

Regeneración de Aguas Depuradas. Reutilización en agricultura.
Módulo Gestión de Aguas Residuales y Reutilización

Máster en Ingeniería y Gestión del Agua

2016

PROFESOR

Jaime La Iglesia Gandarillas

Para ver esta publicación, debe
disponer de Adobe Flash™ y de
un navegador.

Esta publicación está bajo licencia Creative Commons Reconocimiento, Nocomercial, Compartirigual, (by-nc-sa). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia. Más información:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Índice

1.	INTRODUCCIÓN.....	5
2.	REUTILIZACIÓN DEL AGUA.....	6
3.	USOS DE AGUA REGENERADA.....	6
4.	LA REUTILIZACIÓN DE AGUA.....	7
	4.1 INTRODUCCIÓN	7
	4.2 EL CICLO HIDROLÓGICO NATURAL.....	8
	4.3 EL CICLO URBANO DEL AGUA.	8
	4.4 ESTANQUES DE TORMENTAS.	8
4.4.1	Estanques de tormentas en Madrid.....	9
	4.5 <i>DEPURACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES</i>	10
5.	LA REUTILIZACIÓN PLANIFICADA.	11
6.	LEGISLACIÓN. REAL DECRETO 1620/2007.....	12
7.	OBJETIVOS QUE SE ESPERAN OBTENER CON UN PLAN DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS.....	15
8.	ESPECIFICACIONES DE LAS INSTALACIONES DE REUTILIZACIÓN DE AGUA.....	15
9.	NORMAS DE USO DEL AGUA REGENERADA.....	16
10.	LINEAS DE TRATAMIENTO HABITUALMENTE EMPLEADAS	17

10.1 TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO	17
10.1.1 Parámetros de funcionamiento cámara de mezcla y floculación	18
10.1.2 Dosificación de reactivos	18
10.1.3 Parámetros de funcionamiento decantador lamelar	19
10.1.4 Decantación lastrada	19
10.2 FILTROS DE ARENA A PRESIÓN Y GRAVEDAD.....	20
10.2.1 Parámetros de funcionamiento de los filtros de arena	20
10.3 FILTROS DE LECHO PULSANTE	21
10.4 FILTROS DE ARENA CON PUENTE MÓVIL.....	21
10.5 FILTRO DE TAMIZ	21
10.6 FILTROS DE ANILLAS	22
10.7 FILTROS DE MALLAS	23
10.8 RENDIMIENTOS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE FILTRACIÓN.....	23
10.9 FILTRACIÓN SOBRE MEMBRANAS	24
10.9.1 Introducción	24
10.9.2 Microfiltración	24
10.9.3 Membranas de ultrafiltración	25
10.9.4 Biorreactores con membranas	26
10.10 DESALACIÓN	27
10.10.1 Electrodiálisis Reversible.....	27
10.10.2 Ósmosis Inversa.	28
10.11 DESINFECCIÓN.....	29
10.11.1 Desinfección mediante radiación ultravioleta.....	29
10.11.2 Desinfección por cloro	31
10.11.3 Cloraminas	33
10.11.4 Ozono.....	34
10.11.5 Procesos de oxidación avanzada	34
11. TRATAMIENTOS DE REGENERACIÓN PARA LOS TIPOS DE CALIDAD SEGÚN R.D. 1620/2007	35
12. EL RECICLAJE DEL AGUA EN LAS CIUDADES	38
12.1 Introducción.....	38
12.2 Ejemplo de reciclaje en una gran ciudad. Madrid	38

