, más contaminadas, al transporte de sólidos en los conductos colectores. En el segundo modelo se incluyen todas las aguas grises domésticas, en cuyo caso, el

transporte de sólidos se realizaría sólo a expensas del agua de descarga de la cisterna del váter. La disponibilidad de agua a regenerar, por este concepto, sería:

$$\begin{array}{ll} G1 = 90 \% \text{ de } 61,7 = 55,5 \text{ lpd} & G2 = 90 \% \text{ de } 61,7 + 6,3 = 61,2 \\ G1 = 55,5 / 118 \text{ d} & G2 = 61,2 / 118 \text{ d} \\ G1 = 0,47 \text{ d (demanda)} & G2 = 0,52 \text{ d (demanda)} \end{array}$$

Estas fórmulas podrían variar ligeramente respecto a la tipología arquitectónica intensiva, pero las desviaciones, que no llegan a ser significativas, ofrecen resultados ligeramente más conservadores.

El modelo G1 presenta importantes ventajas sobre el modelo G2, entre otras, una aportación adicional a la de la cisterna del váter para el transporte de sólidos y requerimientos más sencillos para el tratamiento de regeneración.

3.6.4. Negras

Aguas negras urbanas de sistemas unitarios: se denomina de este modo al agua residual captada mediante un sistema unitario de saneamiento de un conjunto urbano, donde se mezclan las aguas residuales domésticas con aquellas procedentes de la limpieza del ámbito público y los pluviales contaminados por el lavado de calles y cubiertas durante su flujo hacia el sistema sanitario de evacuación. Estas aguas eventualmente pueden ser utilizadas para algunos usos, entre otros, el regadío o el enfriamiento en las industrias, después de un tratamiento terciario, generalmente costoso, y donde se liberen sustancias nocivas remanentes del proceso de tratamiento secundario de las EDAR.

Definimos como aguas negras de sistemas separativos, las que proceden de la descarga del váter, de la cocina de los hogares o emplazamientos comerciales, de la limpieza del ámbito público, de los hospitales o de otros emisores, excluyendo la escorrentía del ámbito público. Su regeneración no es recomendable.

La estimación de la disponibilidad de aguas negras para su reutilización es compleja, dado que incluye las aguas pluviales de escorrentía urbana, de carácter eventual. Si restringimos la estimación a la proporción de agua potable convertida en aguas negras, obtendríamos, como en el caso de las grises, dos modelos N1 y N2, representados por las siguientes fórmulas:

$$\begin{array}{ll} N1: 90 \% (\text{No Pot.} + \text{No Dom.} + \text{Resto Dom.}) / 118 \text{ d} & N2 = 90 \% (\text{No Pot.} + \text{No. Dom.}) / 118 \text{ d} \\ N1 = 0,43 \text{ d (demanda)} & N2 = 0,38 \text{ d (demanda)} \end{array}$$

3.6.5. Regeneración y reutilización de aguas no convencionales

La conciencia social adquirida en los últimos decenios respecto a la necesidad de hacer un uso racional del agua teniendo en cuenta que se trata de un bien común escaso y altamente vulnerable, así como las amenazas procedentes del cambio climático, han modificado el enfoque general respecto al carácter de las aguas residuales, pasando del concepto antiguo de “desecho” a un concepto más racional, como “recurso”.

El objetivo ya no consiste sólo en conseguir un agua más o menos depurada que pueda devolverse a la naturaleza sin grandes riesgos para la salud humana y el medio ambiente, sino en aprovechar esas aguas para otros usos de modo directo, es decir, hacerlas aptas para la reutilización. Este cambio de enfoque se origina en el déficit hídrico que amenaza a muchas zonas del globo, incluida España. La degradación de los cauces naturales, la fragmentación de ecosistemas, otras de índole económica y ética que se resume en la aplicación de la Directiva Marco 91/271/CEE⁴, ha impulsado la depuración de las aguas residuales generadas, permitiendo disponer de grandes volúmenes de agua regenerada cerca de los puntos de consumo.

⁴ La Directiva 91/271/CEE, modificada por la Directiva 98/15/CE, define los sistemas de recogida, tratamiento y vertido de las aguas residuales urbanas. Esta Directiva ha sido transpuesta a la normativa española por el R.D. Ley 11/1995, el R.D. 509/1996, que lo desarrolla, y el R.D. 2116/1998 que modifica el anterior.

Definimos, por tanto, como REGENERACION “R” a un proceso de tratamiento mediante el cual un agua, que durante su aprovechamiento ha adquirido una calidad “C1”, inadecuada para su aprovechamiento por parte de un usuario potencial “U”, dado, pasa a una calidad “C2” que cumple los requerimientos mínimos de dicho usuario, de modo tal que:

$$C1 \rightarrow R \rightarrow C2$$

3.6.6. Aprovechamiento de las aguas regeneradas

La eficiencia relacionada con el ciclo del agua, está sujeta básicamente a dos grandes aspectos al nivel urbano:

- La optimización de la demanda de las aguas domésticas, públicas y comerciales. Eso se daría a partir de la aplicación de medidas de ahorro en hogares con una adecuada cultura de consumo apoyada en tecnologías punta que promueva la reducción de pérdidas evitables;
- Sustitución de parte de la demanda hídrica urbana por aguas no potables procedentes del aprovechamiento de aguas pluviales, residuales, subterráneas y otras posibles fuentes vinculadas al entorno urbano.

3.6.6.1. Esquemas de gestión

El estudio de los esquemas de gestión urbana de las aguas regeneradas parte del principio del ahorro de aguas potables, sustituyendo suministros donde se admite agua de una calidad inferior y más barata. Siendo así, fueron consideradas tres modelos, con variantes, en dependencia del destino que se asigne a las aguas marginales regeneradas.

- 1) Aprovechamiento en edificaciones aisladas (E1);
- 2) Aprovechamiento centralizado intraurbano (E2);
- 3) Aprovechamiento centralizado extraurbano (E3).

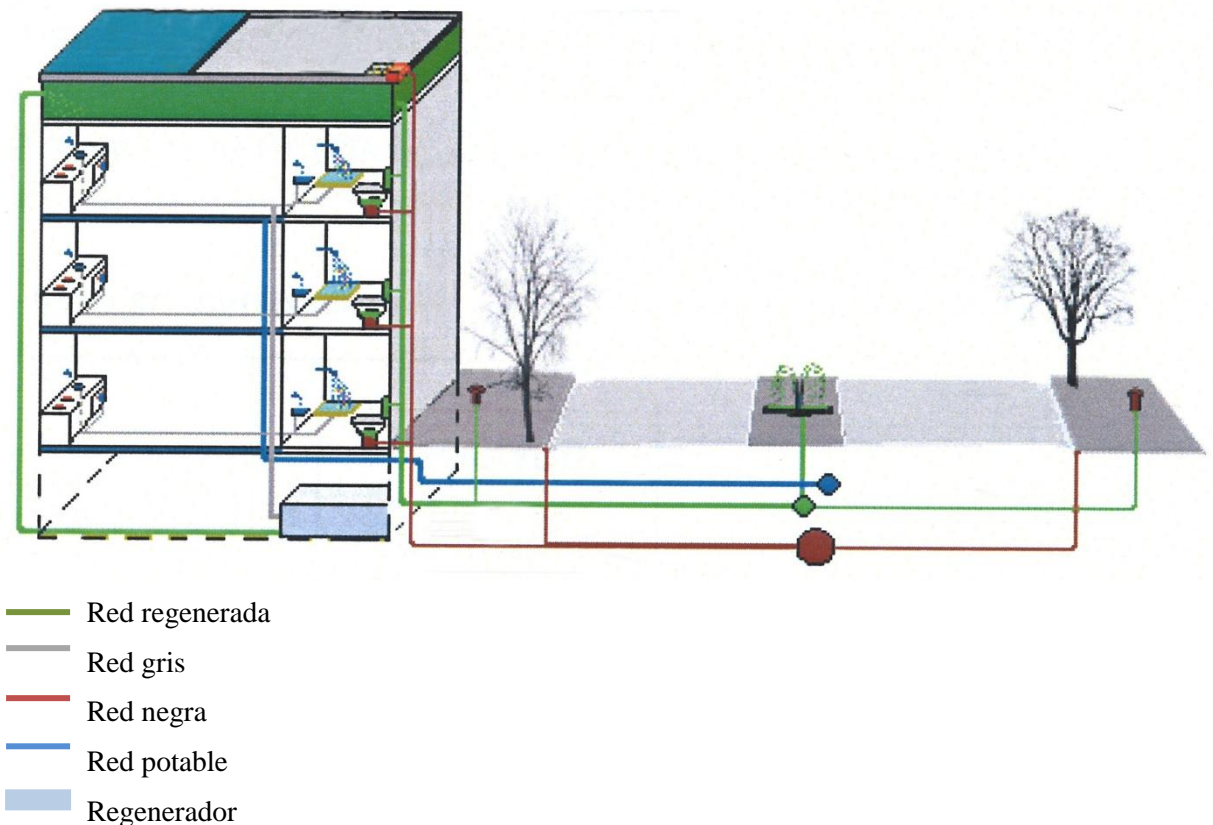
Esquema E1

El primer criterio a considerar sería el grado de satisfacción de la demanda de agua no potable que puede alcanzarse mediante las precipitaciones captadas en las cubiertas de las edificaciones. Este criterio tendría en cuenta la superficie de cubierta por persona y la pluviosidad del enclave geográfico donde se localiza la edificación o conjunto urbano. La cantidad de lluvia que puede captarse en un edificio o conjunto urbano, está determinada por la fórmula ($p = 0,7 S_m P$) ya definida anteriormente en el apartado 3.4.1.6.

El valor de “ p ”, puede ser variable, es decir, mayor, menor o igual a la demanda de agua (d) no potable del caso en estudio. Siendo así que, siempre que $p \geq d$, la demanda de agua no potable sería suplida a gravedad desde un regulador de pluviales bajo cubiertas (aljibes) y siempre que la configuración arquitectónica lo permita. Cuando $p < d$, sería necesaria una complementación (c) desde otra fuente de suministro que dependerá de la magnitud de la diferencia $c = d - p$, o déficit.

El valor de “ c ” es un caudal cuya magnitud varía desde “ d ”, (cuando no se aprovecha la lluvia), hasta *ceros*, cuando la lluvia puede suplir totalmente la demanda. La complementación “ c ” es, en consecuencia, un caudal que generalmente deberá elevarse hasta el regulador bajo cubierta, consumiendo energía. De acuerdo con las consideraciones citadas, las edificaciones fueron divididas en tres categorías dependiendo de la complementación requerida.

- Edificaciones con captación pluvial suficiente, cuando la complementación “ c ” es menor que el 30% de la demanda de agua no potable;
- Edificaciones con captación pluvial insuficiente, cuando la complementación “ c ” está entre el 31% y el 70% de la demanda de agua no potable;
- Edificaciones con captación pluvial deficiente, cuando la complementación “ c ” es mayor que el 71% de la demanda de agua no potable.



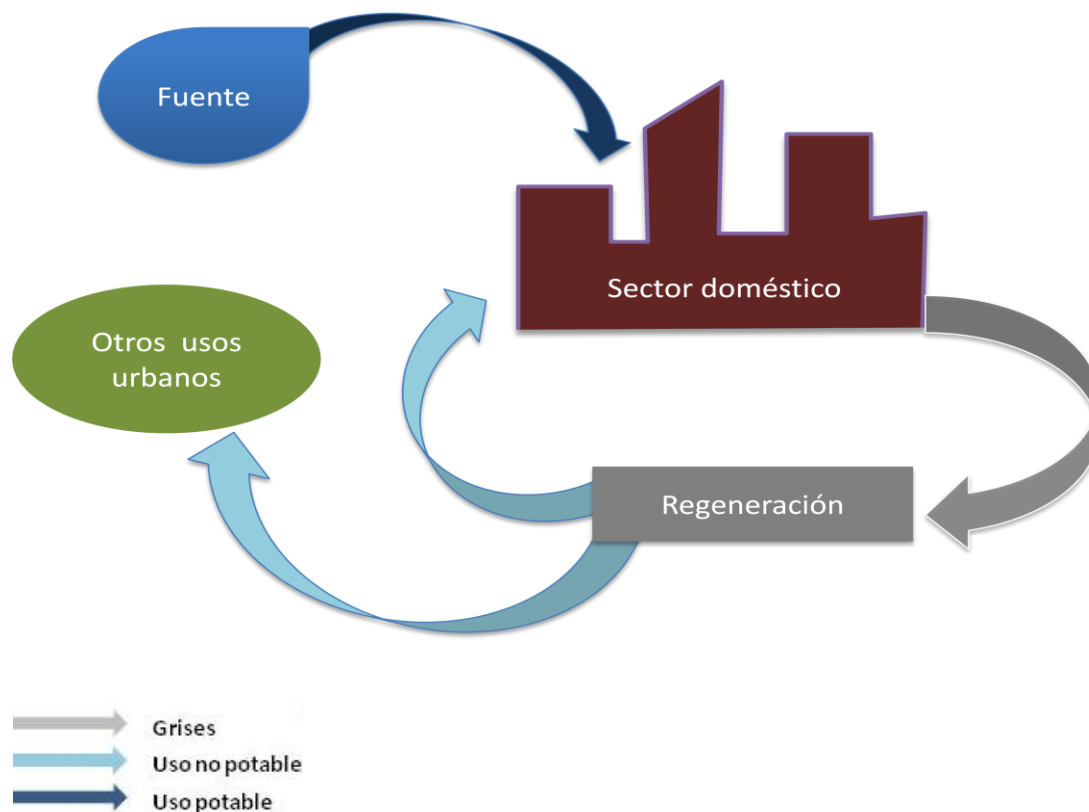
Esquema 1 - Aprovechamiento en edificaciones localizadas
 Fuente: elaboración propia

Esquema E2

Este esquema se distingue poco del anterior en cuanto a los criterios limitantes para el aprovechamiento de las aguas regeneradas en edificaciones aisladas. Las principales diferencias son:

- Regeneración centralizada de las aguas marginales involucrando un conjunto de edificaciones, manzanas o barrios;
- Incorporación de usuarios ajenos a las edificaciones.

En este caso la recolección masiva de las aguas marginales disponibles en un barrio, manzana o conjunto de edificios, se realiza en una planta única para su posterior redistribución, incluyendo tanto el consumo doméstico como otros usos, principalmente, el riego urbano, la limpieza del ámbito público y otros suministros que admitan agua de la calidad obtenida.



Esquema 2 - Aprovechamiento centralizado intraurbano
Fuente: elaboración propia

La recolección de las aguas se realizará mediante una red separativa que las conduce hasta una o varias cisternas, en dependencia de los caudales disponibles, para su tratamiento posterior en una estación de regeneración de aguas marginales.

Dependiendo de la topografía de la ciudad o la existencia de demandas intraurbanas proporcionadas, pueden considerarse dos variantes:

a) Reutilización centralizada localizada:

Todos los edificios del conjunto considerado, estarían conectados a una red separativa de evacuación de aguas pluviales y grises que serían colectadas y conducidas hasta una planta de tratamiento. Las redes separativas de suministro corresponderían a un análisis puntual de cada edificación, de acuerdo con algunos criterios:

- Edificaciones con captación pluvial suficiente, donde una red de suministro de agua no potable (pluviales) sería proyectada a gravedad, a partir de un colector de pluviales bajo cubierta, con una solución para desviar los excedentes a la red colectora separativa de las aguas de fácil reutilización durante eventos extraordinarios de lluvia;
- Edificaciones con captación pluvial insuficiente o deficiente, donde se evaluará el consumo de energía necesario para suplir el déficit pluvial de agua no potable.

En los casos en que el suministro de agua no potable no sea recomendable, se proyectarán sólo redes separativas de evacuación, manteniendo el suministro unitario de agua potable para todos los usos.

b) Reutilización centralizada externa:

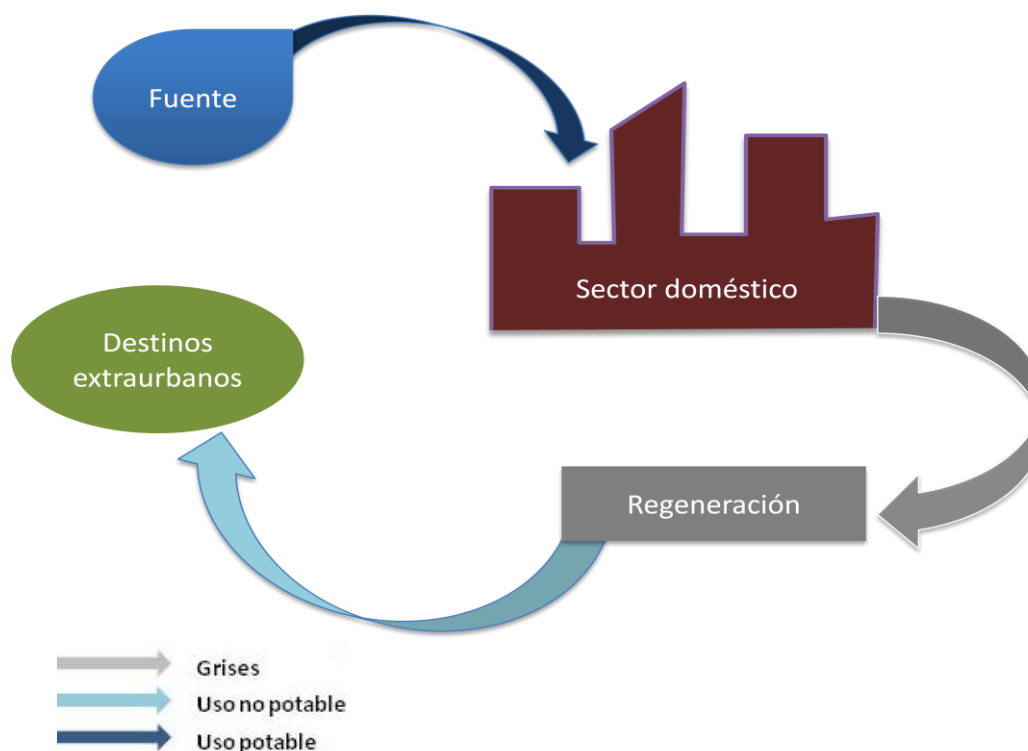
Esta variante se distingue de la anterior en que las aguas regeneradas se utilizan fuera de su ámbito de generación. En este caso, el análisis de factibilidad tendría que ser hecho respecto a los objetivos suministrados. El modelo se aplica a sistemas urbanos en terrenos con diferencias topográficas importantes, donde es posible colectar las aguas de fácil reutilización de un conjunto, almacenarlas en cisternas, tratarlas y utilizarlas a gravedad en otro conjunto ubicado en una cota

inferior. También puede aplicarse a otros consumidores urbanos tales como zonas industriales o regadíos.

Esquema 3

Este esquema puede resultar la más económico, con menos consumo de energía y máximo aprovechamiento de las aguas marginales urbanas. En este caso:

- Las aguas son usadas fuera del ámbito donde se regeneran, es decir, no se requieren redes de suministro separativas;
- Los elementos constituyentes del sistema pueden situarse de modo tal que el flujo del agua sea dado por gravedad;
- Los requerimientos de calidad y sanitarios pueden reducir los costes de tratamiento adecuándolos al consumo, ya que, en este caso, no se prevé contacto humano directo con el agua regenerada.



Esquema 3 - Múltiples usos de las aguas no convencionales
Fuente: elaboración propia

Este esquema permite la reutilización de las aguas marginales urbanas sustituyendo el suministro o parte del suministro a usuarios extraurbanos, procedentes de las mismas fuentes o de fuentes distintas. En cualquiera de los casos, se libera agua generalmente prepotable de las fuentes convencionales de suministro que pueda incorporarse al suministro urbano, si existieren déficits, o considerarse como disponibilidad de reserva.

El suministro extraurbano podría dirigirse a varios destinos, que podemos distinguir en dos variantes:

- Suministros de huertos periurbanos;
- Suministros vinculados al metabolismo urbano.

En ese trabajo no se desarrollarán los esquemas de gestión, dado que su objetivo consiste en la identificación, clasificación y evaluación de las variables que intervienen en dichos esquemas.

4. TECNOLOGIA ASOCIADA

En este capítulo resumimos algunas tecnologías relacionadas con los objetivos de este trabajo, agrupadas en cuatro categorías, a saber:

- Medios destinados al ahorro de agua;
- Equipos y sistemas destinados al tratamiento de agua para consumo humano;
- Equipos y sistemas destinados a la depuración;
- Equipos y sistemas de regeneración de aguas residuales y marginales.

En este apartado tratamos de identificar y clasificar medidas que reducen la cantidad de agua requerida a través de aparatos ahorradores y sistemas de tratamiento del agua. Eso se traduce en un uso más eficiente, disponiendo de dispositivos que posibilitarían la reducción de la demanda.