12.2.1	Resumen de las obras.....	38
13.	EL USO RECREATIVO DE AGUA REGENERADA. CAMPOS DE GOLF	56
	<i>13.1 Introducción.....</i>	<i>56</i>
	<i>13.2 Ejemplo el riego del Campo de Golf de la Moraleja entre Madrid y Alcobendas con agua regenerada</i>	<i>56</i>
13.2.1	Resumen de las obras.....	56
13.2.2	Estudio de demandas	56
13.2.3	Caudales.....	57
13.2.4	Características del agua reutilizadas servida para el riego del Campo de Golf Moraleja 1.....	57
13.2.5	Descripción de las obras	58
13.2.6	Funcionamiento de la instalación.....	61
14.	EL RECICLAJE DEL AGUA EN AGRICULTURA	62
	<i>14.1 Introducción.....</i>	<i>62</i>
	<i>14.2 Recursos hídricos para el regadío.....</i>	<i>63</i>
	<i>14.3 Reutilización del agua para regadío.</i>	<i>64</i>
	<i>14.4 Calidad del agua regenerada para riego.</i>	<i>64</i>
15.	SITUACIÓN ACTUAL EN ESPAÑA	66
	<i>15.1 Introducción.....</i>	<i>66</i>
	<i>15.2 Reutilización del agua para regadío en España (fuente Cedex)...</i>	<i>66</i>
	<i>15.3 El futuro de la reutilización del agua para regadío en España.....</i>	<i>68</i>
16.	BIBLIOGRAFIA.....	69

1. INTRODUCCIÓN

Cada vez se incrementan más las actividades destinadas al reciclaje de todo tipo de residuos y, en este aspecto, cabe destacar la reutilización de las aguas depuradas. La reutilización de estas aguas, siempre importante, cobra especial interés en los climas secos.

La reutilización de las aguas, después de su correcta depuración, supone un uso adicional de la misma tras su uso primario de abastecimiento urbano. Con ello, se contribuye al mantenimiento sostenible del recurso hídrico como bien escaso, utilizándolo con la calidad adecuada al uso previsto. Evidentemente, la distribución de estas aguas supone el disponer de otras redes para el transporte las mismas y, por otro lado, permite un ahorro en la producción de agua potable.

En cualquier caso e independientemente del tipo y procedencia de agua que se utilice debemos desarrollar políticas que incentiven el ahorro como máxima fundamental en el uso de un bien cada vez más escaso, como es el agua.

En la mayoría de las comunidades autónomas y ayuntamientos se están redactando normativas para la reutilización de aguas para riego, baldeo y mantenimiento en estanques. Todo usuario deberá responsabilizarse del correcto mantenimiento, distribución y uso del agua regenerada. Así, en el caso de riegos son preferibles los sistemas como la microaspersión, difusión, el goteo o la exudación que minoran los riesgos de contacto. Estos riegos tienen mayor eficiencia que los utilizados habitualmente. También son más adecuados los riegos automatizados nocturnos que, por otro lado, son preferibles bajo un punto de vista agrícola y permiten el aprovechar horarios de mejor tarificación eléctrica.

Con la reutilización de aguas no se pretende la potenciación de los consumos pues, con ello, se mermarían las aguas finalmente vertidas al río necesarias para el ecosistema fluvial y sus entornos ribereños. El uso de este agua debe ser racional y lo más moderado posible. Las zonas verdes deben regarse con un criterio de mantenimiento (sin excesivos objetivos de desarrollo y producción vegetal) y deben diseñarse con especies adaptadas o tolerantes a la sequía. Los motivos a base de cubiertas vegetales muy demandantes de agua deben utilizarse con moderación.

En conclusión, la reutilización de aguas supone un uso más racional del recurso hídrico contribuyendo a preservar los recursos naturales.

2. REUTILIZACIÓN DEL AGUA

La reutilización del agua se puede hacer de dos maneras muy diferentes:

- Reutilización indirecta
- Reutilización directa

Hay que tener en cuenta que el ciclo completo del agua urbana supone el periodo transcurrido entre la captación su uso y la devolución al medio natural, generalmente a los cursos de agua o al mar. Este efluente se diluye al verterlo con el caudal circulante y su reutilización se viene dando a través de nuevas captaciones, aguas abajo del punto de vertido, para distintos usos urbanos, agrícolas e industriales. Son las llamadas **reutilizaciones indirectas**, en las que ha mediado un vertido entre los usos sucesivos. En estos casos no hay un tratamiento específico ni una planificación adecuada, la mayoría de estas captaciones no cumplen con la legislación existente.