4.1. Ahorro de agua

4.1.1. Ahorradores de agua

El uso de dispositivos ahorradores de agua es un hábito importante que podrían configurar reducciones expresivas en la demanda de agua. Si tenemos como referencial aparatos convencionales, sin ningún tipo de sistema ahorrador incorporado, y pasamos a utilizar accesorios diseñado con este propósito podríamos llegar a ahorros significativos.

Teniendo en consideración que el inodoro es el sanitario que más agua consume en la vida cotidiana o a nivel doméstico (representando aproximadamente el 35%), siendo el más utilizado en hoteles, residencias y en casi cualquier entorno residencial, aunque por el valor del consumo energético, estén todos los demás por delante de éste. Su descarga media (estadística), suele estar en los 9- 10 litros.

Generalmente los inodoros no disponen de elementos para seleccionar el tipo de descarga, es decir, es igual tanto para retirar sólidos, como para retirar líquidos, lo que lo hace ineficiente, ya que para retirada de líquidos solo necesitaría un 20 o 25% del agua contenida en el tanque. En esas circunstancias, un mecanismo que permitiera seleccionar la retirada de sólidos o líquidos en función de la utilización, permitiría un ahorro entre 60 y 70% del contenido del tanque de descarga.

4.1.2. Especificaciones de aparatos ahorradores

La Grifería Ecológica:



No sólo economiza agua y ayuda al mantenimiento sostenible de nuestra sociedad, también le puede brindar beneficios de por vida, gracias a la disminución del gasto de agua y energía, amortizándose con los beneficios de los ahorros generados.

Imagínese una grifería que pueda ofrecerle hasta un 65% de ahorro, sin merma del confort, ni la calidad del servicio ofrecido, RST-TEHSA se lo garantizan.

Esto se logra, gracias a su cartucho ecológico de apertura en frío y de dos etapas, logrando un desvío de consumos de agua caliente a fría, superior al 30%, lo que junto al montaje del Perlizador Long Life, de RST-TEHSA, hace que seamos capaces de producir un ahorro garantizado superior al 60%, pudiendo llegar en algunos casos hasta el 75% de reducción de consumo en comparación con otras griferías. (SYSTEMS)

Los Perlizadores:

Los Perlizadores de **RST**, son unos elementos dispersores que mezclan aire con agua, apoyándose en la presión, reduciendo en más del 50% el consumo de agua y, por consiguiente, también la energía necesaria para calentarla. Sin pérdida de confort, que por el contrario, aumenta por la sensación de hidromasaje ofrecido.

Anti-cal y anti-bloqueo. (SYSTEMS)

Eyector Perlizador Giratorio de RST:

Economiza más del **40%** de agua, permitiendo dirigir cómodamente su chorro normal o de ducha a cualquier parte del fregadero. Ideal para el aclarado de la vajilla, lavado de verduras, ensaladas, etc. Comodidad y economía en un sólo equipo ecológico y de ahorro. Válido para casi todos los grifos. Su nombre es RST-1800. (SYSTEMS)

Los WC-Stop de RST:

Son contrapesos de acero inoxidable con unos muelles que se fijan a los tubos de descarga de los mecanismos tradicionales, para rearmar el mecanismo, y posibilitar la descarga de sólo el agua que deseamos, y en función del tipo de uso realizado. Si discriminamos entre micciones y deposiciones, podremos conseguir ahorros de más del **60%** del agua que habitualmente consumimos. Si tiramos y soltamos, descargaremos 2-3 litros de agua, (más que suficiente para evacuar líquidos). Si sujetamos durante unos segundos al tirar, descargaremos el 100% del contenido de la cisterna. (SYSTEMS)

Reductores Volumétricos de caudal:

Estos equipos posibilitan ahorrar agua y energía, sin cambiar el mango de la ducha. Mantienen el confort y calidad de la ducha a la que se le aplica, aunque con menos agua, ahorrando de un 35% a un 60% en función del modelo elegido y la presión del agua. (SYSTEMS)

Duchas "Novolence":

Ducha de hidro-masaje, con sistema anti-cal: se puede ahorrar más del 40% del agua y de la energía que consume habitualmente. Además aumentará el confort de los suyos, ofreciendo una agradable ducha de hidromasaje, revitalizante y tonificante. (SYSTEMS)

Interruptores de caudal RST:

En griferías de doble mando, el Interruptor de Caudal, le permite a Ud. cortar el chorro de agua mientras se enjabona, o lava el pelo, manteniendo la temperatura del agua, sin tener que volver a tocar el mando para regularla. Ideal para duchar a los peques, más sensibles con la temperatura. (SYSTEMS)

4.1.3. Potencial de ahorro de agua

Actualmente, los sistemas de descarga empotrados, que por norma general acompañan a lozas de alta eficacia, son más utilizados, ya que suelen consumir como mucho 6 litros de agua por descarga. Casi la totalidad de los fabricantes que ofrecen cisternas o tanques empotrados, ofrecen en estos, la opción de mecanismos con doble pulsador, algo altamente recomendable, pues cada día se suele ir una media de 5 veces al WC, de las cuales 4 son por micciones y 1 por deposición. Por lo que ahorrar agua es fácil siempre que se pueda discriminar la descarga a realizar, ya que para retirar líquidos se necesita solamente unos 2-3 litros, y el tanque retirar sólidos. En resumen, con la posibilidad de utilizar la selección del tipo de descarga a realizar, si ésta se utiliza adecuadamente, el consumo bajará en torno de 30 %, respecto a un inodoro con sólo descargas completas.

La tabla siguiente es un ejemplo a nivel estadístico de una persona en consumo diario.

Tipo de cisterna	Usos al día	Capacidad (litros)	Agua consumida (lpd)
Tradicional	5	9	45
Doble pulsador Micciones	4	4,5	18
Doble pulsador Deposición	1	9	9
Total	5		27
Ahorro	18 litros/persona/día		40%

Tabla 7 - Consumo de agua en el inodoro persona /día.

Fuente: Guía práctica para el ahorro de agua y la energía derivada de su utilización

Actualmente si pueden instalar dispositivos en las duchas que aumenten su rendimiento, reduciendo el consumo. Las tecnologías existentes permiten acelerar el agua y crear turbulencias sin aportación de aire en cabezales de ducha, que mejoran el confort al generar una sensación de hidromasaje por turbulencias, consumiendo mucha menos agua que con los sistemas tradicionales de masaje por cantidad y presión de agua, economizando hasta el 65 % del agua que actualmente consumen algunos equipos, sin pérdida ni detrimento del servicio.

En el caso de los grifos, estos suelen llevar un filtro para evitar las salpicaduras (rompe aguas o aireadores), disponiendo de tecnologías punteras como los Perlizadores⁵, que reducen el consumo de agua un mínimo del 50 % en comparación con los equipos tradicionales y aportan ventajas, como una

⁵ Perlizadores son unos elementos dispersores que mezclan aire con agua apoyándose en la presión, reduciendo de este modo el consumo de agua y, por consiguiente, también la energía necesaria para obtener el agua caliente. Están basados en el “Efecto Venturi”, que a grandes rasgos es la aspiración que se produce por la aceleración del agua, al pasar por un estrechamiento; es algo parecido, al “rebufo” que produce un vehículo al pasar a gran velocidad, absorbiendo y generando una estela tras de él.

Y la palabra Perlizador viene del brillo y efecto del agua y las burbujas que se obtienen de este efecto, consiguiendo insuflar aire en su interior y aparentando haber mucha más agua que la que realmente hay. A mayor presión, mayor porcentaje de aire insuflado en el agua y mayor ahorro.

La firma RST, certifica que con 2.5 Kg. de presión, se garantiza un ahorro de entre un 40% y un 60% y, si ésta es de más de 3 Kg. el ahorro puede llegar a ser de un 70% incluso más. Baja el consumo, pero no el confort, que además es aumentado, siendo un chorro más agradable y eficaz con el jabón. (Moya, 2007)

mayor eficacia con los jabones, por su chorro burbujeante y vigoroso, a la vez que son anti-calcáreos y anti-bloqueo, pudiendo ser sustituidos en cualquier grifería existente. Ofreciendo un arco de ahorro de entre el 40 y 75 % en función de la presión (a mayor presión mayor ahorro). Un estudio realizado en la Gran Bretaña comprobó que la instalación de dispositivos limitantes en los grifos dio como resultado un ahorro del 52% en el lavado de manos, y un periodo de recuperación de la inversión de menos de un año. (Howarth, 2002)

La tabla siguiente nos permite tener en consideración el porcentaje o litros que se puede ahorrar con la utilización de sistemas de ahorro.

Sistemas de ahorro	Ahorro en porcentaje (%)	Ahorro en litros (l/min)
Grifos		
Filtro VM 140	50%	5
Filtro VM 141	50%	5
Filtro VM 150	50%	7
Filtro VM 152	10%	16
Filtro VM 140	50%	7
Regulador VM LTC1	30%	10
Regulador VM LTC2	30%	10
Regulador de agua VM JR	30%	10
Duchas		
Eco Ducha VM 01	30%	9
Eco Ducha Tubo VM 02	30%	12
Ducha VM 03	30%	12
Eco Ducha VM 04	50%	12
Eco Ducha VM 05	50%	12
Ducha VM 06	50%	9
Ducha VM 07	60%	9
Ducha VM 08	30%	9
Ducha VM 09	30%	9
Cisternas		
ECO Reductor	35%	

Tabla 8 - Tecnologías de ahorro de agua
Fuente: Sistema de ahorro de agua

4.2. Tratamiento de agua potable

4.2.1. Sistemas tradicionales

El tratamiento del agua potable se compone de:

Pretratamiento: eliminación de gruesos y material grueso

Tratamiento primario: procesos basados en la eliminación de materia contaminante mediante procesos físicos

Tratamiento secundario: procesos destinados a la eliminación de materia orgánica disuelta que no ha podido ser eliminada en los procesos previos (normalmente se basa en procesos de digestión biológica y una posterior sedimentación)

Tratamiento terciario: se basa en procesos físicos y/o químicos que permiten clarificar y desinfectar el agua a fin de cumplir con las exigencias higienicosanitarias pertinentes por la legislación vigente

Los tratamientos previos al terciario serán tratados de manera amplia en el apartado referente a aguas residuales. Nos centraremos en aquellos previos a la obtención de un agua final potable.

Tratamientos terciarios

Filtración

Es un proceso en que el líquido que contiene materias en suspensión pasa a través de un medio poroso o filtro, que permite el paso del líquido pero no de las partículas sólidas, que se quedan retenidas en el mismo. Es decir, las partículas que no han sedimentado en el decantador son retenidas en los filtros en función del tamaño de la partícula y del tamaño del poro de filtro. (Carmen Orozoco Barrenetxea, 2005)

Cloración



Ilustración 12 - Cloración

Fuente: Fotos tomadas de un video de la planta de tratamiento de aguas residuales de Jalisco, México

Es el procedimiento de desinfección de aguas mediante el empleo de cloro o compuestos clorados. Se puede emplear gas cloro, pero normalmente se emplea hipoclorito de sodio (lejía) por su mayor facilidad de almacenamiento y dosificación. En algunos casos se emplean otros compuestos clorados, como dióxido de cloro, hipoclorito de calcio o ácido cloroisocianúrico. La dosis empleada se determina por ensayos, y debe cubrir la demanda de cloro y a un residual para evitar posteriores reinfecciones del agua en los circuitos.

Ozonización

El ozono es un gas muy inestable, ya que la molécula está compuesta por tres átomos de oxígeno. Es precisamente esta inestabilidad lo que le confiere una gran capacidad de oxidación. Al oxidar todas las sustancias orgánicas, el ozono inactiva los pesticidas y los organismos patógenos (virus y bacterias). El contacto del agua con el ozono (procedente de los generadores de ozono) se realiza en tanques con diversos compartimentos donde se insufla el aire ozonizado. Ese tratamiento reduce los olores, no genera sólidos disueltos adicionales, no es afectado por el pH y aumenta la oxigenación de los efluentes. Si el contenido en materia orgánica es elevado, se requieren dosis

comparativamente elevadas para obtener una buena desinfección. (Veolia Water Solutions & Technologies, 2006)

Dióxido de cloro

Se considera como una de las mejores alternativas a la cloración convencional. Es un oxidante efectivo que se emplea en aguas con fenoles y elimina los problemas de olores. Al mismo tiempo tiene el inconveniente que oxida un gran número de compuestos e iones, como hierro, manganeso, y nitritos. No reacciona con el amonio ni con el bromo. Se tiene que generar in situ debido a su inestabilidad y no genera subproductos en cantidad apreciable. Se considera un buen biocida y afecta también a las algas. (CYTED, 2003)

Radiación ultravioleta

El mecanismo de desinfección se basa en un fenómeno físico por el cual las ondas cortas de la radiación ultravioleta inciden sobre el material genético (ADN) de los microorganismos y los virus, y los destruye en corto tiempo, sin producir cambios físicos o químicos notables en el agua tratada. Se cree que la inactivación por luz ultravioleta se produce mediante la absorción directa de la energía ultravioleta por el microorganismo y una reacción fotoquímica intracelular resultante que cambia la estructura bioquímica de las moléculas (probablemente en las nucleoproteínas) que son esenciales para la supervivencia del microorganismo. Está demostrado que independientemente de la duración y la intensidad de la dosificación, si se suministra la misma energía total, se obtiene el mismo grado de desinfección. Es importante que el efluente a desinfectar tenga pocos sólidos en suspensión. Uno de los problemas más importantes de esta tecnología es el proceso de limpieza de las lámparas. (Rojas, 2002)

Microfiltración

Elimina los sólidos en suspensión de tamaño superior a 0,1 – 1,0 mm. Es efectiva eliminando los patógenos de gran tamaño como *Giardia sp.* y *Cryptosporidium sp.* Se suele emplear la ultrafiltración cuando la concentración de STD (Sólidos Totales Disueltos) no es problemática, ya que los poros de la membrana son comparativamente grandes como para filtrar partículas muy pequeñas. Más usualmente se emplea como pretratamiento de sistemas con las membranas más delicadas, como la osmosis inversa o la nanofiltración. (CYTED, 2003)

Ultrafiltración

Puede emplearse para eliminar esencialmente todas las partículas coloidales y alguno de los contaminantes disueltos más grandes (0,01 mm). Se utiliza la UF cuando deben eliminarse prácticamente todas las partículas coloidales (incluyendo la mayor parte de microorganismos patógenos). Estos sistemas, capaces de eliminar bacterias y virus se suelen utilizar como pretratamiento para sistemas de nanofiltración, hiperfiltración u osmosis inversa. Puesto que los coloides se eliminan, el agua tratada debe tener una turbidez prácticamente nula. (CYTED, 2003)

Nanofiltración

Es un proceso de filtración por membranas operadas bajo presión en la que solutos de bajo peso molecular son retenidos, pero las sales pasan, total o parcialmente, a través de la membrana con el filtrado. Esto provee un rango de selectividad entre las membranas de ultrafiltración y osmosis inversa, permitiendo simultáneamente concentración y desalado de solutos orgánicos. La membrana nanofiltración retiene solutos que en la ultrafiltración pasaría, y deja pasar sales que la osmosis inversa retendría. En algunas aplicaciones, su selectividad entre moléculas de tamaños similares es la clave del éxito del proceso de separación con membrana. Permitiendo un paso, prácticamente libre, de iones monovalentes, la membrana de nanofiltración reduce el incremento del gradiente de presión osmótica, a la que contribuyen las sales monovalentes. Como resultado, una mayor cantidad de producto (permeado) es posible. Las membranas de nanofiltración pueden ser membranas tubulares o espirales, hechas especialmente para la recuperación de cáusticos y ácidos. (ACS Medio Ambiente)

Ósmosis inversa

Es una tecnología de membrana en la cual la solvente (agua) es transferida a través de una membrana densa diseñada para retener sales y solutos de bajo peso molecular. La tecnología elimina prácticamente todas las sales y los solutos de bajo peso molecular. Se considera una eliminación prácticamente total de todas las sales disueltas y total de los sólidos en suspensión. Debido a esto, las membranas de la ósmosis inversa son la elección cuando se necesita agua muy pura o de bebida, especialmente si la fuente es agua salobre o agua de mar. (CYTED, 2003)

Electrodiálisis reversible



Ilustración 13 - Planta de servicio donde se utiliza la electrodiálisis reversible como método de desalación
Fuente: Grupo Aguas Valencia

De acuerdo con el Grupo de Aguas de Valencia, la electrodiálisis reversible es proceso consiste en la separación electroquímica en donde los iones son transferidos a través de membranas de una solución menos concentrada a otra de mayor concentración, como resultado de una corriente eléctrica continua. Es una versión de la electrodiálisis en la que se invierte la polaridad de los electrodos varias veces por hora, lo que induce un auto limpieza química. Esto permite la desalinización de fuentes de agua con recuperaciones muy elevadas del orden del 90%, con mínimo pre tratamiento y bajos costos de operación. El sistema está compuesto por dos membranas impermeables de intercambio iónico, que permiten de forma selectiva la transferencia de cationes y aniones. La electrodiálisis

inversa utiliza energía eléctrica directa en vez de energía de presión. El consumo energético es directamente proporcional a la cantidad de sales removidas, siendo la remoción máxima de sales por etapa del 40 - 50%. Sólo remueve partículas cargadas eléctricamente. En el caso de requerir productos químicos, no se añaden al fluido a desalar sino al circuito auxiliar de salmuera con lo que las cantidades a utilizar son siempre muy inferiores a las de otros sistemas. El costo de instalación suele ser mayor al de la ósmosis inversa y el de operación inferior para grandes plantas. (Grupo Aguas de Valencia)

Electrodesionización

La electrodesionización emplea corriente eléctrica continua como fuente de energía para la desalinización. Los iones en solución son atraídos hacia los electrodos con carga eléctrica opuesta. Dividiendo los espacios entre electrodos mediante membranas selectivas para cationes y aniones, lo que crea compartimentos, las sales pueden ser eliminadas de la mitad de los compartimentos y concentradas en los restantes. Una de las principales diferencias entre la electrodiálisis reversible y la electrodesionización es el contenido de los compartimentos de desalinización. Los de la electrodesionización se rellenan con resinas de intercambio iónico de lecho mezclado. (CYTED, 2003)

Filtración de arena

Es un sistema que se utiliza con frecuencia para la separación de los sólidos suspendidos en el agua. Consiste en una capa múltiple de arena con distintos tamaños. El sistema se puede manejar manualmente o de forma automática.

Filtros de anillas

En el filtro de anillas, el elemento filtrante está constituido por un cartucho de anillas ranuradas, que se aprietan unas con otras, dejando pasar el agua y reteniendo aquellas partículas cuyo tamaño sea mayor al de paso de las ranuras. En algunos modelos de anillas, el recorrido del agua a través de las ranuras es bastante sinuoso, lo que según sus fabricantes le da al filtrado ciertas características de "profundidad", similares a las de los filtros de arena.

Carbón activo

La adsorción con carbón activo consiste en retirar del agua las sustancias solubles mediante el filtrado a través de un lecho de este material, consiguiendo que los oligominerales pasen a través de los micros poros, separando y reteniendo en la superficie interna de los gránulos los compuestos más pesados. Este proceso retiene sustancias no polares como aceite mineral, cloro y derivados, sustancias generadoras de malos olores y gustos en el agua, levaduras, residuos de la fermentación de materia orgánica, microorganismos, herbicidas, pesticidas, etc. Todo sin alterar la composición original del agua y sin generar residuos contaminantes.

4.2.2. ETAP: Estación de Tratamiento de Agua Potable

La potabilización y/o regeneración de las aguas se caracteriza por disponer de un tratamiento terciario que dota de unas características higiénico-sanitarias que permiten su uso como agua de boca (potabilización) o para usos de agua no potable (regeneración).

Las ETAP a diferencia de las EDAR, son estaciones que se encargan de tratar el agua con el fin de hacerla apta para el consumo humano. Las aguas suelen ser captadas de una masa de agua natural en un punto superior de donde vierten sus aguas las EDAR, ya que las aguas vertidas por las depuradoras tienen aún una cierta contaminación.

La utilización de los distintos tipos de tratamiento de agua residuales tiene relación con el cumplimiento de normas específicas de calidad, antes de que estas aguas tratadas vuelvan a utilizarse o sean descargadas a un cuerpo de agua. El tratamiento terciario tiene como objetivo eliminar compuestos específicos que no hayan sido eliminados por los sistemas anteriores a este. Lo consideramos como la fase final de la potabilización del agua.

4.2.3. Sistemas no tradicionales

Cuando las aguas en origen tienen una calidad muy buena y el sistema urbano suministrado tiene una población pequeña, el tratamiento del agua puede consistir sólo en la desinfección, en cuyo caso se utilizan cloradores u ozonizadores que inyectan al gas directamente en los conductos.

Pueden incluirse en esta categoría algunos filtrados capaces de eliminar virus y bacterias, entre los que destaca la ósmosis inversa aplicada a la desalación de aguas marinas o procedentes de acuíferos con niveles de contaminación salina o de otro tipo susceptible de ser corregidos por este método. En estos casos es indispensable un filtrado previo para eliminar materias susceptibles de ser separadas por filtros convencionales y una desinfección final del agua ya descontaminada.

4.3. Tratamiento de aguas residuales

En líneas generales, los sistemas de tratamiento resultan de la combinación de procesos y operaciones en los que se pueden diferenciar distintos niveles para las aguas residuales, dependiendo de los objetivos que se quieren cumplir. El tipo de sistemas que se va a usar dependen de algunos factores como:

- Características del agua residual: DBO⁶, materia en suspensión, toxicidad, entre otros;

⁶ La Demanda Biológica de Oxígeno es una medida de oxígenos que usan los microorganismos para descomponer esta agua. Si hay una gran cantidad de desechos orgánicos en el suministro de agua, también habrá muchas bacterias presentes trabajando para descomponer este desecho. En este caso, la demanda de oxígeno será alta (debido a todas las bacterias) así que el nivel de la DBO será alto. Conforme el desecho es consumido o

- Calidad del efluente necesario para descarga;
- Costos y disponibilidad de terrenos;
- Tecnologías disponibles.

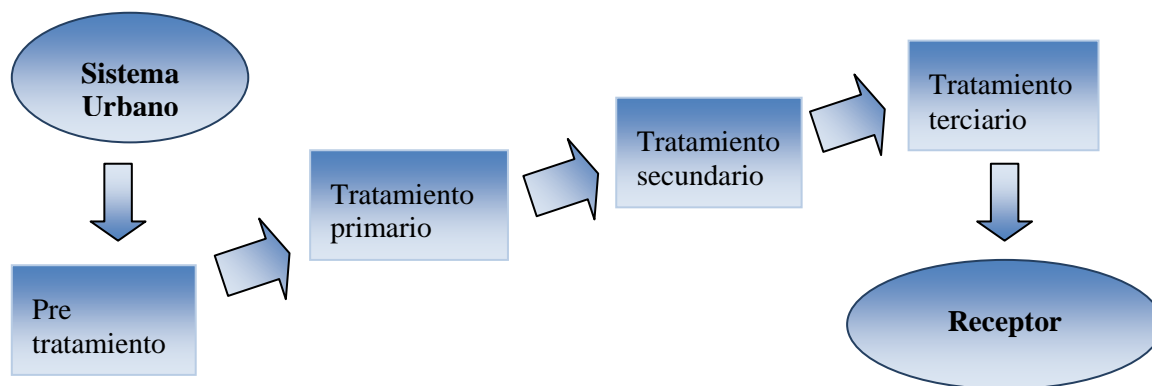
Se dan en cuatro fases: pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario. El número de fases que se aplican dependen de la calidad exigida al efluente de salida.

Pretratamiento: el objetivo es la contención y la eliminación de los componentes gruesos añadidos, de manera inadecuada, al agua. Ejemplos: desbaste, tamizado.

Tratamiento primario: retiene buena parte de los sólidos en suspensión que no han sido eliminados en el pretratamiento, a fin de facilitar los distintos procesos de las etapas posteriores. Ejemplos: Coagulación, floculación.

Tratamiento secundario: es un tratamiento basado en la digestión biológica a fin de eliminar la materia orgánica disuelta, incorporándola a la biomasa de microorganismos. Ejemplos: Biodiscos, Bioreactores de membranas.

Tratamiento terciario: es un complemento de la depuración del agua residual que tiene como objetivo reducir los sólidos en suspensión, el índice de DBO, etc. A fin de dar una mejor calidad al agua tratada, para su valorización en usos posteriores (agua potable en el caso de una ETAP y uso como agua no potable en el caso de una EDAR).



Esquema 4- Sistema de tratamiento del agua
Fuente: elaboración propia

4.3.1. Sistemas tradicionales

Pretratamiento

Desbaste

El proceso se hace casi que exclusivamente mediante rejas, que retienen los objetos, generalmente flotantes, que pueden causar obstrucciones en las unidades de tratamiento. Tiene la función de separar y evacuar las materias que son arrastradas por el agua, manteniendo así, la eficacia de tratamientos posteriores. Las rejas siempre tienen que estar antes del sistema de bombeo.

dispersado en el agua, los niveles de la DBO empezarán a bajar. Los nitratos y fosfatos en una masa de agua pueden contribuir a los niveles altos de DBO. Los nitratos y fosfatos son nutrientes para las plantas y pueden hacer que la vida vegetal y las algas crezcan rápidamente. La temperatura del agua también puede contribuir a los altos niveles de DBO. Por ejemplo, el agua más tibia generalmente tendrá un nivel DBO más alto que el agua más fría.



Ilustración 14 - Tamizado⁷
Fuente: Fotos tomadas de un video de la planta de tratamiento de aguas residuales en Jalisco, México.



Ilustración 15 - Desbaste
Fuente: Fotos tomadas de un video de la planta de tratamiento de aguas residuales en Jalisco, México.

Tratamientos primarios

Coagulación

En el proceso se agrega una sustancia coagulante al agua para cambiar el comportamiento de las partículas en suspensión así que, las partículas que anteriormente tendían a repelerse unas de otras, son atraídas unas a las otras o hacia el material añadido sean atraídas las unas a las otras o hacia el material agregado. El proceso se da en la adición del material coagulante, que causa la agitación de las partículas.

Floculación

El proceso de floculación sigue al proceso de coagulación, donde las partículas entran mas en contacto reciproco, uniéndose unas a las otras y formando partículas mayores que podrían ser separadas por proceso de sedimentación, por ejemplo.

Decantación

Algunas plantas de tratamiento tienen una etapa de sedimentación que es donde el agua pasa por grandes tanques circulares o rectangulares, que son llamados clarificadores primarios o tanques de sedimentación primarios. El tamaño de los tranques permite que la materia baje y los materiales flotantes levántense hacia la superficie, permitiendo que en esa etapa primaria se produzca un liquido homogéneo para un posterior tratamiento biológico y fangos o lodos⁸ que pueden ser tratados separadamente.

⁷ Proceso que permite separar elementos gruesos de los finos. Como la separación de las hojas de los árboles, por ejemplo.

⁸ Los tanques primarios generalmente están equipados con raspadores que llevan los fangos o lodos a la base del tanque donde con una bomba pueden ser llevados hacia otras etapas del tratamiento, donde los productos resultantes de este proceso son gaseosos, principalmente metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y líquidos y sólidos inertes. La cantidad de metano es significativa y puede usarse para satisfacer parte de los requerimientos energéticos de la planta de tratamiento.



Ilustración 16 - Proceso de decantación
Fuente: Foto tomada de un video de la planta de tratamiento de aguas residuales en Jalisco, México.

Sistemas físico-químicos

Se trata básicamente de sistemas en los que mediante un reactivo se procede a la coagulación-floculación, seguida habitualmente de una filtración por arena u otro sistema. Los reactivos empleados suelen ser coagulantes inorgánicos (sales de hierro o aluminio) o bien polímeros orgánicos (polielectrolitos) y a veces se combinan ambos. Tienen una cierta acción desinfectante, ya que las bacterias y virus fijados a los sólidos en suspensión son eliminados con éstos.

Tratamientos secundarios

SBR (Reactores secuenciales discontinuos)



Ilustración 17 - Reactores Biológicos
Fuente: Fotos tomadas de un video de la planta de tratamiento de aguas residuales en Jalisco, México.



Ilustración 18
Fuente: Fotos tomadas de un video de la planta de tratamiento de aguas residuales en Jalisco, México.



Ilustración 19
Fuente: Fotos tomadas de un video de la
planta de tratamiento de aguas residuales
en Jalisco, México.

Los reactores discontinuos secuenciales se caracterizan por operar cíclicamente y siguiendo en cada ciclo una secuencia de operaciones de llenado, reacción, sedimentación, extracción y fase inactiva. Las principales ventajas frente a los procesos continuos se basan en la flexibilidad de operación y la fácil automatización. Normalmente se emplea un mínimo de dos tanques de reacción para poder garantizar un tratamiento del agua en continuo. Ocupan muy poca superficie y tienen unos costes muy competitivos, generando un efluente de buena calidad fácilmente tratable para regeneración.

Biodiscos

Los biodiscos son reactores de biomasa fija, y consisten en discos montados sobre un eje rotatorio. Mediante esta rotación, el conjunto de discos situados en paralelo está expuesto alternativamente al aire y al agua a depurar. Los microorganismos fijados descomponen la materia orgánica empleando procesos aerobios. El proceso es fiable y barato en cuanto a la energía empleada, y especialmente en pequeñas instalaciones bien dimensionadas el efluente es de muy buena calidad por lo que suele bastar una desinfección para la reutilización posterior.

Bioreactores de membrana

Esta tecnología se basa en situar una membrana en el interior de un sistema de aireación (tratamiento por lodos activados). La membrana no permite el paso de los biosólidos que quedan en el reactor y se obtiene un efluente de buena calidad, que se puede desinfectar fácilmente. También se emplean membranas externas al reactor. En ambos casos se puede describir una eliminación de los patógenos de mayor tamaño.

4.3.2. EDAR: Estación Depuradora de Aguas Residuales

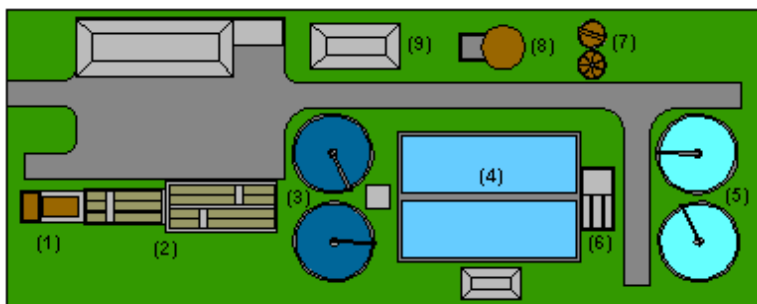
Como su propio nombre indica, plantas dedicadas a la depuración de aguas residuales, cuya función básica es reducir la contaminación de las aguas antes de ser vertidas, para que no causen impactos medio ambientales y alteren así el estado normal de la naturaleza. Según datos de diversas EDARs de España facilitados por la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, el consumo de energía estándar generalmente no supera a los $0,25 \text{ Kwh/m}^3$.

Dependiendo del tipo de tratamiento que usen, las EDAR pueden ser:

- Físico-químicas: La depuración se produce mediante un tratamiento en el que se le añaden al agua reactivos químicos para favorecer la decantación de sólidos en suspensión presentes en el agua.
- Biológicas: la depuración tiene lugar mediante procesos biológicos. Estos procesos se realizan con la intervención de microorganismos que actúan sobre la materia orgánica e inorgánica, en suspensión presente en el agua, transformándola en sólidos que pueden ser sedimentas más fáciles de separar.

Las depuradoras tienen dos líneas de funcionamiento: la línea de aguas y la línea de fangos.

Línea de aguas: Corresponde a la parte del proceso de depuración que se centra únicamente en el tratamiento de las aguas residuales.



Esquema 5 - Funcionamiento de una EDAR
Fuente: Programa Iberoamericano de Ciencia y tecnología para el desarrollo

Línea de fangos: En la línea de aguas se generan gran cantidad de desechos (llamados fangos). La línea de fangos se encarga de tratar los fangos reduciéndolos lo máximo posible y haciéndolos menos contaminantes.

El esquema a seguir, explica el funcionamiento de una planta depuradora de aguas residuales.

Procesos:

1- Llegada del agua: El agua llega a la depuradora por medio de un colector concentrador.

2- Pretratamiento: Se eliminan los sólidos grandes, arenas y grasas.

3- Decantación primaria: El agua pasa por un medidor de caudal y luego a un recinto de forma rectangular o circular donde se decantan los materiales. Este proceso es opcional, dependiendo del grado de contaminación que trae el agua a las depuradoras biológicas.

4- Reactor biológico: El agua llega del pretratamiento o la decantación primaria a un recinto donde la materia orgánica que contienen las aguas residuales es digerida, por microorganismos contenidos en el agua, de una manera natural. Para que el número de microorganismos crezca y puedan llevar a cabo su actividad metabólica, se incorpora aire u oxígeno puro.

5- Decantación secundaria: Recinto de forma rectangular o circular donde se produce la separación del agua depurada y los fangos biológicos.

Línea de fangos:

6- Recirculación de fangos: Es el caudal de fangos decantados que hace falta retornarlo al reactor biológico para asegurar la actividad biodegradante de los microorganismos.

7- Espesador de fangos.

8- Digestión: La digestión se puede incluir o no en un tratamiento biológico en función del tipo y grado de estabilización de fangos conseguidos en los procesos anteriores.

9- Deshidratación de fangos.

4.3.3. Sistemas no tradicionales

El diseño de plantas depuradoras es diverso. Nos encontramos con sistemas diseñados para territorios con una importante concentración de la población y que utilizan sistemas convencionales de depuración en plantas de depuración centralizadas (pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario). En poblaciones rurales o en donde la magnitud de la población no sea relevante aunque la legislación obligue a la depuración de sus aguas residuales; observaremos el uso de sistemas pasivos y/o no convencionales, como lagunaje, humedales, etc.

Infiltración-percolación

Es un sistema de tratamiento avanzado, natural, extensivo y basado en el uso de arena. Un proceso de depuración por filtración biológica aerobia, en un medio granular fino, donde el agua se deposita sobre el terreno en una sola aplicación, hasta alcanzar una altura determinada, luego se deja percolar lentamente, en condiciones casi totalmente anaerobias. Una vez el agua alcanza la capa freática, se recupera del acuífero al cabo de un tiempo considerable. Es importante que el lecho no quede saturado para permitir el intercambio de gases. Es un proceso muy fiable si tiene un

mantenimiento adecuado. Puede incluso llegar a cumplir las especificaciones para generar agua con la que se puede regar sin restricciones.

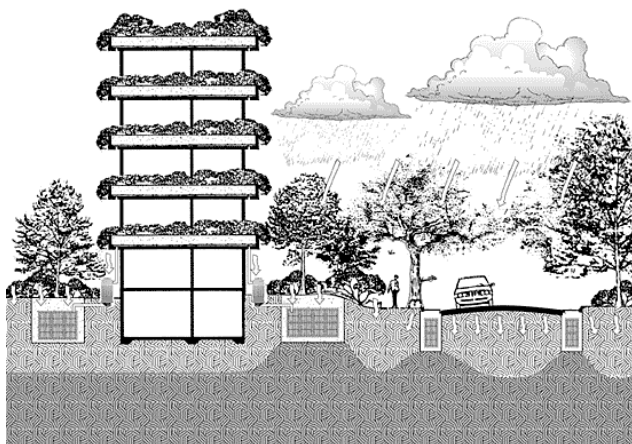


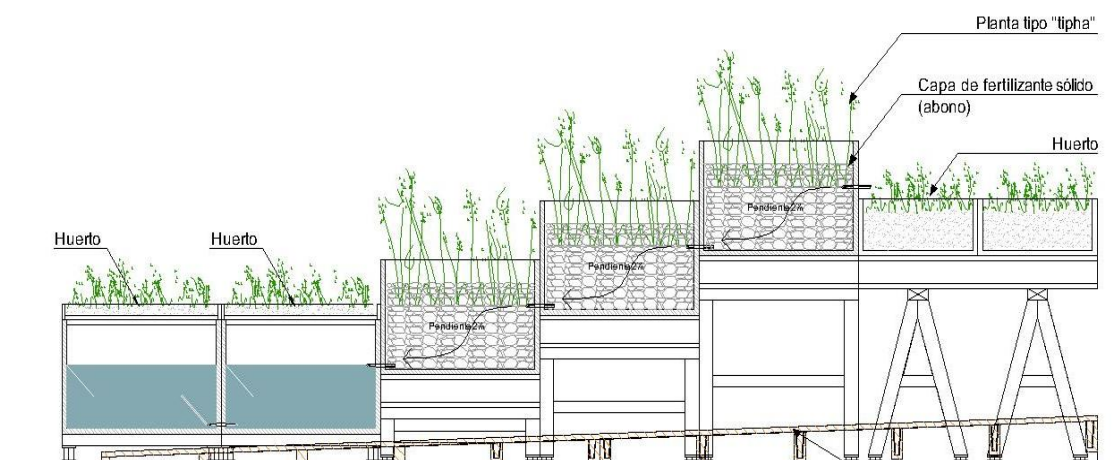
Ilustración 20 - Procesos de infiltración
Fuente: Water Management of life
<http://www.atlantiseuro.es/aplicaciones/propuesta.html>

Humedales

Un humedal artificial o construido es un sistema alternativo de tratamiento de aguas residuales de poca profundidad y en el que se siembran especies acuáticas encargadas de purificar el agua mediante procesos naturales. Es un sistema para el tratamiento de las aguas grises por biofiltración que elimina una cantidad significativa de elementos/agentes contaminantes de las aguas grises antes de poder reutilizarlas.

El agua que es descargada al humedal será filtrada mediante procesos mecánicos y biológicos por las plantas del sistema y los microbios que viven alrededor de sus raíces. En el humedal, las aguas grises fluyen por el sistema bajo la superficie de grava, lo cual elimina el riesgo de estancamiento, además de no dejar al acceso del público el agua gris. Las aguas grises entran al humedal por la gravedad y son filtradas primero por procesos mecánicos. Las plantas del humedal transfieren oxígeno a la zona sumergida de la raíz, que permite la degradación biológica de contaminantes y materias orgánicas por microbios.

Las plantas macrófitas utilizadas en el sistema, se alimentan del fósforo e nitrato existentes en el agua gris. Lo que hacen con que después del proceso de depuración, el índice de DBO del agua este de acuerdo con las normativas para el reuso del agua. La eficiencia de la eliminación varía, pero generalmente el humedal puede eliminar una buena porción de los contaminantes de las aguas grises.

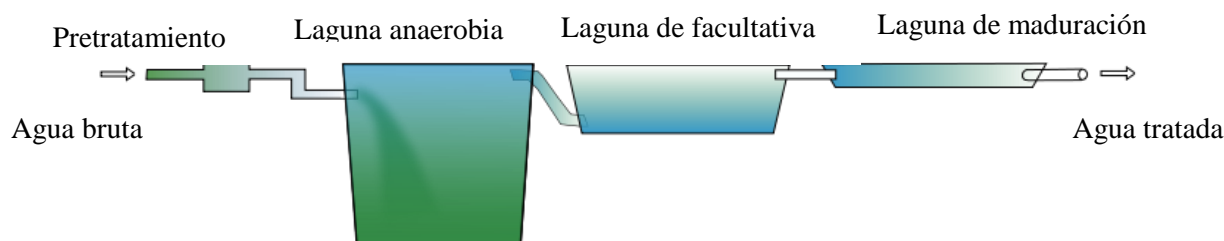


**Esquema 6 - Esquema de un humedal calculado para una residencia unifamiliar (prototipo UPC),
propuesto en el concurso SDE 2010**

Fuente: elaboración propia

Sistemas de lagunaje

Es una tecnología conocida hace mucho tiempo y que se trata de una imitación de procesos de depuración de ríos o lagos, basado en la potenciación de la eutrofización, mediante la simbiosis de algas y bacterias. Es un sistema aerobio, donde se encuentra a menudo una colonización de plantas del tipo macrófitas y capaz de lograr una buena desinfección por la acción de la radiación UV del sol. Es barato y fácil de mantener pero presenta los inconvenientes de necesitar gran cantidad de espacio y de ser poco capaz para depurar las aguas de grandes núcleos.



Esquema 7 - Sistema lagunaje

Fuente: Programa Iberoamericano de Ciencias y Tecnología para el desarrollo

4.4. Regeneración de aguas residuales y marginales

Gran parte de las tecnologías utilizadas en la actualidad en la regeneración y reutilización de las aguas residuales ya son existentes. Sin embargo, esos tratamientos, tienen un mayor potencial en el desarrollo de tecnologías innovadoras, por el valor que el agua residual tendrá vista como un recurso hídrico alternativo. Ya se están desarrollando tecnologías punta para la producción de agua regenerada a partir de las aguas de fuentes no convencionales. Los procesos innovadores de regeneración del agua proveniente de fuentes no convencionales tienen como objetivo posibilitar un recurso alternativo del agua apta para reuso. Para que eso sea posible, los tratamientos tienen que garantizar el mantenimiento de una calidad fija del agua regenerada, es decir, los tratamientos tienen que ser fiables desde las plantas de tratamiento, pasando por las redes de distribución hasta que llegue al consumidor final. (CYTED, 2003).

4.4.1. Regeneración del efluente de una EDAR

La regeneración del efluente secundario de una EDAR para su uso posterior como agua no potable se basa en la consecución de un proceso terciario de clarificación y/o desinfección (siempre teniendo en cuenta la calidad de partida). Los procesos que permiten obtener dicha agua regenerada quedan reflejados en el apartado 4.2 de tratamiento de agua potable.