Cuestión distinta es la **reutilización directa**, en la que no se produce ese vertido y esa dilución intermedias, y el efluente se conduce al lugar de aprovechamiento, en unas condiciones previamente establecidas y adecuadas a los nuevos usos que se pretende dar. Generalmente estas reutilizaciones se establecen a partir de una normativa y cumplen con la legislación vigente. En estos casos el agua que va a ser reutilizada se trata mediante diferentes sistemas, denominados terciarios, adecuando el agua a los usos que se la quiera dar.

Se puede añadir una excepción a lo anteriormente expuesto y es el caso de cuando el vertido al cauce lo que origina es un río. Esto ocurre en muchos pueblos, donde la salida del efluente depurado de la estación de tratamiento de aguas residuales origina un arroyo que sin la existencia de la depuradora estaría completamente seco. Un caso conocido es el del río Manzanares, en la Comunidad de Madrid, que en ciertas épocas del año su nacimiento prácticamente coincide con el efluente de la depuradora de Viveros de la Villa (unos 2 m³/seg.)

3. USOS DE AGUA REGENERADA

Para desarrollar una gestión adecuada de los recursos hídricos, se requiere la colaboración de todos los agentes implicados en su uso. En este sentido, las Comunidades Autónomas y Ayuntamientos pueden y deben ejercer un papel importante aportando iniciativas y aprovechando una serie de condiciones que, por su propia naturaleza, les otorgan grandes posibilidades de apoyo a esa gestión global.

MAGUA**Regeneración de Aguas Depuradas. Reutilización en agricultura/Módulo Aguas**

Las Leyes vigentes establecen que sean los municipios los responsables tanto de los abastecimientos, como del alcantarillado y la depuración de las aguas residuales.

Una de las opciones para obtener agua regenerada es precisamente la de reutilizar las aguas residuales como alternativa al uso del agua potable para determinados usos municipales de menores exigencias que la potable.

Estos usos pueden ser:

- Riego de parques y jardines
- Riego de campos de golf
- Limpieza y baldeo de calles
- Agua para fuentes ornamentales
- Recarga de lagos artificiales
- Recarga de acuíferos

En muchos casos este tipo de usos es la única alternativa al de abastecimiento habitual en numerosos ámbitos, especialmente en ciudades con poca pluviometría.

En España, hasta el momento, se han llevado a cabo actuaciones puntuales para riego de urbanizaciones, campos de golf u otras zonas urbanas de escasa superficie y no siempre en las condiciones más adecuadas. Por ello fue imprescindible establecer una normativa que adecuara el tipo de uso, las características y calidad del agua a reutilizar. Como consecuencia de todo lo anterior nació el Real Decreto 1620/2007 de 7 de diciembre por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

4. LA REUTILIZACIÓN DE AGUA

4.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de la reutilización es obtener un agua regenerada de la mejor calidad posible. Para ello hay que asegurar que a la Estación Depuradora de Aguas Residuales no llegan contaminantes imprevistos. Esto se consigue estableciendo un riguroso control de vertidos de acuerdo con la ordenanza de vertidos a la red de saneamiento, que debe de existir en cada municipio.

Por otra parte el transporte de agua regenerada desde la planta de tratamiento hasta el punto de reutilización requiere la construcción de una red de distribución totalmente independiente a la de agua potable, especialmente cuando se trata de reutilización en zonas urbanas.

Las normas de utilización del agua regenerada por parte del usuario son un componente esencial de cualquier estrategia de protección de la calidad ambiental y de la salud pública.

4.2 EL CICLO HIDROLÓGICO NATURAL

El ciclo natural del agua se produce con la evaporación, precipitación, intercepción, infiltración del agua en el terreno, escorrentías, cauce natural y evaporación.

Cada uno de estos procesos que en conjunto constituyen un ciclo cerrado, tendrá diversa importancia en función de múltiples factores como son su localización geográfica, la topografía, el tipo de suelo, el clima, etc.

4.3 EL CICLO URBANO DEL AGUA.

En las zonas urbanas, los procesos de intercepción e infiltración en el terreno varían en función de la composición del terreno (calzadas, aceras, tejados, etc.). Es el proceso de formación de escorrentías, el que sufre una mayor variación al discurrir el agua por las redes de alcantarillado que funcionan a modo de cauces artificiales que modifican la extensión y la morfología de la cuenca y de los cauces naturales.

Por otra parte, las ciudades, la industria, y en general todas las actividades humanas utilizan gran cantidad de agua, la cual debido a su uso se mezcla con diversas sustancias generando un agua residual que en las redes de saneamiento que no son separativas, es decir las unitarias, circula por los mismos colectores que el agua de lluvia y requiere un sistema integral de evacuación y de tratamiento.

4.4 ESTANQUES DE TORMENTAS.

También es importante tener en cuenta la carga contaminante que contiene el agua de las primeras lluvias debido al lavado y arrastre de basuras y contaminantes a lo largo de toda la cuenca. A raíz de lo anterior, surgen los estanques de tormentas que sirven de reservorio de esa gran masa de agua contaminada para ser tratada más adelante en períodos de caudal bajo, por ejemplo durante la noche.

MAGUA

Regeneración de Aguas Depuradas. Reutilización en agricultura/Módulo Aguas

Los estanques de tormentas recogen el agua en caso de fuertes lluvias a través de cientos de colectores; parte de su misión es evitar inundaciones, la otra parte es regular en sus grandes cubas el vertido especialmente contaminante de las primeras lluvias, las que arrastran las sustancias más tóxicas, que así pueden ser filtradas y vertidas de forma más controlada. Los estanques de tormentas en España no se suelen utilizar como reservas de agua al estilo de las presas, aunque en otros países existen estanques subterráneos que pueden realizar esta labor, y también soluciones menos rigurosas que emplean grandes depósitos con el fin de acumular agua de lluvia para su posterior utilización.

4.4.1 Estanques de tormentas en Madrid

En Madrid hay un magnífico ejemplo de estos estanques como el de Arroyofresno de 300 metros de longitud, 140 de anchura y 22 de altura, capaz de albergar 400.000 m³ de agua, unas ocho veces la cantidad de agua que hay en el estanque de El Retiro. El estanque de tormentas de Arroyofresno es parte de un plan del Ayuntamiento para renovar toda la red de saneamiento junto al río Manzanares, que incluye otros 27 estanques (más pequeños) y 34 nuevos kilómetros de colectores de aguas sucias. El plan estaba previsto para estar terminado antes de mayo de 2008, con una inversión de unos 500 millones de euros.

La función principal de estos depósitos es que los colectores dejen de verter al río. Los dos grandes colectores que discurren a ambos márgenes del río recogen la mayor parte del agua sucia de Madrid, procedente de inodoros, grifos, duchas y todo tipo de desagües. La función de los colectores es distribuir el agua por cinco de las siete depuradoras de la ciudad, pero a veces no toda llega a su destino. Entonces, el Manzanares se convierte en un caudal de aguas turbias.

El objetivo es que los vertidos no vayan al río, sino a los estanques de tormentas construidos a ambos lados del cauce, bajo tierra. Desde allí, las “aguas negras” serán derivadas a las depuradoras o, de nuevo, a la red de colectores menores.

En el caso de Arroyofresno, para construir el enorme depósito ha sido necesario dismantelar una pista de golf del Club de Campo, que volverá a colocarse cuando acaben las obras. Entre la superficie y el estanque queda una planta subterránea con 816 plazas de aparcamiento que será de uso exclusivo de los socios.

4.5 *DEPURACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES*

El crecimiento demográfico y el desarrollo de los núcleos urbanos implica un aumento de las necesidades de agua, y por tanto se genera mucha agua residual que a veces tiene unas condiciones sépticas muy elevadas.

Para limitar los vertidos contaminantes a los cauces se construyen Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales con el objetivo de lograr unos niveles de calidad del agua residual tratada aptos para su incorporación al cauce receptor sin producir impacto en el medio.