4.4.2. Regeneración de aguas grises

Tipo de residual	P (contenido en fósforo)	N (contenido en nitrógeno)	DQO demanda química de oxígeno)	Puntos de generación	Galones diarios producidos
Aguas negras	50%	90%	60%	Inodoro	80 g/d
Aguas grises	50%	10%	40%	Lavadora, cocina, baño y otros	120 g/d

Tabla 9 - Aguas e un sistema separativo de grises

Fuente: www.greywater.com

El gran potencial que presenta el uso de las aguas grises como recurso se debe a su cantidad y calidad. Presentan niveles de nitrógeno claramente inferiores en comparación a las aguas negras del inodoro, además de ofrecer un proceso de descomposición y estabilización de los elementos contaminantes más rápido.

4.4.3. Ámbitos de reutilización

Usos	Calidad	Reutilización de las aguas marginales
Urbano	Calidad 1.1 Residencial	Riego de jardines, descarga de aparatos sanitarios.
	Calidad 1.2 Servicios	Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares), baldeo de calles, sistemas contra incendios, lavado industrial de vehículos.
Agrario	Calidad 2.1	Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco.
	Calidad 2.2	Riego de productos para consumo humano con sistema de aplicación de agua que no evita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles, pero el consumo no es tan fresco sino con un tratamiento industrial posterior. Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne. Acuicultura.
	Calidad 2.3	Riego localizado de cultivos leñosos que implica el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana. Riego de cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones. Riego de cultivos industriales no alimentarios, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas.
Industrial	Calidad 3.1	Aguas de proceso y limpieza excepto en la industria alimentaria. Otros usos industriales. Aguas de proceso y limpieza para uso en la industria alimentaria.
	Calidad 3.2	Torres de refrigeración y condensadores evaporativos.
Recreativo	Calidad 4.1	Riegos de campos de golf.
	Calidad 4.2	Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el acceso del público al agua.
Ambiental	Calidad 5.1	Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno.
	Calidad 5.2	Recarga de acuíferos por inyección directa.
	Calidad 5.3	Riego de bosques, zonas verdes y de otro tipo no accesible al público. Silvicultura.
	Calidad 5.4	Otros usos ambientales (mantenimiento de humedales, caudales mínimos y similares).

Tabla 10 - Usos de las aguas regeneradas por calidad.

Fuente: Real Decreto 1620/2007 de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas

4.4.4. Equipos de reutilización de tipo residencial

Se basan en sistemas filtración y de digestión aeróbica. Algunos de ellos son:

Clivus Multrum Inc.

El agua gris captada queda almacenada y se distribuye a un compartimento elevado en donde se efectúa el filtrado y descomposición aeróbica previo a su uso como agua de riego.

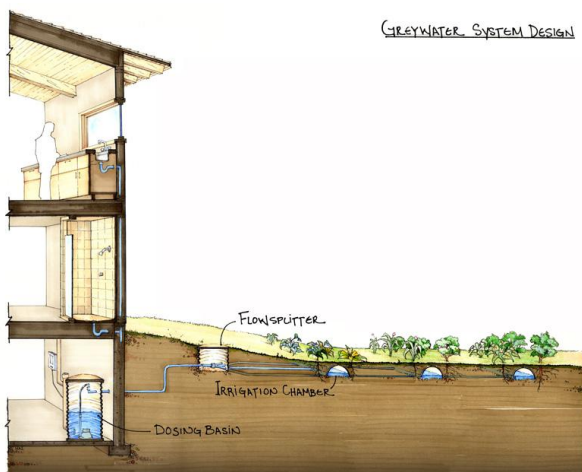


Ilustración 21 - Uso del sistema de regeneración de aguas grises de Clivus Multrum Inc.
Fuente: clivusmultrum.com

Hansgrohe, sistema AquaPontos

Se compone de 3 tanques y un sistema de filtrado previo. El agua filtrada llega al primer tanque en donde da comienzo una primera digestión biológica, ofreciendo un sistema aeróbico facilitado por unos aireadores situados al fondo del tanque. En el segundo tanque se ubica una digestión secundaria desde la cual pasa al tercer tanque en donde se efectúa una desinfección a través de radiación ultravioleta. Dicho sistema se encuentra comercializado y en forma de módulos para diferentes capacidades. Permite un control automatizado a través de una consola que regula el sistema a través de parámetros temporales de los diferentes elementos que lo constituyen. Dichos modelos certifican el cumplimiento de los parámetros higienicosanitarios dictaminados por el RD 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño.

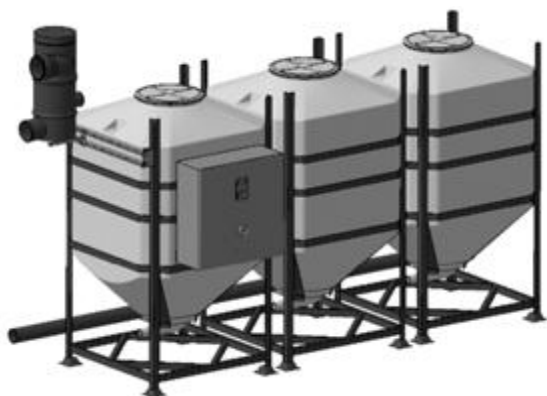
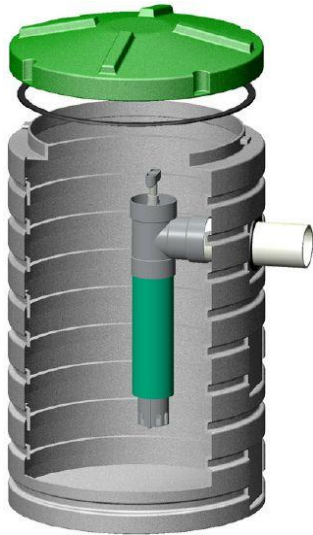


Ilustración 22 - Pontos AquaCycle 4500
Fuente: hansgrohe.es

The Natural Home Building Source

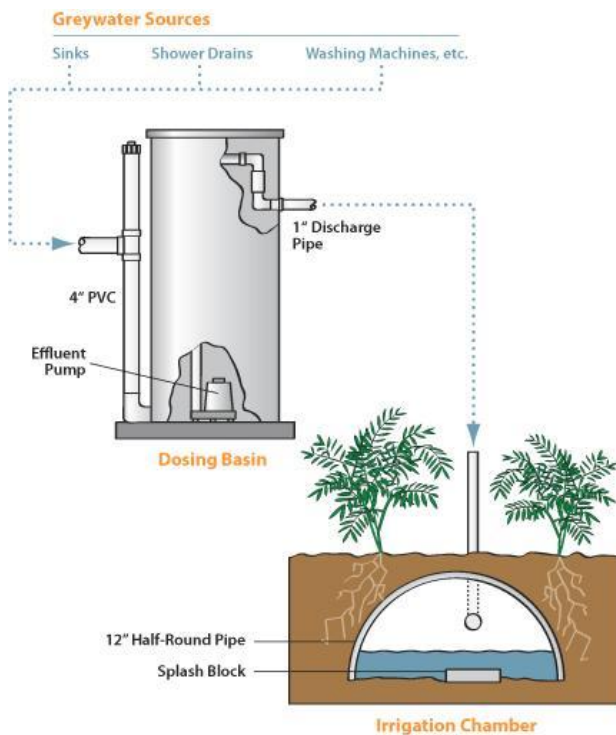
El sistema de tratamiento se basa en un tanque de filtrado y en el uso de radiación ultravioleta para su desinfección. Se presenta dicho modelo diseñado esencialmente para su uso en el riego. Presenta un sistema de auto limpieza que facilita su operatividad.



**Ilustración 23 Sistema de tratamiento de aguas grises de “The Natural Home Building Source”
Fuente: thenaturalhome.com**

NutriCycle Systems

El sistema aprovecha directamente su uso último como tratamiento a la vez. Las aguas grises son transportadas por sistemas de riego hacia las raíces de las plantas en donde se absorberán los nitratos y fosfatos a la vez que se fertiliza la planta. Este simple proceso convierte dos problemáticas (agua para riego y tratamiento de aguas grises) en una perfecta simbiosis.



**Ilustración 24 - Uso directo de aguas grises para riego
Fuente: nutricyclesystems.com**

5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Esta investigación se ha orientado a la búsqueda de formas y métodos para evaluar las variables de gestión del ciclo hidrológico urbano. Se entiende por “variables de gestión”, aquellas que entran en los cálculos de los diferentes procesos de planificación de la circulación de agua a través del tejido urbano, desde la fuente de suministro y las precipitaciones atmosféricas, hasta la deposición final de las aguas residuales, pasando por los procesos intermedios de regeneración y reciclaje. Al propio tiempo, si podría establecer esquemas generales que pueden aplicarse a dicha circulación, después de su adaptación al caso concreto de cada proyecto.

Los resultados obtenidos en el desarrollo se aplican a proyectos de remodelación de sistemas urbanos existentes o a urbanizaciones nuevas con el propósito de alcanzar el mínimo grado de demanda de agua de fuentes externas que sea viable. Se presentan en tres áreas de aplicación, a saber:

- Tasas de demanda umbral sujetas a un conjunto de factores condicionantes;
- Expresiones analíticas para estimar los potenciales de aprovechamiento de las fuentes de agua urbana no convencionales;
- Esquemas de gestión del ciclo del agua en dependencia de las características del ámbito de proyecto.

Estas tres áreas de aplicación se conjugan en un proyecto dado, ofreciendo como resultado un modelo de gestión sostenible y respetuosa del medio ambiente, ajustado a las condiciones locales, tanto físicas como de diseño, donde la adaptación a las condiciones del cambio climático está implícita. Como parte de la respuesta, el desarrollo humano debe dar a la creciente necesidad de convivir en armonía con el resto de la naturaleza adaptando sus necesidades y sus aspiraciones a las cambiantes condiciones climáticas.

La estandarización de las tasas de demanda respecto a tipologías edificatorias categorizadas con arreglo a la densidad de población, representan valores alcanzables que ya se han logrado en algunos sistemas urbanos, pero que requieren de una voluntad política y social y de unas infraestructuras adecuadas. La aportación principal en esta área de aplicación de los resultados del trabajo está en el dimensionamiento de dichas tasas y en la definición de las mismas, lo que les confiere un carácter único e innovador.

Hasta ahora no se había elaborado una metodología de cálculo de los potenciales de aprovechamiento de las fuentes urbanas no convencionales, tales como la lluvia y las aguas grises, aplicable a cualquier zona geográfica y características del tejido urbano. Eso proporciona al área de aplicación, resultados como herramientas de cálculo sencillas y adecuadas.

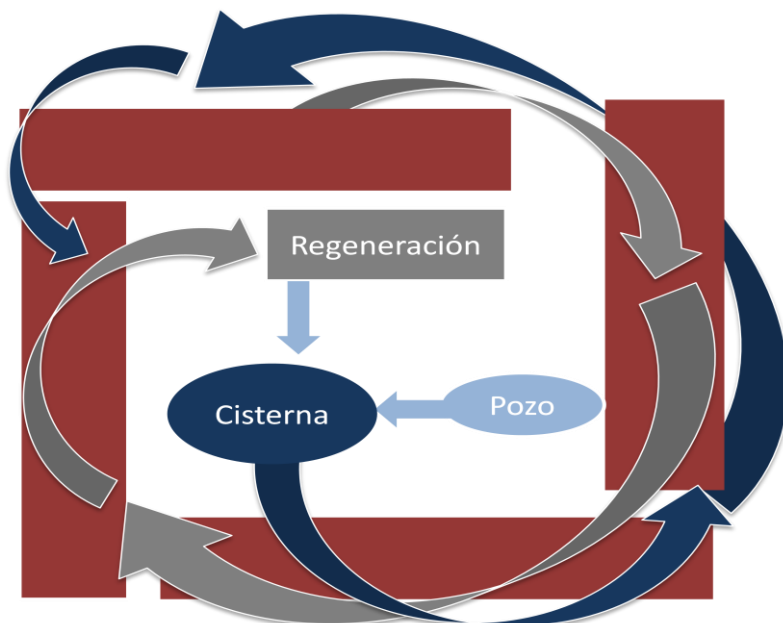
Finalmente, los esquemas de gestión integrada, permiten visualizar soluciones para diferentes situaciones reales.

La aplicación de los resultados de este trabajo a proyectos concretos, ofrece resultados coincidentes con los que ya se habían obtenido por otras vías, o los mejora. A continuación ofrecemos algunos de ellos:

Esquema E-1. Aplicado al barrio de Poble Nou en Barcelona

El proyecto corresponde a una isla urbana formada por cuatro edificios multifamiliares que albergará una población de 1900 habitantes, formando un conjunto con áreas ajardinadas y un sector comercial que ocupa principalmente las plantas bajas.

Las aguas procedentes del drenaje de los túneles del metro se bombean hasta la red de drenaje, evacuándose hacia la EDAR de El Prat.



Esquema 8 – E1

Fuente: elaboración propia

momento de realización del proyecto: 159 litros por persona y día (lpd) de agua potable de red.

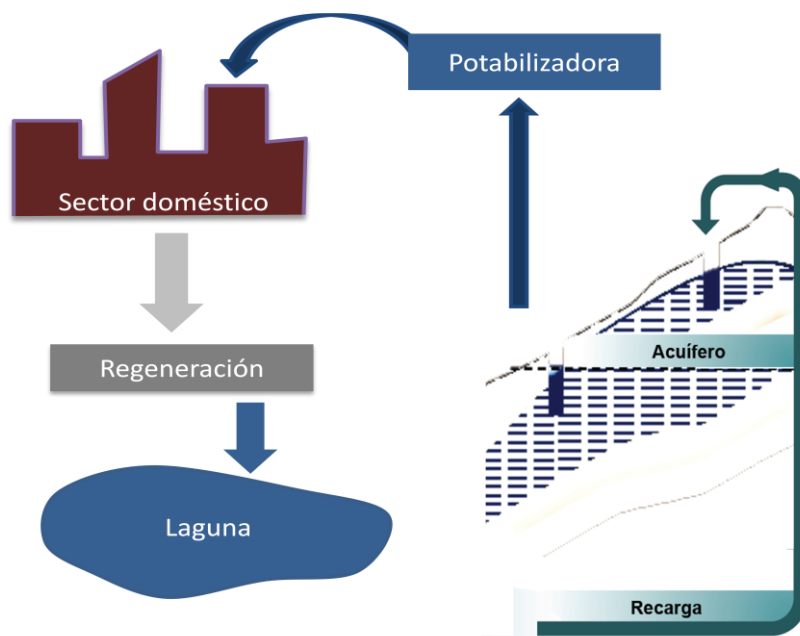
Demanda proyectada según los resultados de este trabajo:

- Total: 121 lpd
- Potable: 102 lpd
- Regeneradas: 57 lpd
- Reducción de la demanda de agua: 24 %
- Uso de aguas regeneradas: 47 %
- Ahorro de agua potable de la red. 36 %

Esquema E-2. Aplicado al Ecobarrio de Figueres

Demanda neta de agua de la ciudad de Figueres: 140 lpd

Esquema de gestión del agua en el ecobarrio en una fase avanzada:



Esquema 9 – E2

Fuente: elaboración propia

La solución que se propone consiste en conducir las aguas pluviales hasta una cisterna colectiva donde se mezclarían con el agua de drenaje de los túneles del metro y, mediante un tratamiento previo, destinarlas al suministro de agua no potable a los edificios (descarga del váter), la limpieza del espacio público y los usos posibles en el sector comercial.

El resultado de la aplicación de este esquema y de las tasas de demanda umbral representan las siguientes cifras:

Demanda en el

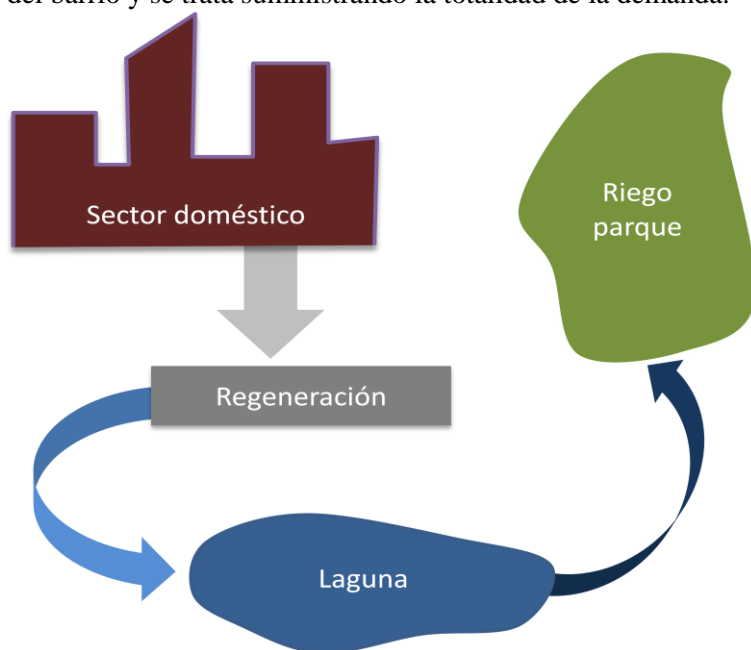
peatonales, se conducen las aguas mezcladas hasta una cisterna de reposo, donde se separan sólidos. De la cisterna de reposo se descargan a una franja de depuración biológica ubicada en una de las márgenes de una laguna artificial, desde donde se bombean a un pozo de recarga vinculado a la misma masa de agua subterránea, donde se toma el agua de suministro. De este modo se cierra un ciclo donde se alcanza un grado de auto suministro cercano al 100 %.

Resultados de la aplicación del modelo y las tasas umbral:

- Demanda de agua: 115 lpd
- Potable: 74 lpd
- No potable: 41 lpd
- Ahorro de agua potable de red: 100 %
- Reducción de la demanda: 18 %
- Aprovechamiento de grises y pluviales: 100 %
- Proporción de aguas regeneradas en el suministro: 36 %

Esquema E-3. Aplicado al barrio Cortijo de Cuarto, Sevilla

Cortijo de Cuarto es un barrio de Sevilla que forma un complejo socio – cultural con un parque asociado al barrio. El agua de suministro urbano se toma de un pozo en uno de los extremos del barrio y se trata suministrando la totalidad de la demanda.



Esquema 10 – E3
Fuente: elaboración propia

Las aguas grises y el pluvial urbano procedente de las cubiertas de edificaciones se colecta mediante un conducto separativo y se dirige a un complejo de depuración biológica, después de haber pasado por un separador autónomo de materias flotantes, para ingresar finalmente a una laguna natural remodelada que posee una pequeña cuenca endorreica. Los excedentes de esta laguna drenan por una tubería soterrada a través de un parque asociado al barrio. Aprovechando las condiciones topográficas, en el punto donde la tubería soterrada debería aflorar a la superficie, se crea una fuente natural surgente que alimenta un pequeño arroyo artificial, que sirve de conducto de las aguas no

utilizadas hasta un afluente del río Guadalquivir. En el trayecto de la tubería, ésta alimenta un sistema de riego de todo el parque, que a su vez forma parte de la zona de recarga del pozo de abastecimiento.

Suministro de agua: 683.000 m³/año

Recuperación de grises y pluvial urbano: 410.000 m³/año

Aportación de escorrentía a la laguna: 200.000 m³/año

Aprovechamiento de fuentes no convencionales: 610.000 m³/año

Auto suministro del sistema Barrio – Parque: 89 %

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones:

- La presión creciente sobre los recursos de agua dulce terrestres se está haciendo insostenible, a la vez que genera un alto grado de deterioro de su calidad. De otra parte, la ciudad funciona como una interface en el ciclo hidrológico urbano alterando los procesos naturales y la calidad del agua dentro límites extremos. Esta problemática tiende a agravarse en el futuro a causa del aumento de la demanda y los efectos adversos del cambio climático, especialmente en la península ibérica. La vía más expedita para hacer frente a esta problemática, sintetizada anteriormente, pasa por la reducción de la demanda de agua y el incremento del reciclaje de aguas usadas a fin de reducir la presión sobre las fuentes de suministro y facilitar la adaptación al cambio climático;
- Las tasas umbral de demanda que se ofrecen en este trabajo, obtenidas a partir de investigaciones de campo y el procesamiento estadístico de los datos obtenidos, no solamente establecen un límite razonablemente bajo del consumo, sino que incluyen los condicionantes para lograrlos en la gestión de proyectos urbanísticos de sostenibilidad en tiempo real, contribuyendo adicionalmente a la reducción de la contribución de la ciudad al incremento del efecto invernadero;
- Los criterios que se ofrecen en forma de funciones matemáticas y constantes normalizadas para reducir la demanda urbana de agua y evaluar los potenciales de regeneración de aguas marginales de origen urbano, unido a los esquemas básicos de gestión proveen una importante herramienta de trabajo aplicable al diseño de soluciones urbanísticas sostenibles y respetuosas de su entorno, viables tanto desde el punto de vista económico como de aceptación social.

6.2. Recomendaciones

- Continuar profundizando los trabajos investigativos, extendiéndolos a otros sectores de consumo, especialmente a la agricultura con riego;
- Elaborar modelos informatizados que permitan automatizar los procesos de cálculo y diseño;
- Profundizar en el impacto del cambio climático a medida que se perfeccionen los modelos de simulación y se visualicen con mayor nitidez los impactos futuros sobre la hidrología;
- Diseñar un sistema de actualización que permita mantener vigente esta herramienta de trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- ACS Medio Ambiente. (n.d.). Retrieved 2010 noviembre
<http://www.acsmedioambiente.com/equipos/nanofiltracion.htm>
- Agència Catalana de l'Aigua. (n.d.). Retrieved 2010 5-octubre from http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P1232154461208201762445
- Agency, E. E. (2009). *Water resources across Europe — confronting water scarcity and drought*. Copenhagen.
- Alonso, J. A. (2010, 15-marzo). <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2010/03/15/131429>. Retrieved 2010, octubre
- Carmen Orozoco Barrenetxea, A. P. (2005). *Contaminación Ambiental*. Madrid.
- (2003). Tecnologías innovadoras en la regeneración y reutilización de aguas residuales. In P. I. CYTED, *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Domene, E. (2009). El Paper d'aigua. In C. C. Toni Solanas, *34 Kg de CO2*. Barcelona: SYL S.A.
- Domene, E., Saurí, D., Martí, X., Molina, J., & Huelin, S. *Tipologías de viviendas y consumo de agua en la Región Metropolitana de Barcelona*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona; Generalitat Catalunya; Fundació AGBAR; Fundació ALBERTIS.
- García, M. (2010). Barcelona: Agencia de Ecología Urbana de Barcelona.
- Grupo Aguas de Valencia. (n.d.). Retrieved 2010 noviembre
<http://www.aguasdevalencia.es/portal/web/Tecnologia/Tecnologia/TratamientoAguaPotable/Desalacion/>
- LEAD. (n.d.). Retrieved 2010 йил septiembre from <http://www.climate-leaders.org/climate-change-resources/india-and-climate-change/sectoral-approach>
- Marino, M. d. (2009). *Cambio climático y adaptación de los recursos hídricos*.
- Moya, L. R. (2007). *Hidroeficiencia en el sector hotelero*. Consejería de Agricultura y Agua, Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Murcia: Hosremur.
- Muller, L. (2006). *Who owns the water?* Baden.
- Pastorelli, G. (diciembre de 2008). Tardónaturalezas textiles: Prototipos Atrapanieblas. *Plataforma arquitectura*.
- (2002). Radiación ultravioleta. In R. Rojas, *Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Román, F. J. *Ciclo Hidrológico*. Universidad de Salamanca (España), Departamento de Geología.
- Técnico-TAC, A. M. (2000, septiembre). Manejo integrado de recursos hídricos. Estocolmo, Suecia: Global Water Partnership.
- Tehsa. (n.d.). Retrieved 2010, 8-noviembre from <http://www.ahorraragua.com/html/index.php>
- UNFCCC, P. Y. (2004). *Carpeta de información sobre el cambio climático*.
- UN-HABITAT. (2010). *Water global annual assessment of sanitation and drinking-water (GLAAS)*.
- United States Environmental Protection Agency. (n.d.). Retrieved 2010, noviembre from <http://water.epa.gov>
- Veolia Water Solutions & Technologies. (2006). Retrieved 2010, noviembre from <http://www.tratamiento-agua-annet.veoliaenvironnement.com/tecnologias/ozonizacion.aspx>

Water Management of life. (n.d.). Retrieved 2010, noviembre from <http://www.atlantiseuro.es/aplicaciones/propuesta.html>

Zafra, A. S. (2008). *Higiene y Sanidad Ambiental*.

Directiva 91/271/CEE, transpuesta Ley 11/1995.

Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, Ley de las Aguas.

*Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamientos de Aguas*2009.

ANEXO I - INDICE DE ELEMENTOS

Diagramas

Diagrama 1 – Identificación de la problemática	11
Diagrama 2 - Consumos del agua derivados de la actividad humana.....	17
Diagrama 3 - El destino del agua des de su origen	27

Esquemas

Esquema 1 - Aprovechamiento en edificaciones localizadas	44
Esquema 2 - Aprovechamiento centralizado intraurbano	45
Esquema 3 - Múltiples usos de las aguas no convencionales	46
Esquema 4- Sistema de tratamiento del agua.....	55
Esquema 5 - Funcionamiento de una EDAR Fuente: Programa Iberoamericano de Ciencia y tecnología para el desarrollo	59
Esquema 6 - Esquema de un humedal calculado para una residencia unifamiliar (prototipo UPC), propuesto en el concurso SDE 2010.	60
Esquema 7 - Sistema lagunaje	61
Esquema 8 – E1	66
Esquema 9 – E2	66
Esquema 10 – E3	67

Ilustraciones

Ilustración 1 - Distribución mundial del agua en el planeta.....	13
Ilustración 2 - Disponibilidad mundial de agua dulce	15
Ilustración 3: Ciclo del agua con distintos destinos.....	16
Ilustración 4 - Consumo mundial de agua por tipos de consumidores.....	17
Ilustración 5: Extracción de agua para la industria	18
Ilustración 6: Mar de Aral en los años 1970 y 2004	19
Ilustración 7 - Mar de Aral en los años 1970 y 2004.....	19
Ilustración 8 - Torre Agbar, Aguas de Barcelona	20
Ilustración 9: Embalse La Baells, de suministro a Barcelona	20
Ilustración 10 - Problemática del agua.....	22
Ilustración 11: Atrapanieblas	41
Ilustración 12 - Cloración	51
Ilustración 13 - Planta de servicio donde se utiliza la electrodiálisis reversible como método de desalación.....	53
Ilustración 14 - Tamizado.	56
Ilustración 15 - Desbaste.....	56

Ilustración 16 - Proceso de decantación.....	57
Ilustración 17 - Reactores Biológicos.	57
Ilustración 18	57
Ilustración 19	58
Ilustración 20 - Procesos de infiltración	60
Ilustración 21 - Uso del sistema de regeneración de aguas grises de Clivus Multrum Inc.	63
Ilustración 22 - Pontos AguaCycle 4500	63
Ilustración 23 Sistema de tratamiento de aguas grises de “The Natural Home Building Source”	64
Ilustración 24 - Uso directo de aguas grises para riego	64

Tablas

Tabla 1 - Coste medio del suministro de agua en €/m ³	30
Tabla 2 - Consumo domestico racional por destino.....	32
Tabla 3 - Tipos de calidad del agua	33
Tabla 4 - Consumo medio en litros por habitante y día en las distintas regiones de España.....	35
Tabla 5 - Comparación de los resultados obtenidos por ambas vías de estudio	36
Tabla 6 - Tasas racionales de consumo.....	36
Tabla 7 – Consumo domestico racional por destinos.....	36
Tabla 8 – Consumos optimizados para diferentes grados de compacidad de la ciudad de nueva urbanización y remodelación.	36
Tabla 9 – Consumos basicos umbral.....	36
Tabla 10 - Consumo de agua en el inodoro persona /día.	49
Tabla 11 - Tecnologías de ahorro de agua Fuente: Sistema de ahorro de agua	50
Tabla 12 - Aguas e un sistema separativo de grises Fuente: www.greywater.com	61
Tabla 13 - Usos de las aguas regeneradas por calidad.	62

ANEXO II - EXPRESIONES MATEMÁTICAS Y SIMBOLOGÍAS

$$I = \{Db, Ar\}$$

$$Se = Db - Ar$$

$$D_m = \sum Ap_i \times W_i$$

$$D_{ma} = 118 + Pe$$

$$D_{NP} = \sum Ap_i \times W_{p_i}$$

$$S_m = S / N_p$$

$$p = 0,7 S_m P$$

$$G1 = 0,47 d$$

$$G2 = 0,52 d$$

$$N1 = 0,43 d$$

$$N2 = 0,38 d$$

$$C1 \rightarrow R \rightarrow C2$$

$$c = d - p$$

I: integración

Db: Demanda bruta de agua

Ar: aguas urbanas que pueden ser recuperadas

Se: demanda de agua de fuentes externas

D_m : demanda media ponderada

Ap_i : parte proporcional de la población en la tipología edificatoria dada

W_i : demanda específica correspondiente a la tipología edificatoria dada

D_{NP} : demanda de agua no potable

Ap_i : parte proporcional de la población en cualquier sector o tipología edificatoria

W_{p_i} : demanda de agua no potable

D_{ma} : demanda de agua en núcleos urbanos antiguos

Pe: pérdidas

S_m : superficie de captación media

S: superficie cubierta total

N_p : cantidad de personas

p: cantidad de lluvias aprovechables

P: lluvia media anual

G1: aguas procedentes de la ducha y el lavamanos

G2: todas las aguas grises domésticas

Sd: suministro doméstico

N1: modelo aguas negras

Nd: negras domésticas

Npc: Negras del sector público y comercial

C1: agua que no cumple los requerimientos mínimos de uso

R: regeneración

C2: agua que cumple los requerimientos mínimos de uso

d: demanda de agua

c: complementación de agua

ANEXO III - GLOSARIO

Evapotranspiración

Se define la evapotranspiración como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Dentro del intercambio constante de agua entre los océanos, los continentes y la atmósfera, la evaporación es el mecanismo por el cual el agua es devuelta a la atmósfera en forma de vapor; en su sentido más amplio, involucra también la evaporación de carácter biológico que es realizada por los vegetales, conocida como transpiración y que constituye, según algunos la principal fracción de la evaporación total. Sin embargo, aunque los dos mecanismos son diferentes y se realizan independientemente no resulta fácil separarlos, pues ocurren por lo general de manera simultánea; de este hecho deriva la utilización del concepto más amplio de evapotranspiración que los engloba. (Román)

Infiltración

La penetración del agua en el suelo puede seguir algunos caminos:

- Evaporación, donde el agua se evapora desde el suelo húmedo, sin relación con la posible vegetación.

- Transpiración, donde las raíces de las plantas absorben el agua infiltrada en el suelo, una pequeña parte es retenida para su crecimiento y la mayor parte es transpirada.

- Escorrentía subsuperficial o hipodérmica, (“interflow”), que tras un corto recorrido lateral antes de llegar a la superficie freática acaba saliendo a la superficie.

- Si el agua no se evapora ni es atrapada por las raíces, la gravedad continuará llevándola hacia abajo, hasta la superficie freática. Allí aún puede ser atrapada por las raíces de las plantas “freatofitas” (chopos, álamos, etc.), que son plantas de raíces muy profundas, y que se diferencian de otras plantas por la búsqueda del agua en un medio saturado.

- Al final, el agua restante da lugar a la escorrentía subterránea. (Román)

Caudal ecológico

La expresión caudal ecológico, referida a un tramo de cauce de agua corriente, encierra un concepto que puede definirse como: El flujo de agua mínima necesaria para preservar los valores ecológicos en el cauce, tales como:

- Los hábitats naturales que cobijan una riqueza de flora y fauna,
- Las funciones ambientales como dilución de poluentes,
- La amortiguación de los extremos climatológicos e hidrológicos,
- La preservación del paisaje.

- La determinación del caudal ecológico de un río o arroyo se hace según un cuidadoso análisis de las necesidades mínimas de los ecosistemas existentes en el área de influencia de la estructura hidráulica que en alguna forma va a modificar el caudal natural del río o arroyo. (Román)

ANEXO IV – CÓDIGO TÉCNICO EN EDIFICACIONES (DB HS SALUBRIDAD)

Suministro del agua

1 Generalidades

1.1 Ámbito de aplicación

1 Esta sección se aplica a la instalación de suministro de agua en los edificios incluidos en el ámbito de aplicación general del CTE. Las ampliaciones, modificaciones, reformas o rehabilitaciones de las instalaciones existentes se consideran incluidas cuando se amplía el número o la capacidad de los aparatos receptores existentes en la instalación.

1.2 Procedimiento de verificación

- 1 Para la aplicación de esta sección debe seguirse la secuencia de verificaciones que se expone a continuación.
- 2 Cumplimiento de las condiciones de diseño del apartado 3.
- 3 Cumplimiento de las condiciones de dimensionado del apartado 4.
- 4 Cumplimiento de las condiciones de ejecución, del apartado 5.
- 5 Cumplimiento de las condiciones de los productos de construcción del apartado 6.
- 6 Cumplimiento de las condiciones de uso y mantenimiento del apartado 7.

2 Caracterización y cuantificación de las exigencias

2.1 Propiedades de la instalación

2.1.1 Calidad del agua

- 1 El agua de la instalación debe cumplir lo establecido en la legislación vigente sobre el agua para consumo humano.
- 2 Las compañías suministradoras facilitarán los datos de caudal y presión que servirán de base para el dimensionado de la instalación.
- 3 Los materiales que se vayan a utilizar en la instalación, en relación con su afectación al agua que suministren, deben ajustarse a los siguientes requisitos:
 - a) para las tuberías y accesorios deben emplearse materiales que no produzcan concentraciones de sustancias nocivas que excedan los valores permitidos por la el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero;
 - b) no deben modificar la potabilidad, el olor, el color ni el sabor del agua;
 - c) deben ser resistentes a la corrosión interior;
 - d) deben ser capaces de funcionar eficazmente en las condiciones de servicio previstas;
 - e) no deben presentar incompatibilidad electroquímica entre sí;
 - f) deben ser resistentes a temperaturas de hasta 40°C, y a las temperaturas exteriores de su entorno inmediato;
 - g) deben ser compatibles con el agua suministrada y no deben favorecer la migración de sustancias de los materiales en cantidades que sean un riesgo para la salubridad y limpieza del agua de consumo humano;
 - h) su envejecimiento, fatiga, durabilidad y las restantes características mecánicas, físicas o químicas, no deben disminuir la vida útil prevista de la instalación.
- 4 Para cumplir las condiciones anteriores pueden utilizarse revestimientos, sistemas de protección o sistemas de tratamiento de agua.

5 La instalación de suministro de agua debe tener características adecuadas para evitar el desarrollo de gérmenes patógenos y no favorecer el desarrollo de la biocapa (biofilm).

2.1.2 Protección contra retornos

1 Se dispondrán sistemas antirretorno para evitar la inversión del sentido del flujo en los puntos que figuran a continuación, así como en cualquier otro que resulte necesario:

- a) después de los contadores;
- b) en la base de las ascendentes;
- c) antes del equipo de tratamiento de agua;
- d) en los tubos de alimentación no destinados a usos domésticos;
- e) antes de los aparatos de refrigeración o climatización.

2 Las instalaciones de suministro de agua no podrán conectarse directamente a instalaciones de evacuación ni a instalaciones de suministro de agua proveniente de otro origen que la red pública.

3 En los aparatos y equipos de la instalación, la llegada de agua se realizará de tal modo que no produzcan retornos.

4 Los antirretornos se dispondrán combinados con grifos de vaciado de tal forma que siempre sea posible vaciar cualquier tramo de la red.

2.1.3 Condiciones mínimas de suministro

1 La instalación debe suministrar a los aparatos y equipos del equipamiento higiénico los caudales que figuran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm ³ /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm ³ /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

2 En los puntos de consumo la presión mínima debe ser:

- a) 100 kPa para grifos comunes;
- b) 150 kPa para fluxores y calentadores.

3 La presión en cualquier punto de consumo no debe superar 500 kPa.

4 La temperatura de ACS en los puntos de consumo debe estar comprendida entre 50°C y 65°C excepto en las instalaciones ubicadas en edificios dedicados a uso exclusivo de vivienda siempre que estas no afecten al ambiente exterior de dichos edificios.

2.1.4 Mantenimiento

1 Excepto en viviendas aisladas y adosadas, los elementos y equipos de la instalación que lo requieran, tales como el grupo de presión, los sistemas de tratamiento de agua o los contadores, deben instalarse en locales cuyas dimensiones sean suficientes para que pueda llevarse a cabo su mantenimiento adecuadamente.

2 Las redes de tuberías, incluso en las instalaciones interiores particulares si fuera posible, deben diseñarse de tal forma que sean accesibles para su mantenimiento y reparación, para lo cual deben estar a la vista, alojadas en huecos o patinillos registrables o disponer de arquetas o registros.

2.2 Señalización

1 Si se dispone una instalación para suministrar agua que no sea apta para el consumo, las tuberías, los grifos y los demás puntos terminales de esta instalación deben estar adecuadamente señalados para que puedan ser identificados como tales de forma fácil e inequívoca.

2.3 Ahorro de agua

1 Debe disponerse un sistema de contabilización tanto de agua fría como de agua caliente para cada unidad de consumo individualizable.

2 En las redes de ACS debe disponerse una red de retorno cuando la longitud de la tubería de ida al punto de consumo más alejado sea igual o mayor que 15 m.

3 En las zonas de pública concurrencia de los edificios, los grifos de los lavabos y las cisternas deben estar dotados de dispositivos de ahorro de agua.

3 Diseño

1 La instalación de suministro de agua desarrollada en el proyecto del edificio debe estar compuesta de una acometida, una instalación general y, en función de si la contabilización es única o múltiple, de derivaciones colectivas o instalaciones particulares.

3.1 Esquema general de la instalación

1 El esquema general de la instalación debe ser de uno de los dos tipos siguientes:

a) Red con contador general único, según el esquema de la figura 3.1, y compuesta por la acometida, la instalación general que contiene un armario o arqueta del contador general, un tubo de alimentación y un distribuidor principal; y las derivaciones colectivas.

b) Red con contador general único, según el esquema de la figura 3.1, y compuesta por la acometida, la instalación general que contiene un armario o arqueta del contador general, un tubo de alimentación y un distribuidor principal; y las derivaciones colectivas.

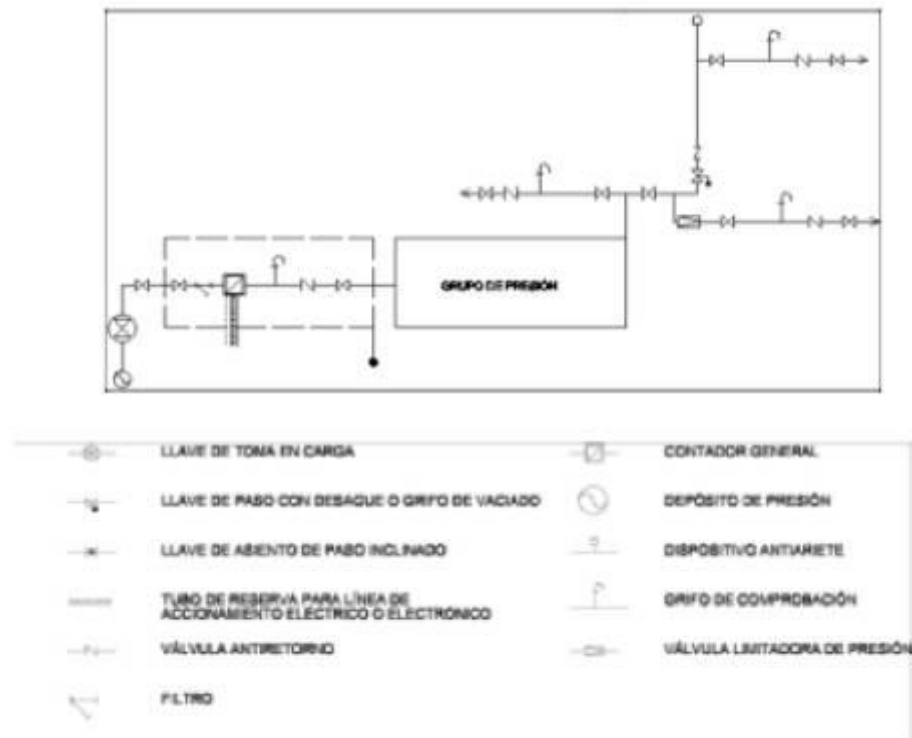


Figura 3.1 Esquema de red con contador general

- c) red con contadores aislados, según el esquema de la figura 3.2, compuesta por la acometida, la instalación general que contiene los contadores aislados, las instalaciones particulares y las derivaciones colectivas.

3.2 Elementos que componen la instalación

3.2.1 Red de agua fría

3.2.1.1 Acometida

1 La *acometida* debe disponer, como mínimo, de los elementos siguientes:

- una llave de toma o un collarín de toma en carga, sobre la tubería de distribución de la red exterior de suministro que abra el paso a la acometida;
- un tubo de acometida que enlace la llave de toma con la llave de corte general;
- Una llave de corte en el exterior de la propiedad

2 En el caso de que la acometida se realice desde una captación privada o en zonas rurales en las que no exista una red general de suministro de agua, los equipos a instalar (además de la captación propiamente dicha) serán los siguientes: válvula de pié, bomba para el trasiego del agua y válvulas de registro y general de corte.

3.2.1.2 Instalación general

1 La *instalación* general debe contener, en función del esquema adoptado, los elementos que le correspondan de los que se citan en los apartados siguientes.