La reutilización de efluentes es un componente propio del ciclo natural del agua. Mediante el vertido de efluentes a los cauces y su dilución con el caudal circulante, las aguas residuales han venido siendo reutilizadas en puntos aguas abajo para otros usos urbanos, agrícolas e industriales.

La **reutilización directa o planificada** de agua residual a gran escala tiene su origen debido a los avances habidos en materia de depuración durante las últimas décadas. Supone el aprovechamiento directo de efluentes, con un mayor grado de tratamiento, mediante su transporte hasta el punto de reutilización a través de un conducto específico, sin mediar para ello la existencia de un vertido o una dilución en un curso natural de agua.

De forma genérica pueden señalarse tres tipos de tratamiento en la depuración de las aguas. Antes de estos tratamientos, no obstante, suelen ser necesarias una serie de operaciones de pretratamiento como son la retención de sólidos grandes o la separación de arenas y grasas.

1.- El tratamiento primario consiste en la separación, por medios físicos de las partículas en suspensión, es decir de aquellos compuestos sólidos que son muy finos para eliminarlos en el pretratamiento.

2.- En el tratamiento secundario o biológico los microorganismos descomponen la materia orgánica de las aguas residuales transformándola en energía necesaria para su actividad y reproducción.

3.- El tratamiento terciario que se realiza en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales consiste en una serie de procesos posteriores al tratamiento convencional (tratamiento secundario o biológico) que reducen al máximo la contaminación orgánica generada por sustancias sólidas suspendidas y disueltas y la contaminación biológica resultante de la población de bacterias, virus, hongos, algas, protozoos, nematodos, y rotíferos principalmente. El tratamiento terciario consigue que se llegue a un grado de depuración elevado que permita el empleo del agua en otros fines como el riego, limpieza de calles, usos ornamentales y recreativos.

Es a partir de la construcción de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) cuando surge el concepto de **Agua Regenerada**, como un recurso apto para su **Reutilización** en otros usos.

5. LA REUTILIZACIÓN PLANIFICADA.

El proceso de tratamiento necesario para que un agua residual pueda ser reutilizada se denomina generalmente regeneración y el resultado de dicho proceso agua regenerada. De acuerdo con su significado etimológico, la regeneración de agua consiste en devolverle, parcial o totalmente, el nivel de calidad que tenía antes de ser utilizada.

La implantación de un proyecto de regeneración de agua tiene tres requisitos complementarios:

- 1.- Determinar el uso que se le quiere dar al agua regenerada.
- 2.- Definir los niveles de calidad adecuados para cada uno de los posibles usos a que se piense destinar el agua.
- 3.- Establecer los procesos de tratamiento y para obtener la calidad del efluente recomendado para cada uno de los usos previstos.

La elaboración y aprobación de estas condiciones técnicas de la regeneración de agua constituyen la faceta más discutida de todo programa de reutilización, debido a la dificultad de establecer una relación causal entre la calidad del agua y los efectos sobre la salud y el medio ambiente. Prueba de ello son la diversidad y la heterogeneidad de criterios y normas de calidad establecidas por diversos países y organizaciones internacionales sobre la reutilización de agua residual (USEPA, 1992; OMS, 1989). Dándose el caso de que en al día de hoy muchos países no cuentan con una normativa común de calidad de las aguas residuales regeneradas.

El aprovechamiento de un agua regenerada requiere:

- 1.- Transporte desde la planta de regeneración hasta su lugar de utilización.
- 2.- Almacenamiento o regulación para adecuar el caudal suministrado por la planta con los caudales previstos de reutilización.
- 3.- Definición de unas normas de utilización del agua que minimicen los posibles riesgos directos o indirectos para el medio ambiente, las personas que la utilizan, la población circundante al lugar de uso y los consumidores de cualquier producto cultivado con el agua regenerada. Estos tres

elementos técnicos suelen formar parte integral de un programa de reutilización planificada de agua residual.

6. LEGISLACIÓN. REAL DECRETO 1620/2007

Uno de los factores más importantes a tener en cuenta en la implantación y desarrollo de un Plan de Reutilización de Aguas, es el establecimiento de unos niveles de calidad del agua para cada uno de los posibles usos que se consideran.