3.2.1.2.1 Llave de corte general

1 La llave de corte general servirá para interrumpir el suministro al edificio, y estará situada dentro de la propiedad, en una zona de uso común, accesible para su manipulación y señalada adecuadamente para permitir su identificación. Si se dispone armario o arqueta del contador general, debe alojarse en su interior.

3.2.1.2.2 Filtro de la instalación general

1 El filtro de la instalación general debe retener los residuos del agua que puedan dar lugar a corrosiones en las canalizaciones metálicas. Se instalará a continuación de la llave de corte general. Si se dispone armario o arqueta del contador general, debe alojarse en su interior. El filtro debe ser de tipo Y con un umbral de filtrado comprendido entre 25 y 50 μm , con malla de acero inoxidable y baño de plata, para evitar la formación de bacterias y autolimpiable. La situación del filtro debe ser tal que permita realizar adecuadamente las operaciones de limpieza y mantenimiento sin necesidad de corte de suministro.

3.2.1.2.3 Armario o arqueta del contador general

1 El armario o arqueta del contador general contendrá, dispuestos en este orden, la llave de corte general, un filtro de la instalación general, el contador, una llave, grifo o racor de prueba, una válvula de retención y una llave de salida. Su instalación debe realizarse en un plano paralelo al del suelo.

2 La llave de salida debe permitir la interrupción del suministro al edificio. La llave de corte general y la de salida servirán para el montaje y desmontaje del contador general.

3.2.1.2.4 Tubo de alimentación

1 El trazado del *tubo de alimentación* debe realizarse por zonas de uso común. En caso de ir empotrado deben disponerse registros para su inspección y control de fugas, al menos en sus extremos y en los cambios de dirección.

3.2.1.2.5 Distribuidor principal

1 El trazado del *distribuidor principal* debe realizarse por zonas de uso común. En caso de ir empotrado deben disponerse registros para su inspección y control de fugas, al menos en sus extremos y en los cambios de dirección.

2 Debe adoptarse la solución de distribuidor en anillo en edificios tales como los de uso sanitario, en los que en caso de avería o reforma el suministro interior deba quedar garantizado.

3 Deben disponerse llaves de corte en todas las derivaciones, de tal forma que en caso de avería en cualquier punto no deba interrumpirse todo el suministro.

3.2.1.2.6 Ascendentes o montantes

1 Las ascendentes o montantes deben discurrir por zonas de uso común del mismo.

2 Deben ir alojadas en recintos o huecos, contruidos a tal fin. Dichos recintos o huecos, que podrán ser de uso compartido solamente con otras instalaciones de agua del edificio, deben ser registrables y tener las dimensiones suficientes para que puedan realizarse las operaciones de mantenimiento.

3 Las ascendentes deben disponer en su base de una válvula de retención, una llave de corte para las operaciones de mantenimiento, y de una llave de paso con grifo o tapón de vaciado, situadas en zonas de fácil acceso y señaladas de forma conveniente. La válvula de retención se dispondrá en primer lugar, según el sentido de circulación del agua.

4 En su parte superior deben instalarse dispositivos de purga, automáticos o manuales, con un separador o cámara que reduzca la velocidad del agua facilitando la salida del aire y disminuyendo los efectos de los posibles golpes de ariete.

3.2.1.2.7 Contadores divisionarios

1 Los contadores divisionarios deben situarse en zonas de uso común del edificio, de fácil y libre acceso.

2 Contarán con preinstalación adecuada para una conexión de envío de señales para lectura a distancia del contador.

3 Antes de cada contador divisionario se dispondrá una llave de corte. Después de cada contador se dispondrá una válvula de retención.

3.2.1.3 Instalaciones particulares

1 Las instalaciones particulares estarán compuestas de los elementos siguientes:

- a) una llave de paso situada en el interior de la propiedad particular en lugar accesible para su manipulación;
- b) derivaciones particulares, cuyo trazado se realizará de forma tal que las derivaciones a los cuartos húmedos sean independientes. Cada una de estas derivaciones contará con una llave de corte, tanto para agua fría como para agua caliente;
- c) ramales de enlace;
- d) puntos de consumo, de los cuales, todos los aparatos de descarga, tanto depósitos como grifos, los calentadores de agua instantáneos, los acumuladores, las calderas individuales de producción de ACS y calefacción y, en general, los aparatos sanitarios, llevarán una llave de corte individual.

3.2.1.4 Derivaciones colectivas

1 Discurrirán por zonas comunes y en su diseño se aplicarán condiciones análogas a las de las instalaciones particulares.

3.2.1.5 Sistemas de control y regulación de la presión

3.2.1.5.1 Sistemas de sobreelevación: grupos de presión

1 El sistema de sobreelevación debe diseñarse de tal manera que se pueda suministrar a zonas del edificio alimentables con presión de red, sin necesidad de la puesta en marcha del grupo.

2 El grupo de presión debe ser de alguno de los dos tipos siguientes:

- a) convencional, que contará con:
 - i) depósito auxiliar de alimentación, que evite la toma de agua directa por el equipo de bombeo;
 - ii) equipo de bombeo, compuesto, como mínimo, de dos bombas de iguales prestaciones y funcionamiento alterno, montadas en paralelo;
 - iii) depósitos de presión con membrana, conectados a dispositivos suficientes de valoración de los parámetros de presión de la instalación, para su puesta en marcha y parada automáticas;
- b) de accionamiento regulable, también llamados de caudal variable, que podrá prescindir del depósito auxiliar de alimentación y contará con un variador de frecuencia que accionará las bombas manteniendo constante la presión de salida, independientemente del caudal solicitado o disponible. Una de las bombas mantendrá la parte de caudal necesario para el mantenimiento de la presión adecuada.

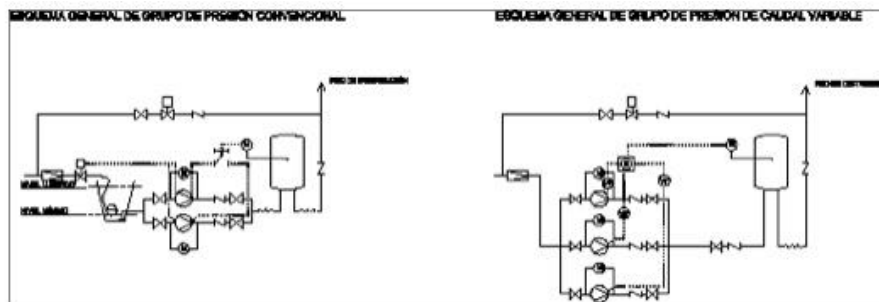


Figura 3.3 Grupos de presión

3 El grupo de presión se instalará en un local de uso exclusivo que podrá albergar también el sistema de tratamiento de agua. Las dimensiones de dicho local serán suficientes para realizar las operaciones de mantenimiento.

3.2.1.5.2 Sistemas de reducción de la presión

- 1 Deben instalarse válvulas limitadoras de presión en el ramal o derivación pertinente para que no se supere la presión de servicio máxima establecida en 2.1.3.
- 2 Cuando se prevean incrementos significativos en la presión de red deben instalarse válvulas limitadoras de tal forma que no se supere la presión máxima de servicio en los puntos de utilización.

3.2.1.6 Sistemas de tratamiento de agua

3.2.1.6.1 Condiciones generales

1 En el caso de que se quiera instalar un sistema de tratamiento en la instalación interior no deberá empeorar el agua suministrada y en ningún caso incumplir con los valores paramétricos establecidos en el Anexo I del Real Decreto 140/2003.

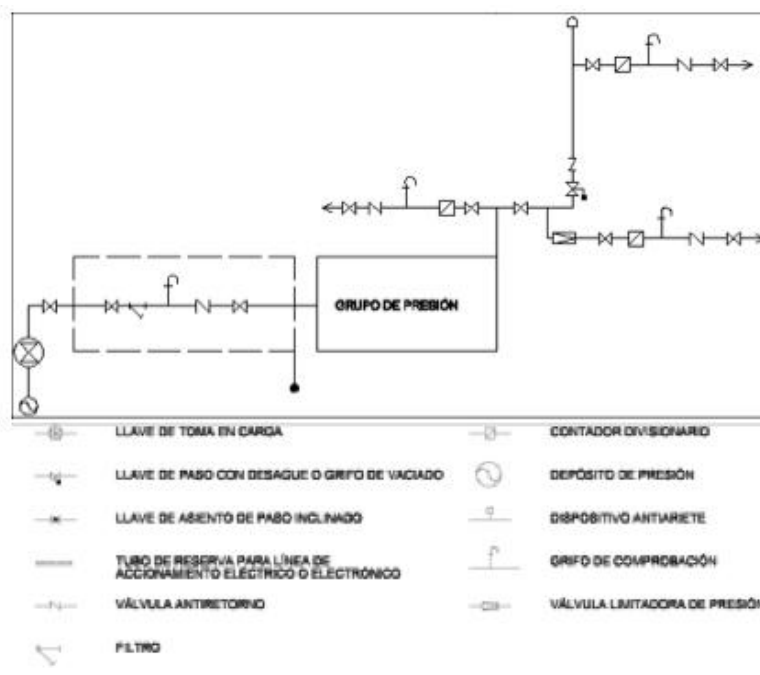


Figura 3.2 Esquema de red con contadores aislados

3.2.1.6.2 Exigencias de los materiales

1 Los materiales utilizados en la fabricación de los equipos de tratamiento de agua deben tener las características adecuadas en cuanto a resistencia mecánica, química y microbiológica para cumplir con los requerimientos inherentes tanto al agua como al proceso de tratamiento.

3.2.1.6.3 Exigencias de funcionamiento

- 1 Deben realizarse las derivaciones adecuadas en la red de forma que la parada momentánea del sistema no suponga discontinuidad en el suministro de agua al edificio.
- 2 Los sistemas de tratamiento deben estar dotados de dispositivos de medida que permitan comprobar la eficacia prevista en el tratamiento del agua.
- 3 Los equipos de tratamiento deben disponer de un contador que permita medir, a su entrada, el agua utilizada para su mantenimiento.

3.2.1.6.4 Productos de tratamiento

1 Los productos químicos utilizados en el proceso deben almacenarse en condiciones de seguridad en función de su naturaleza y su forma de utilización. La entrada al local destinado a su almacenamiento debe estar dotada de un sistema para que el acceso sea restringido a las personas autorizadas para su manipulación.

3.2.1.6.5 Situación del equipo

1 El local en que se instale el equipo de tratamiento de agua debe ser preferentemente de uso exclusivo, aunque si existiera un sistema de sobreelevación podrá compartir el espacio de instalación con éste. En cualquier caso su acceso se producirá desde el exterior o desde zonas comunes del edificio, estando restringido al personal autorizado. Las dimensiones del local serán las adecuadas para alojar los dispositivos necesarios, así como para realizar un correcto mantenimiento y conservación de los mismos. Dispondrá de desagüe a la red general de saneamiento del inmueble, así como un grifo o toma de suministro de agua.

3.2.2 Instalaciones de agua caliente sanitaria (ACS)

3.2.2.1 Distribución (impulsión y retorno)

- 1 En el diseño de las instalaciones de ACS deben aplicarse condiciones análogas a las de las redes de agua fría.
- 2 En los edificios en los que sea de aplicación la contribución mínima de energía solar para la producción de agua caliente sanitaria, de acuerdo con la sección HE-4 del DB-HE, deben disponerse, además de las tomas de agua fría, previstas para la conexión de la lavadora y el lavavajillas, sendas tomas de agua caliente para permitir la instalación de equipos bitérmicos.
- 3 Tanto en instalaciones individuales como en instalaciones de producción centralizada, la red de distribución debe estar dotada de una red de retorno cuando la longitud de la tubería de ida al punto de consumo más alejado sea igual o mayor que 15 m.
- 4 La red de retorno se compondrá de
 - a) un colector de retorno en las distribuciones por grupos múltiples de columnas. El colector debe tener canalización con pendiente descendente desde el extremo superior de las columnas de ida hasta la columna de retorno. Cada colector puede recoger todas o varias de las columnas de ida, que tengan igual presión;
 - b) columnas de retorno: desde el extremo superior de las columnas de ida, o desde el colector de retorno, hasta el acumulador o calentador centralizado.
- 5 Las redes de retorno discurrirán paralelamente a las de impulsión.
- 6 En los montantes, debe realizarse el retorno desde su parte superior y por debajo de la última derivación particular. En la base de dichos montantes se dispondrán válvulas de asiento para regular y equilibrar hidráulicamente el retorno.
- 7 Excepto en viviendas unifamiliares o en instalaciones pequeñas, se dispondrá una bomba de recirculación doble, de montaje paralelo o “gemelas”, funcionando de forma análoga a como se

especifica para las del grupo de presión de agua fría. En el caso de las instalaciones individuales podrá estar incorporada al equipo de producción.

8 Para soportar adecuadamente los movimientos de dilatación por efectos térmicos deben tomarse las precauciones siguientes:

- a) en las distribuciones principales deben disponerse las tuberías y sus anclajes de tal modo que dilaten libremente, según lo establecido en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITE para las redes de calefacción;
- b) en los tramos rectos se considerará la dilatación lineal del material, previendo dilatadores si fuera necesario, cumpliéndose para cada tipo de tubo las distancias que se especifican en el Reglamento antes citado.

9 El aislamiento de las redes de tuberías, tanto en impulsión como en retorno, debe ajustarse a lo dispuesto en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITE.

3.2.2.2 Regulación y control

1 En las instalaciones de ACS se regulará y se controlará la temperatura de preparación y la de distribución.

2 En las instalaciones individuales los sistemas de regulación y de control de la temperatura estarán incorporados a los equipos de producción y preparación. El control sobre la recirculación en sistemas individuales con producción directa será tal que pueda recircularse el agua sin consumo hasta que se alcance la temperatura adecuada.

3.3 Protección contra retornos

3.3.1 Condiciones generales de la instalación de suministro

1 La constitución de los aparatos y dispositivos instalados y su modo de instalación deben ser tales que se impida la introducción de cualquier fluido en la instalación y el retorno del agua salida de ella.

2 La instalación no puede empalmarse directamente a una conducción de evacuación de aguas residuales.

3 No pueden establecerse uniones entre las conducciones interiores empalmadas a las redes de distribución pública y otras instalaciones, tales como las de aprovechamiento de agua que no sea procedente de la red de distribución pública.

4 Las instalaciones de suministro que dispongan de sistema de tratamiento de agua deben estar provistas de un dispositivo para impedir el retorno; este dispositivo debe situarse antes del sistema y lo más cerca posible del contador general si lo hubiera.

3.3.2 Puntos de consumo de alimentación directa

1 En todos los aparatos que se alimentan directamente de la distribución de agua, tales como bañeras, lavabos, bidés, fregaderos, lavaderos, y en general, en todos los recipientes, el nivel inferior de la llegada del agua debe verter a 20 mm, por lo menos, por encima del borde superior del recipiente.

2 Los rociadores de ducha manual deben tener incorporado un dispositivo antirretorno.

3.3.3 Depósitos cerrados

1 En los depósitos cerrados aunque estén en comunicación con la atmósfera, el tubo de alimentación desembocará 40 mm por encima del nivel máximo del agua, o sea por encima del punto más alto de la boca del aliviadero. Este aliviadero debe tener una capacidad suficiente para evacuar un caudal doble del máximo previsto de entrada de agua.

3.3.4 Derivaciones de uso colectivo

- 1 Los tubos de alimentación que no estén destinados exclusivamente a necesidades domésticas deben estar provistos de un dispositivo antirretorno y una purga de control.
- 2 Las derivaciones de uso colectivo de los edificios no pueden conectarse directamente a la red pública de distribución, salvo que fuera una instalación única en el edificio

3.3.5 Conexión de calderas

- 1 Las calderas de vapor o de agua caliente con sobrepresión no se empalmarán directamente a la red pública de distribución. Cualquier dispositivo o aparato de alimentación que se utilice partirá de un depósito, para el que se cumplirán las anteriores disposiciones.

3.3.6 Grupos motobomba

- 1 Las bombas no deben conectarse directamente a las tuberías de llegada del agua de suministro, sino que deben alimentarse desde un depósito, excepto cuando vayan equipadas con los dispositivos de protección y aislamiento que impidan que se produzca depresión en la red.
- 2 Esta protección debe alcanzar también a las bombas de caudal variable que se instalen en los grupos de presión de acción regulable e incluirá un dispositivo que provoque el cierre de la aspiración y la parada de la bomba en caso de depresión en la tubería de alimentación y un depósito de protección contra las sobrepresiones producidas por golpe de ariete.
- 3 En los grupos de sobreelevación de tipo convencional, debe instalarse una válvula antirretorno, de tipo membrana, para amortiguar los posibles golpes de ariete.

3.4 Separaciones respecto de otras instalaciones

- 1 El tendido de las tuberías de agua fría debe hacerse de tal modo que no resulten afectadas por los focos de calor y por consiguiente deben discurrir siempre separadas de las canalizaciones de agua caliente (ACS o calefacción) a una distancia de 4 cm, como mínimo. Cuando las dos tuberías estén en un mismo plano vertical, la de agua fría debe ir siempre por debajo de la de agua caliente.
- 2 Las tuberías deben ir por debajo de cualquier canalización o elemento que contenga dispositivos eléctricos o electrónicos, así como de cualquier red de telecomunicaciones, guardando una distancia en paralelo de al menos 30 cm.
- 3 Con respecto a las conducciones de gas se guardará al menos una distancia de 3 cm.

3.5 Señalización

- 1 Las tuberías de agua potable se señalarán con los colores verde oscuro o azul.
- 2 Si se dispone una instalación para suministrar agua que no sea apta para el consumo, las tuberías, los grifos y los demás puntos terminales de esta instalación deben estar adecuadamente señalados para que puedan ser identificados como tales de forma fácil e inequívoca.

3.6 Ahorro de agua

- 1 Todos los edificios en cuyo uso se prevea la concurrencia pública deben contar con dispositivos de ahorro de agua en los grifos. Los dispositivos que pueden instalarse con este fin son: grifos con aireadores, grifería termostática, grifos con sensores infrarrojos, grifos con pulsador temporizador, fluxores y llaves de regulación antes de los puntos de consumo.
- 2 Los equipos que utilicen agua para consumo humano en la condensación de agentes frigoríficos, deben equiparse con sistemas de recuperación de agua.

4 Dimensionado

4.1 Reserva de espacio en el edificio

- 1 En los edificios dotados con contador general único se preverá un espacio para un armario o una cámara para alojar el contador general de las dimensiones indicadas en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Dimensiones del armario y de la arqueta para el contador general

Dimensiones en mm	Diámetro nominal del contador en mm										
	Armario					Cámara					
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
Largo	600	600	900	900	1300	2100	2100	2200	2500	3000	3000
Ancho	500	500	500	500	600	700	700	800	800	800	800
Alto	200	200	300	300	500	700	700	800	900	1000	1000

4.2 Dimensionado de las redes de distribución

1 El cálculo se realizará con un primer dimensionado seleccionando el tramo más desfavorable de la misma y obteniéndose unos diámetros previos que posteriormente habrá que comprobar en función de la pérdida de carga que se obtenga con los mismos.

2 Este dimensionado se hará siempre teniendo en cuenta las peculiaridades de cada instalación y los diámetros obtenidos serán los mínimos que hagan compatibles el buen funcionamiento y la economía de la misma.

4.2.1 Dimensionado de los tramos

1 El dimensionado de la red se hará a partir del dimensionado de cada tramo, y para ello se partirá del circuito considerado como más desfavorable que será aquel que cuente con la mayor pérdida de presión debida tanto al rozamiento como a su altura geométrica.

2 El dimensionado de los tramos se hará de acuerdo al procedimiento siguiente:

- a) el caudal máximo de cada tramos será igual a la suma de los caudales de los puntos de consumo alimentados por el mismo de acuerdo con la tabla 2.1.
- b) establecimiento de los coeficientes de simultaneidad de cada tramo de acuerdo con un criterio adecuado.
- c) determinación del caudal de cálculo en cada tramo como producto del caudal máximo por el coeficiente de simultaneidad correspondiente.
- d) elección de una velocidad de cálculo comprendida dentro de los intervalos siguientes:

- i) tuberías metálicas: entre 0,50 y 2,00 m/s
- ii) tuberías termoplásticas y multicapas: entre 0,50 y 3,50 m/s

- e) Obtención del diámetro correspondiente a cada tramo en función del caudal y de la velocidad.

4.2.2 Comprobación de la presión

1 Se comprobará que la presión disponible en el punto de consumo más desfavorable supera con los valores mínimos indicados en el apartado 2.1.3 y que en todos los puntos de consumo no se supera el valor máximo indicado en el mismo apartado, de acuerdo con lo siguiente:

- a) determinar la pérdida de presión del circuito sumando las pérdidas de presión total de cada tramo. Las perdidas de carga localizadas podrán estimarse en un 20% al 30% de la producida sobre la longitud real del tramo o evaluarse a partir de los elementos de la instalación.
- b) comprobar la suficiencia de la presión disponible: una vez obtenidos los valores de las pérdidas de presión del circuito, se comprueba si son sensiblemente iguales a la presión disponible que queda después de descontar a la presión total, la altura

geométrica y la residual del punto de consumo más desfavorable. En el caso de que la presión disponible en el punto de consumo fuera inferior a la presión mínima exigida sería necesaria la instalación de un grupo de presión.

4.3 Dimensionado de las derivaciones a cuartos húmedos y ramales de enlace

1 Los ramales de enlace a los aparatos domésticos se dimensionarán conforme a lo que se establece en la tabla 4.2. En el resto, se tomarán en cuenta los criterios de suministro dados por las características de cada aparato y se dimensionará en consecuencia.

Tabla 4.2 Diámetros mínimos de derivaciones a los aparatos

Aparato o punto de consumo	Diámetro nominal del ramal de enlace	
	Tubo de acero	Tubo de cobre o plástico (mm)
Lavamanos	½	12
Lavabo, bidé	½	12
Ducha	½	12
Bañera <1,40 m	¾	20
Bañera >1,40 m	¾	20
Inodoro con cisterna	½	12
Inodoro con fluxor	1- 1 ½	25-40
Urinario con grifo temporizado	½	12
Urinario con cisterna	½	12
Fregadero doméstico	½	12
Fregadero industrial	¾	20
Lavavajillas doméstico	½ (rosca a ¾)	12
Lavavajillas industrial	¾	20
Lavadora doméstica	¾	20
Lavadora industrial	1	25
Vertedero	¾	20

2 Los diámetros de los diferentes tramos de la red de suministro se dimensionarán conforme al procedimiento establecido en el apartado 4.2, adoptándose como mínimo los valores de la tabla 4.3:

Tabla 4.3 Diámetros mínimos de alimentación

Tramo considerado	Diámetro nominal del tubo de alimentación	
	Acero	Cobre o plástico (mm)
Alimentación a cuarto húmedo privado: baño, aseo, cocina.	$\frac{3}{4}$	20
Alimentación a derivación particular: vivienda, apartamento, local comercial	$\frac{3}{4}$	20
Columna (montante o descendente)	$\frac{3}{4}$	20
Distribuidor principal	1	25
< 50 kW	$\frac{1}{2}$	12
Alimentación equipos de climatización 50 - 250 kW	$\frac{3}{4}$	20
250 - 500 kW	1	25
> 500 kW	$1 \frac{1}{4}$	32

4.4 Dimensionado de las redes de ACS

4.4.1 Dimensionado de las redes de impulsión de ACS

1 Para las redes de impulsión o ida de ACS se seguirá el mismo método de cálculo que para redes de agua fría.

4.4.2 Dimensionado de las redes de retorno de ACS

1 Para determinar el caudal que circulará por el circuito de retorno, se estimará que en el grifo más alejado, la pérdida de temperatura sea como máximo de 3 °C desde la salida del acumulador o intercambiador en su caso.

2 En cualquier caso no se recircularán menos de 250 l/h en cada columna, si la instalación responde a este esquema, para poder efectuar un adecuado equilibrado hidráulico.

3 El caudal de retorno se podrá estimar según reglas empíricas de la siguiente forma:

- considerar que se recircula el 10% del agua de alimentación, como mínimo. De cualquier forma se considera que el diámetro interior mínimo de la tubería de retorno es de 16 mm.
- los diámetros en función del caudal recirculado se indican en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Relación entre diámetro de tubería y caudal recirculado de ACS

Diámetro nominal de la tubería	Caudal recirculado (l/h)
$\frac{1}{2}$	140
$\frac{3}{4}$	300
1	600
$1 \frac{1}{4}$	1100
$1 \frac{1}{2}$	1800
2	3300

4.4.3 Cálculo del aislamiento térmico

1 El espesor del aislamiento de las conducciones, tanto en la ida como en el retorno, se dimensionará de acuerdo a lo indicado en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios RITE y sus Instrucciones Técnicas complementarias ITE.

4.4.4 Cálculo de dilatadores

1 En los materiales metálicos se podrá aplicar lo especificado en la norma UNE 100 156:1989 y para los materiales termoplásticos lo indicado en la norma UNE ENV 12 108:2002.
2 En todo tramo recto sin conexiones intermedias con una longitud superior a 25 m se deben adoptar las medidas oportunas para evitar posibles tensiones excesivas de la tubería, motivadas por las contracciones y dilataciones producidas por las variaciones de temperatura. El mejor punto para colocarlos se encuentra equidistante de las derivaciones más próximas en los montantes.

4.5 Dimensionado de los equipos, elementos y dispositivos de la instalación

4.5.1 Dimensionado de los contadores

1 El calibre nominal de los distintos tipos de contadores se adecuará, tanto en agua fría como caliente, a los caudales nominales y máximos de la instalación.

4.5.2 Cálculo del grupo de presión

4.5.2.1 Cálculo del depósito auxiliar de alimentación

1 El volumen del depósito se calculará en función del tiempo previsto de utilización, aplicando la siguiente expresión:

$$V = Q \cdot t \cdot 60 \quad (4.1)$$

siendo

V es el volumen del depósito [l];
Q es el caudal máximo simultáneo [dm³/s];
t es el tiempo estimado (de 15 a 20) [min].

2 La estimación de la capacidad de agua se podrá realizar con los criterios de la norma UNE 100 030:1994.

4.5.2.2 Cálculo de las bombas

1 El cálculo de las bombas se hará en función del caudal y de las presiones de arranque y parada de la/s bomba/s (mínima y máxima respectivamente), siempre que no se instalen bombas de caudal variable. En este segundo caso la presión será función del caudal solicitado en cada momento y siempre constante.

2 El número de bombas a instalar en el caso de un grupo de tipo convencional, excluyendo las de reserva, se determinará en función del caudal total del grupo. Se dispondrán dos bombas para caudales de hasta 10 dm³/s, tres para caudales de hasta 30 dm³/s y 4 para más de 30 dm³/s.

3 El caudal de las bombas será el máximo simultáneo de la instalación o caudal punta y vendrá fijado por el uso y necesidades de la instalación.

4 La presión mínima o de arranque (Pb) será el resultado de sumar la altura geométrica de aspiración (Ha), la altura geométrica (Hg), la pérdida de carga del circuito (Pc) y la presión residual en el grifo, llave o fluxor (Pr).

4.5.2.3 Cálculo del depósito de presión

1 Para la presión máxima se adoptará un valor que limite el número de arranques y paradas del grupo de forma que se prolongue lo más posible la vida útil del mismo. Este valor estará comprendido

entre 2 y 3 bar por encima del valor de la presión mínima.

2 El cálculo de su volumen se hará con la fórmula siguiente:

$$V_n = P_b \cdot V_a / P_a$$

siendo

V_n es el volumen útil del depósito de membrana;

P_b es la presión absoluta mínima;

V_a es el volumen mínimo de agua;

P_a es la presión absoluta máxima.

4.5.3 Cálculo del *diámetro nominal* del reductor de presión

1 El *diámetro nominal* se establecerá aplicando los valores especificados en la tabla 4.5 en función del caudal máximo simultáneo:

Tabla 4.5 Valores del *diámetro nominal* en función del caudal máximo simultáneo

<i>Diámetro nominal</i>	Caudal máximo simultáneo	
	dm ³ /s	m ³ /h
15	0,5	1,8
20	0,8	2,9
25	1,3	4,7
32	2,0	7,2
40	2,3	8,3
50	3,6	13,0
65	6,5	23,0
80	9,0	32,0
100	12,5	45,0
125	17,5	63,0
150	25,0	90,0
200	40,0	144,0
250	75,0	270,0

2 Nunca se calcularán en función del *diámetro nominal* de las tuberías.

4.5.4 Dimensionado de los sistemas y equipos de tratamiento de agua

4.5.4.1 Determinación del tamaño de los aparatos dosificadores

1 El tamaño apropiado del aparato se tomará en función del caudal punta en la instalación, así como del consumo mensual medio de agua previsto, o en su defecto se tomará como base un consumo de agua previsible de 60 m³ en 6 meses, si se ha de tratar tanto el agua fría como el ACS, y de 30 m³ en 6 meses si sólo ha de ser tratada el agua destinada a la elaboración de ACS.

2 El límite de trabajo superior del aparato dosificador, en m³/h, debe corresponder como mínimo al caudal máximo simultáneo o caudal punta de la instalación.

3 El volumen de dosificación por carga, en m³, no debe sobrepasar el consumo de agua previsto en 6 meses.

4.5.4.2 Determinación del tamaño de los equipos de descalcificación

1 Se tomará como caudal mínimo 80 litros por persona y día.

5 Construcción

5.1 Ejecución

- 1 La instalación de suministro de agua se ejecutará con sujeción al proyecto, a la legislación aplicable, a las normas de la buena construcción y a las instrucciones del director de obra y del director de la ejecución de la obra.
- 2 Durante la ejecución e instalación de los materiales, accesorios y productos de construcción en la instalación interior, se utilizarán técnicas apropiadas para no empeorar el agua suministrada y en ningún caso incumplir los valores paramétricos establecidos en el anexo I del Real Decreto 140/2003.

5.1.1 Ejecución de las redes de tuberías

5.1.1.1 Condiciones generales

- 1 La ejecución de las redes de tuberías se realizará de manera que se consigan los objetivos previstos en el proyecto sin dañar o deteriorar al resto del edificio, conservando las características del agua de suministro respecto de su potabilidad, evitando ruidos molestos, procurando las condiciones necesarias para la mayor duración posible de la instalación así como las mejores condiciones para su mantenimiento y conservación.
- 2 Las tuberías ocultas o empotradas discurrirán preferentemente por patinillos o cámaras de fábrica realizados al efecto o prefabricados, techos o suelos técnicos, muros cortina o tabiques técnicos. Si esto no fuera posible, por rozas realizadas en paramentos de espesor adecuado, no estando permitido su empotramiento en tabiques de ladrillo hueco sencillo. Cuando discurran por conductos, éstos estarán debidamente ventilados y contarán con un adecuado sistema de vaciado.
- 3 El trazado de las tuberías vistas se efectuará en forma limpia y ordenada. Si estuvieran expuestas a cualquier tipo de deterioro por golpes o choques fortuitos, deben protegerse adecuadamente.
- 4 La ejecución de redes enterradas atenderá preferentemente a la protección frente a fenómenos de corrosión, esfuerzos mecánicos y daños por la formación de hielo en su interior. Las conducciones no deben ser instaladas en contacto con el terreno, disponiendo siempre de un adecuado revestimiento de protección. Si fuese preciso, además del revestimiento de protección, se procederá a realizar una protección catódica, con ánodos de sacrificio y, si fuera el caso, con corriente impresa.

5.1.1.2 Uniones y juntas

- 1 Las uniones de los tubos serán estancas.
- 2 Las uniones de tubos resistirán adecuadamente la tracción, o bien la red la absorberá con el adecuado establecimiento de puntos fijos, y en tuberías enterradas mediante estribos y apoyos dispuestos en curvas y derivaciones.
- 3 En las uniones de tubos de acero galvanizado o zincado las roscas de los tubos serán del tipo cónico, de acuerdo a la norma UNE 10 242:1995. Los tubos sólo pueden soldarse si la protección interior se puede restablecer o si puede aplicarse una nueva. Son admisibles las soldaduras fuertes, siempre que se sigan las instrucciones del fabricante. Los tubos no se podrán curvar salvo cuando se verifiquen los criterios de la norma UNE EN 10 240:1998. En las uniones tubo-acesorio se observarán las indicaciones del fabricante.
- 4 Las uniones de tubos de cobre se podrán realizar por medio de soldadura o por medio de manguitos mecánicos. La soldadura, por capilaridad, blanda o fuerte, se podrá realizar mediante manguitos para soldar por capilaridad o por enchufe soldado. Los manguitos mecánicos podrán ser de compresión, de ajuste cónico y de pestañas.
- 5 Las uniones de tubos de plástico se realizarán siguiendo las instrucciones del fabricante.

5.1.1.3 Protecciones

5.1.1.3.1 Protección contra la corrosión

- 1 Las tuberías metálicas se protegerán contra la agresión de todo tipo de morteros, del contacto con el agua en su superficie exterior y de la agresión del terreno mediante la interposición de un elemento

separador de material adecuado e instalado de forma continua en todo el perímetro de los tubos y en toda su longitud, no dejando juntas de unión de dicho elemento que interrumpan la protección e instalándolo igualmente en todas las piezas especiales de la red, tales como codos, curvas.

2 Los revestimientos adecuados, cuando los tubos discurren enterrados o empotrados, según el material de los mismos, serán:

- a) Para tubos de acero con revestimiento de polietileno, bituminoso, de resina epoxídica o con alquitrán de poliuretano.
- b) Para tubos de cobre con revestimiento de plástico.
- c) Para tubos de fundición con revestimiento de película continua de polietileno, de resina epoxídica, con betún, con láminas de poliuretano o con zincado con recubrimiento de cobertura.

3 Los tubos de acero galvanizado empotrados para transporte de agua fría se recubrirán con una lechada de cemento, y los que se utilicen para transporte de agua caliente deben recubrirse preferentemente con una coquilla o envoltura aislante de un material que no absorba humedad y que permita las dilataciones y contracciones provocadas por las variaciones de temperatura.

4 Toda conducción exterior y al aire libre, se protegerá igualmente. En este caso, los tubos de acero podrán ser protegidos, además, con recubrimientos de cinc. Para los tubos de acero que discurren por cubiertas de hormigón se dispondrá de manera adicional a la envuelta del tubo de una lámina de retención de 1 m de ancho entre éstos y el hormigón. Cuando los tubos discurren por canales de suelo, ha de garantizarse que estos son impermeables o bien que disponen de adecuada ventilación y drenaje. En las redes metálicas enterradas, se instalará una junta dieléctrica después de la entrada al edificio y antes de la salida.

5 Para la corrosión por el uso de materiales distintos se aplicará lo especificado en el apartado 6.3.2.

6 Para la corrosión por elementos contenidos en el agua de suministro, además de lo reseñado, se instalarán los filtros especificados en el punto 6.3.1.

5.1.1.3.2 Protección contra las condensaciones

1 Tanto en tuberías empotradas u ocultas como en tuberías vistas, se considerará la posible formación de condensaciones en su superficie exterior y se dispondrá un elemento separador de protección, no necesariamente aislante pero si con capacidad de actuación como barrera antivapor, que evite los daños que dichas condensaciones pudieran causar al resto de la edificación.

2 Dicho elemento se instalará de la misma forma que se ha descrito para el elemento de protección contra los agentes externos, pudiendo en cualquier caso utilizarse el mismo para ambas protecciones.

3 Se considerarán válidos los materiales que cumplen lo dispuesto en la norma UNE 100 171:1989.

5.1.1.3.3 Protecciones térmicas

1 Los materiales utilizados como aislante térmico que cumplan la norma UNE 100 171:1989 se considerarán adecuados para soportar altas temperaturas.

2 Cuando la temperatura exterior del espacio por donde discurre la red pueda alcanzar valores capaces de helar el agua de su interior, se aislará térmicamente dicha red con aislamiento adecuado al material de constitución y al diámetro de cada tramo afectado, considerándose adecuado el que indica la norma UNE EN ISO 12 241:1999.

5.1.1.3.4 Protección contra esfuerzos mecánicos

1 Cuando una tubería haya de atravesar cualquier paramento del edificio u otro tipo de elemento constructivo que pudiera transmitirle esfuerzos perjudiciales de tipo mecánico, lo hará dentro de una funda, también de sección circular, de mayor diámetro y suficientemente resistente. Cuando en instalaciones vistas, el paso se produzca en sentido vertical, el pasatubos sobresaldrá al menos 3 centímetros por el lado en que pudieran producirse golpes ocasionales, con el fin de proteger al tubo. Igualmente, si se produce un cambio de sentido, éste sobresaldrá como mínimo una longitud igual al diámetro de la tubería más 1 centímetro.

- 2 Cuando la red de tuberías atraviese, en superficie o de forma empotrada, una junta de dilatación constructiva del edificio, se instalará un elemento o dispositivo dilatador, de forma que los posibles movimientos estructurales no le transmitan esfuerzos de tipo mecánico.
- 3 La suma de golpe de ariete y de presión de reposo no debe sobrepasar la sobrepresión de servicio admisible. La magnitud del golpe de ariete positivo en el funcionamiento de las válvulas y aparatos medido inmediatamente antes de estos, no debe sobrepasar 2 bar; el golpe de ariete negativo no debe descender por debajo del 50 % de la presión de servicio.

5.1.1.3.5 Protección contra ruidos

1 Como normas generales a adoptar, sin perjuicio de lo que pueda establecer el DB HR al respecto, se adoptarán las siguientes:

- a) los huecos o patinillos, tanto horizontales como verticales, por donde discurran las conducciones estarán situados en zonas comunes;
- b) a la salida de las bombas se instalarán conectores flexibles para atenuar la transmisión del ruido y las vibraciones a lo largo de la red de distribución. dichos conectores serán adecuados al tipo de tubo y al lugar de su instalación;

2 Los soportes y colgantes para tramos de la red interior con tubos metálicos que transporten el agua a velocidades de 1,5 a 2,0 m/s serán antivibratorios. Igualmente, se utilizarán anclajes y guías flexibles que vayan a estar rigidamente unidos a la estructura del edificio.

5.1.1.4 Accesorios

5.1.1.4.1 Grapas y abrazaderas

- 1 La colocación de grapas y abrazaderas para la fijación de los tubos a los paramentos se hará de forma tal que los tubos queden perfectamente alineados con dichos paramentos, guarden las distancias exigidas y no transmitan ruidos y/o vibraciones al edificio.
- 2 El tipo de grapa o abrazadera será siempre de fácil montaje y desmontaje, así como aislante eléctrico.
- 3 Si la velocidad del tramo correspondiente es igual o superior a 2 m/s, se interpondrá un elemento de tipo elástico semirrígido entre la abrazadera y el tubo.

5.1.1.4.2 Soportes

- 1 Se dispondrán soportes de manera que el peso de los tubos cargue sobre estos y nunca sobre los propios tubos o sus uniones.
- 2 No podrán anclarse en ningún elemento de tipo estructural, salvo que en determinadas ocasiones no sea posible otra solución, para lo cual se adoptarán las medidas preventivas necesarias. La longitud de empotramiento será tal que garantice una perfecta fijación de la red sin posibles desprendimientos.
- 3 De igual forma que para las grapas y abrazaderas se interpondrá un elemento elástico en los mismos casos, incluso cuando se trate de soportes que agrupan varios tubos.
- 4 La máxima separación que habrá entre soportes dependerá del tipo de tubería, de su diámetro y de su posición en la instalación.

5.1.2 Ejecución de los sistemas de medición del consumo. Contadores

5.1.2.1 Alojamiento del contador general

1 La cámara o arqueta de alojamiento estará construida de tal forma que una fuga de agua en la instalación no afecte al resto del edificio. A tal fin, estará impermeabilizada y contará con un desagüe en su piso o fondo que garantice la evacuación del caudal de agua máximo previsto en la acometida. El desagüe lo conformará un sumidero de tipo sifónico provisto de rejilla de acero inoxidable recibida en la superficie de dicho fondo o piso. El vertido se hará a la red de saneamiento general del edificio,

si ésta es capaz para absorber dicho caudal, y si no lo fuese, se hará directamente a la red pública de alcantarillado.

2 Las superficies interiores de la cámara o arqueta, cuando ésta se realice “in situ”, se terminarán adecuadamente mediante un enfocado, bruñido y fratasado, sin esquinas en el fondo, que a su vez tendrá la pendiente adecuada hacia el sumidero. Si la misma fuera prefabricada cumplirá los mismos requisitos de forma general.

3 En cualquier caso, contará con la preinstalación adecuada para una conexión de envío de señales para la lectura a distancia del contador.

4 Estarán cerradas con puertas capaces de resistir adecuadamente tanto la acción de la intemperie como posibles esfuerzos mecánicos derivados de su utilización y situación. En las mismas, se practicarán aberturas fijas, taladros o rejillas, que posibiliten la necesaria ventilación de la cámara. Irán provistas de cerradura y llave, para impedir la manipulación por personas no autorizadas, tanto del contador como de sus llaves.

5.1.2.2 Contadores individuales aislados

1 Se alojarán en cámara, arqueta o armario según las distintas posibilidades de instalación y cumpliendo los requisitos establecidos en el apartado anterior en cuanto a sus condiciones de ejecución. En cualquier caso este alojamiento dispondrá de desagüe capaz para el caudal máximo contenido en este tramo de la instalación, conectado, o bien a la red general de evacuación del edificio, o bien con una red independiente que recoja todos ellos y la conecte con dicha red general.

5.1.3 Ejecución de los sistemas de control de la presión

5.1.3.1 Montaje del grupo de sobreelevación

5.1.3.1.1 Depósito auxiliar de alimentación

1 En estos depósitos el agua de consumo humano podrá ser almacenada bajo las siguientes premisas:

- a) el depósito habrá de estar fácilmente accesible y ser fácil de limpiar. Contará en cualquier caso con tapa y esta ha de estar asegurada contra deslizamiento y disponer en la zona más alta de suficiente ventilación y aireación;
- b) Habrá que asegurar todas las uniones con la atmósfera contra la entrada de animales e inmisiones nocivas con dispositivos eficaces tales como tamices de trama densa para ventilación y aireación, sifón para el rebosado.

2 En cuanto a su construcción, será capaz de resistir las cargas previstas debidas al agua contenida más las debidas a la sobrepresión de la red si es el caso.

3 Estarán, en todos los casos, provistos de un rebosadero, considerando las disposiciones contra retorno del agua especificadas en el punto 3.3.

4 Se dispondrá, en la tubería de alimentación al depósito de uno o varios dispositivos de cierre para evitar que el nivel de llenado del mismo supere el máximo previsto. Dichos dispositivos serán válvulas pilotadas. En el caso de existir exceso de presión habrá de interponerse, antes de dichas válvulas, una que limite dicha presión con el fin de no producir el deterioro de las anteriores.

5 La centralita de maniobra y control del equipo dispondrá de un hidronivel de protección para impedir el funcionamiento de las bombas con bajo nivel de agua.

6 Se dispondrá de los mecanismos necesarios que permitan la fácil evacuación del agua contenida en el depósito, para facilitar su mantenimiento y limpieza. Así mismo, se construirán y conectarán de manera que el agua se renueve por su propio modo de funcionamiento evitando siempre la existencia de agua estancada.

5.1.3.1.2 Bombas

- 1 Se montarán sobre bancada de hormigón u otro tipo de material que garantice la suficiente masa e inercia al conjunto e impida la transmisión de ruidos y vibraciones al edificio.
- 2 A la salida de cada bomba se instalará un manguito elástico, con el fin de impedir la transmisión de vibraciones a la red de tuberías.
- 3 Igualmente, se dispondrán llaves de cierre, antes y después de cada bomba, de manera que se puedan desmontar sin interrupción del abastecimiento de agua.
- 4 Se realizará siempre una adecuada nivelación.
- 5 Las bombas de impulsión se instalarán preferiblemente sumergidas.

5.1.3.1.3 Depósito de presión

- 1 Estará dotado de un presostato con manómetro, tarado a las presiones máxima y mínima de servicio, haciendo las veces de interruptor, comandando la centralita de maniobra y control de las bombas, de tal manera que estas sólo funcionen en el momento en que disminuya la presión en el interior del depósito hasta los límites establecidos, provocando el corte de corriente, y por tanto la parada de los equipos de bombeo, cuando se alcance la presión máxima del aire contenido en el depósito. Los valores correspondientes de reglaje han de figurar de forma visible en el depósito.
- 2 En equipos con varias bombas de funcionamiento en cascada, se instalarán tantos presostatos como bombas se desee hacer entrar en funcionamiento. Dichos presostatos, se tararán mediante un valor de presión diferencial para que las bombas entren en funcionamiento consecutivo para ahorrar energía.
- 3 Cumplirán la reglamentación vigente sobre aparatos a presión y su construcción atenderá en cualquier caso, al uso previsto. Dispondrán, en lugar visible, de una placa en la que figure la contraseña de certificación, las presiones máximas de trabajo y prueba, la fecha de timbrado, el espesor de la chapa y el volumen.
- 4 El timbre de presión máxima de trabajo del depósito superará, al menos, en 1 bar, a la presión máxima prevista a la instalación.
- 5 Dispondrá de una válvula de seguridad, situada en su parte superior, con una presión de apertura por encima de la presión nominal de trabajo e inferior o igual a la presión de timbrado del depósito.
- 6 Con objeto de evitar paradas y puestas en marcha demasiado frecuentes del equipo de bombeo, con el consiguiente gasto de energía, se dará un margen suficientemente amplio entre la presión máxima y la presión mínima en el interior del depósito, tal como figura en los puntos correspondientes a su cálculo.
- 7 Si se instalaran varios depósitos, estos pueden disponerse tanto en línea como en derivación.
- 8 Las conducciones de conexión se instalarán de manera que el aire comprimido no pueda llegar ni a la entrada al depósito ni a su salida a la red de distribución.

5.1.3.2 Funcionamiento alternativo del grupo de presión convencional

- 1 Se preverá una derivación alternativa (by-pass) que una el tubo de alimentación con el tubo de salida del grupo hacia la red interior de suministro, de manera que no se produzca una interrupción total del abastecimiento por la parada de éste y que se aproveche la presión de la red de distribución en aquellos momentos en que ésta sea suficiente para abastecer nuestra instalación.
- 2 Esta derivación llevará incluidas una válvula de tres vías motorizada y una válvula antirretorno posterior a ésta. La válvula de tres vías estará accionada automáticamente por un manómetro y su correspondiente presostato, en función de la presión de la red de suministro, dando paso al agua cuando ésta tome valor suficiente de abastecimiento y cerrando el paso al grupo de presión, de manera que éste sólo funcione cuando sea imprescindible. El accionamiento de la válvula también podrá ser manual para discriminar el sentido de circulación del agua en base a otras causas tales como avería, interrupción del suministro eléctrico, etc.
- 3 Cuando en un edificio se produzca la circunstancia de tener que recurrir a un doble distribuidor principal para dar servicio a plantas con presión de red y servicio a plantas mediante grupo de presión podrá optarse por no duplicar dicho distribuidor y hacer funcionar la válvula de tres vías con presiones máxima y/o mínima para cada situación.
- 4 Dadas las características de funcionamiento de los grupos de presión con accionamiento regulable, no será imprescindible, aunque sí aconsejable, la instalación de ningún tipo de circuito alternativo.

5.1.3.3 Ejecución y montaje del reductor de presión

- 1 Cuando existan baterías mezcladoras, se instalará una reducción de presión centralizada.
- 2 Se instalarán libres de presiones y preferentemente con la caperuza de muelle dispuesta en vertical.
- 3 Asimismo, se dispondrá de un racor de conexión para la instalación de un aparato de medición de presión o un puente de presión diferencial. Para impedir reacciones sobre el reductor de presión debe disponerse en su lado de salida como tramo de retardo con la misma medida nominal, un tramo de tubo de una longitud mínima de cinco veces el diámetro interior.
- 4 Si en el lado de salida se encuentran partes de la instalación que por un cierre incompleto del reductor serán sobrecargadas con una presión no admisible, hay que instalar una válvula de seguridad. La presión de salida del reductor en estos casos ha de ajustarse como mínimo un 20 % por debajo de la presión de reacción de la válvula de seguridad.
- 5 Si por razones de servicio se requiere un by-pass, éste se proveerá de un reductor de presión. Los reductores de presión se elegirán de acuerdo con sus correspondientes condiciones de servicio y se instalarán de manera que exista circulación por ambos.

5.1.4 Montaje de los filtros

- 1 El filtro ha de instalarse antes del primer llenado de la instalación, y se situará inmediatamente delante del contador según el sentido de circulación del agua. Deben instalarse únicamente filtros adecuados.
- 2 En la ampliación de instalaciones existentes o en el cambio de tramos grandes de instalación, es conveniente la instalación de un filtro adicional en el punto de transición, para evitar la transferencia de materias sólidas de los tramos de conducción existentes.
- 3 Para no tener que interrumpir el abastecimiento de agua durante los trabajos de mantenimiento, se recomienda la instalación de filtros retroenjuagables o de instalaciones paralelas.
- 4 Hay que conectar una tubería con salida libre para la evacuación del agua del autolimpiado.

5.1.4.1 Instalación de aparatos dosificadores

- 1 Sólo deben instalarse aparatos de dosificación conformes con la reglamentación vigente.
- 2 Cuando se deba tratar todo el agua potable dentro de una instalación, se instalará el aparato de dosificación detrás de la instalación de contador y, en caso de existir, detrás del filtro y del reductor de presión.
- 3 Si sólo ha de tratarse el agua potable para la producción de ACS, entonces se instala delante del grupo de válvulas en la alimentación de agua fría al generador de ACS.

5.1.4.2 Montaje de los equipos de descalcificación

- 1 La tubería para la evacuación del agua de enjuagado y regeneración debe conectarse con salida libre.
- 2 Cuando se deba tratar todo el agua potable dentro de una instalación, se instalará el aparato de descalcificación detrás de la instalación de contador, del filtro incorporado y delante de un aparato de dosificación eventualmente existente.
- 3 Cuando sólo deba tratarse el agua potable para la producción de ACS, entonces se instalará, delante del grupo de valvulería, en la alimentación de agua fría al generador de ACS.
- 4 Cuando sea pertinente, se mezclará el agua descalcificada con agua dura para obtener la adecuada dureza de la misma.
- 5 Cuando se monte un sistema de tratamiento electrolítico del agua mediante ánodos de aluminio, se instalará en el último acumulador de ACS de la serie, como especifica la norma UNE 100 050:2000.

5.2 Puesta en servicio

5.2.1 Pruebas y ensayos de las instalaciones

5.2.1.1 Pruebas de las instalaciones interiores

- 1 La empresa instaladora estará obligada a efectuar una prueba de resistencia mecánica y estanquidad de todas las tuberías, elementos y accesorios que integran la instalación, estando todos sus componentes vistos y accesibles para su control.
- 2 Para iniciar la prueba se llenará de agua toda la instalación, manteniendo abiertos los grifos terminales hasta que se tenga la seguridad de que la purga ha sido completa y no queda nada de aire. Entonces se cerrarán los grifos que han servido de purga y el de la fuente de alimentación. A continuación se empleará la bomba, que ya estará conectada y se mantendrá su funcionamiento hasta alcanzar la presión de prueba. Una vez acondicionada, se procederá en función del tipo del material como sigue:
 - a) para las tuberías metálicas se considerarán válidas las pruebas realizadas según se describe en la norma UNE 100 151:1988 ;
 - b) para las tuberías termoplásticas y multicapas se considerarán válidas las pruebas realizadas conforme al Método A de la Norma UNE ENV 12 108:2002.
- 3 Una vez realizada la prueba anterior, a la instalación se le conectarán la grifería y los aparatos de consumo, sometiéndose nuevamente a la prueba anterior.
- 4 El manómetro que se utilice en esta prueba debe apreciar como mínimo intervalos de presión de 0,1 bar.
- 5 Las presiones aludidas anteriormente se refieren a nivel de la calzada.

5.2.1.2 Pruebas particulares de las instalaciones de ACS

- 1 En las instalaciones de preparación de ACS se realizarán las siguientes pruebas de funcionamiento:
 - a) medición de caudal y temperatura en los puntos de agua;
 - b) obtención de los caudales exigidos a la temperatura fijada una vez abiertos el número de grifos estimados en la simultaneidad;
 - c) comprobación del tiempo que tarda el agua en salir a la temperatura de funcionamiento una vez realizado el equilibrado hidráulico de las distintas ramas de la red de retorno y abiertos uno a uno el grifo más alejado de cada uno de los ramales, sin haber abierto ningún grifo en las últimas 24 horas;
 - d) medición de temperaturas de la red;
 - e) con el acumulador a régimen, comprobación con termómetro de contacto de las temperaturas del mismo, en su salida y en los grifos. La temperatura del retorno no debe ser inferior en 3 °C a la de salida del acumulador.

6 Productos de construcción

6.1 Condiciones generales de los materiales

- 1 De forma general, todos los materiales que se vayan a utilizar en las instalaciones de agua potable cumplirán los siguientes requisitos :
 - a) todos los productos empleados deben cumplir lo especificado en la legislación vigente para aguas de consumo humano;
 - b) no deben modificar las características organolépticas ni la salubridad del agua suministrada;
 - c) serán resistentes a la corrosión interior;
 - d) serán capaces de funcionar eficazmente en las condiciones previstas de servicio;
 - e) no presentarán incompatibilidad electroquímica entre sí;
 - f) deben ser resistentes, sin presentar daños ni deterioro, a temperaturas de hasta

- 40°C, sin que tampoco les afecte la temperatura exterior de su entorno inmediato;
- g) serán compatibles con el agua a transportar y contener y no deben favorecer la migración de sustancias de los materiales en cantidades que sean un riesgo para la salubridad y limpieza del agua del consumo humano;
 - h) su envejecimiento, fatiga, durabilidad y todo tipo de factores mecánicos, físicos o químicos, no disminuirán la vida útil prevista de la instalación.

2 Para que se cumplan las condiciones anteriores, se podrán utilizar revestimientos, sistemas de protección o los ya citados sistemas de tratamiento de agua.

6.2. Condiciones particulares de las conducciones

1 En función de las condiciones expuestas en el apartado anterior, se consideran adecuados para las instalaciones de agua potable los siguientes tubos:

- a) tubos de acero galvanizado, según Norma UNE 19 047:1996;
- b) tubos de cobre, según Norma UNE EN 1 057:1996;
- c) tubos de acero inoxidable, según Norma UNE 19 049-1:1997;
- d) tubos de fundición dúctil, según Norma UNE EN 545:1995;
- e) tubos de policloruro de vinilo no plastificado (PVC), según Norma UNE EN 1452:2000;
- f) tubos de policloruro de vinilo clorado (PVC-C), según Norma UNE EN ISO 15877:2004;
- g) tubos de polietileno (PE), según Normas UNE EN 12201:2003;
- h) tubos de polietileno reticulado (PE-X), según Norma UNE EN ISO 15875:2004;
- i) tubos de polibutileno (PB), según Norma UNE EN ISO 15876:2004;
- j) tubos de polipropileno (PP) según Norma UNE EN ISO 15874:2004;
- k) tubos multicapa de polímero / aluminio / polietileno resistente a temperatura (PE-RT), según Norma UNE 53 960 EX:2002;
- l) tubos multicapa de polímero / aluminio / polietileno reticulado (PE-X), según Norma UNE 53 961 EX:2002.

2 No podrán emplearse para las tuberías ni para los accesorios, materiales que puedan producir concentraciones de sustancias nocivas que excedan los valores permitidos por el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero.

3 El ACS se considera igualmente agua para el consumo humano y cumplirá por tanto con todos los requisitos al respecto.

4 Dada la alteración que producen en las condiciones de potabilidad del agua, quedan prohibidos expresamente los tubos de aluminio y aquellos cuya composición contenga plomo.

5 Todos los materiales utilizados en los tubos, accesorios y componentes de la red, incluyendo también las juntas elásticas y productos usados para la estanqueidad, así como los materiales de aporte y fundentes para soldaduras, cumplirán igualmente las condiciones expuestas.

6.2.2 Aislantes térmicos

1 El aislamiento térmico de las tuberías utilizado para reducir pérdidas de calor, evitar condensaciones y congelación del agua en el interior de las conducciones, se realizará con coquillas resistentes a la temperatura de aplicación.

6.2.3 Válvulas y llaves

1 El material de válvulas y llaves no será incompatible con las tuberías en que se intercalen.

2 El cuerpo de la llave ó válvula será de una sola pieza de fundición o fundida en bronce, latón, acero, acero inoxidable, aleaciones especiales o plástico.

3 Solamente pueden emplearse válvulas de cierre por giro de 90° como válvulas de tubería si sirven

como órgano de cierre para trabajos de mantenimiento.
4 Serán resistentes a una presión de servicio de 10 bar.

6.3 Incompatibilidades

6.3.1 Incompatibilidad de los materiales y el agua

1 Se evitará siempre la incompatibilidad de las tuberías de acero galvanizado y cobre controlando la agresividad del agua. Para los tubos de acero galvanizado se considerarán agresivas las aguas no incrustantes con contenidos de ión cloruro superiores a 250 mg/l. Para su valoración se empleará el índice de Langelier. Para los tubos de cobre se consideraran agresivas las aguas dulces y ácidas (pH inferior a 6,5) y con contenidos altos de CO₂. Para su valoración se empleará el índice de Lucey.

2 Para los tubos de acero galvanizado las condiciones límites del agua a transportar, a partir de las cuales será necesario un tratamiento serán las de la tabla 6.1:

Características	Agua fría	Agua caliente
Resistividad (Ohm x cm)	1.500 – 4.500	2.200 – 4.500
Título alcalimétrico completo (TAC) meq/l	1,6 mínimo	1,6 mínimo
Oxígeno disuelto, mg/l	4 mínimo	-
CO ₂ libre, mg/l	30 máximo	15 máximo
CO ₂ agresivo, mg/l	5 máximo	-
Calcio (Ca ²⁺), mg/l	32 mínimo	32 mínimo
Sulfatos (SO ₄ ²⁻), mg/l	150 máximo	96 máximo
Cloruros (Cl ⁻), mg/l	100 máximo	71 máximo
Sulfatos + Cloruros, meq/l	-	3 máximo

3 Para los tubos de cobre las condiciones límites del agua a transportar, a partir de las cuales será necesario un tratamiento serán las de la tabla 6.2:

Características	Agua fría y agua caliente
pH	7,0 mínimo
CO ₂ libre, mg/l	no concentraciones altas
Índice de Langelier (IS)	debe ser positivo
Dureza total (TH), °F	5 mínimo (no aguas dulces)

4 Para las tuberías de acero inoxidable las calidades se seleccionarán en función del contenido de cloruros disueltos en el agua. Cuando éstos no sobrepasen los 200 mg/l se puede emplear el AISI-304. Para concentraciones superiores es necesario utilizar el AISI-316.

6.3.2 Incompatibilidad entre materiales

6.3.2.1 Medidas de protección frente a la incompatibilidad entre materiales

1 Se evitará el acoplamiento de tuberías y elementos de metales con diferentes valores de potencial electroquímico excepto cuando según el sentido de circulación del agua se instale primero el de menor valor.

2 En particular, las tuberías de cobre no se colocarán antes de las conducciones de acero galvanizado, según el sentido de circulación del agua, para evitar la aparición de fenómenos de corrosión por la formación de pares galvánicos y arrastre de iones Cu⁺ hacia las conducciones de acero galvanizado, que aceleren el proceso de perforación.

3 Igualmente, no se instalarán aparatos de producción de ACS en cobre colocados antes de canalizaciones en acero.

- 4 Excepcionalmente, por requisitos insalvables de la instalación, se admitirá el uso de manguitos antielectrolíticos, de material plástico, en la unión del cobre y el acero galvanizado.
- 5 Se autoriza sin embargo, el acoplamiento de cobre después de acero galvanizado, montando una válvula de retención entre ambas tuberías.
- 6 Se podrán acoplar al acero galvanizado elementos de acero inoxidable.
- 7 En las vainas pasamuros, se interpondrá un material plástico para evitar contactos inconvenientes entre distintos materiales.

7 Mantenimiento y conservación

7.1 Interrupción del servicio

- 1 En las instalaciones de aguade consumo humano que no se pongan en servicio después de 4 semanas desde su terminación, o aquellas que permanezcan fuera de servicio más de 6 meses, se cerrará su conexión y se procederá a su vaciado.
- 2 Las acometidas que no sean utilizadas inmediatamente tras su terminación o que estén paradas temporalmente, deben cerrarse en la conducción de abastecimiento. Las acometidas que no se utilicen durante 1 año deben ser taponadas.

7.2 Nueva puesta en servicio

- 1 En instalaciones de descalcificación habrá que iniciar una regeneración por arranque manual.
- 2 Las instalaciones de agua de consumo humano que hayan sido puestas fuera de servicio y vaciadas provisionalmente deben ser lavadas a fondo para la nueva puesta en servicio. Para ello se podrá seguir el procedimiento siguiente:
 - a) para el llenado de la instalación se abrirán al principio solo un poco las llaves de cierre, empezando por la llave de cierre principal. A continuación, para evitar golpes de ariete y daños, se purgarán de aire durante un tiempo las conducciones por apertura lenta de cada una de las llaves de toma, empezando por la más alejada o la situada más alta, hasta que no salga más aire. A continuación se abrirán totalmente las llaves de cierre y lavarán las conducciones;
 - b) una vez llenadas y lavadas las conducciones y con todas las llaves de toma cerradas, se comprobará la estanqueidad de la instalación por control visual de todas las conducciones accesibles, conexiones y dispositivos de consumo.

7.3 Mantenimiento de las instalaciones

- 1 Las operaciones de mantenimiento relativas a las instalaciones de fontanería recogerán detalladamente las prescripciones contenidas para estas instalaciones en el Real Decreto 865/2003 sobre criterios higiénicosanitarios para la prevención y control de la legionelosis, y particularmente todo lo referido en su Anexo 3.
- 2 Los equipos que necesiten operaciones periódicas de mantenimiento, tales como elementos de medida, control, protección y maniobra, así como válvulas, compuertas, unidades terminales, que deban quedar ocultos, se situarán en espacios que permitan la accesibilidad.
- 3 Se aconseja situar las tuberías en lugares que permitan la accesibilidad a lo largo de su recorrido para facilitar la inspección de las mismas y de sus accesorios.
- 4 En caso de contabilización del consumo mediante batería de contadores, las montantes hasta cada derivación particular se considerará que forman parte de la instalación general, a efectos de conservación y mantenimiento puesto que discurren por zonas comunes del edificio;