La aprobación en 1994 de la Directiva Comunitaria 91/271, por lo que regula el tratamiento de las aguas residuales urbanas antes de su vertido, marca una nueva etapa en la atención prestada en España a la depuración de aguas residuales. La transposición de las normas comunitarias a nuestro país se recoge en el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración, aprobado en 1995, en el que se establecen para el periodo 1995-2005 las bases jurídicas y económicas que regulan el tratamiento de aguas residuales urbanas, lo que ha supuesto un fuerte impulso en la construcción y mejora de estaciones depuradoras y relanzado el interés por la reutilización de las aguas residuales regeneradas.

El principal problema que afectó a la reutilización directa de las aguas depuradas y que constituía un freno a su expansión, era la inexistencia de una normativa específica, sancionada por la autoridad sanitaria, y de aplicación general, que regulara los criterios de calidad exigible a dichas aguas y los aspectos relativos a su gestión. Esta situación provocó cierta desorientación a la hora de su planificación, y en ocasiones, la reutilización de los efluentes en condiciones inadecuadas.

Para resolver esta carencia, y en desarrollo tanto de la Ley de Aguas (Art. 101) como del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (Art.272 y 273), se redactó un proyecto de Real Decreto, que atendiendo fundamentalmente a los criterios sanitarios del antiguo Ministerio de Sanidad y Consumo, fijaba las condiciones básicas para la reutilización directa de las aguas residuales depuradas.

Este **Real Decreto 1620/2007 del 7 de diciembre**, establece los criterios de calidad para la reutilización de efluentes depurados en función del uso que se le va a dar al agua residual regenerada.

Criterios de calidad para la reutilización de efluentes depurados. Valores máximos admisibles (Real Decreto 1620/2007, diciembre 2007)

USOS DEL AGUA PREVISTO	VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES (VMA)				Otros Criterios
	Huevos de nematodos intestinales	<i>Escherichia Coli</i> UFC/100 ml	Sólidos en suspensión mg/l	Turbidez NTU	
1.- USOS URBANOS					
CALIDAD 1.1 Residenciales: a) Riego de jardines domésticos. b) Descarga de aparatos sanitarios	1 huevo /10 L	0	10	2	<i>Legionella</i> spp. 100 UFC/L (cuando se prevea riesgo de aerosoles)
CALIDAD 1.2 Servicios urbanos: a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos, etc). b) Baldeo de calles. c) Sistemas contra incendios. d) Lavado industrial de vehículos	1 huevo /10 L	200	< 20	< 10	Otros contaminantes(1)
2.- USOS AGRÍCOLAS					
CALIDAD 2.1. a) Riego de cultivos para alimentación humana en fresco, con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles	1 huevo /10 L	100	20	10	<i>Legionella</i> spp. 1000 UFC/L (cuando se prevea riesgo de aerosoles) Presencia/ausencia de patógenos Otros contaminantes (1)
CALIDAD 2.2 a) 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 en fresco sino con un tratamiento industrial posterior b) Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne. c) Acuicultura	1 huevo /10 L	1.000	35	No se fija límite	<i>Taenia saginata</i> y <i>Taenia solium</i> 1 huevo / L (en riego de pastos para consumo de animales productores de carne) Presencia/ausencia de patógenos Otros contaminantes (1)
CALIDAD 2.3 a) Riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana. b) Riego de cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones c) Riego de cultivos industriales, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas.	1 huevo /10 L	10.000	35	No se fija límite	<i>Legionella</i> spp. 100 UFC/L Otros contaminantes (1)
3.- USOS INDUSTRIALES					
CALIDAD 3.1 a) Aguas de proceso y limpieza excepto en la industria alimentaria. b) Otros usos industriales	No se fija límite	10.000	< 35	15	<i>Legionella</i> spp. 100 UFC/L Otros contaminantes (1)

MAGUA

Regeneración de Aguas Depuradas. Reutilización en agricultura/Módulo Aguas

USOS DEL AGUA PREVISTO	VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES (VMA)				Otros Criterios
	Huevos de nematodos intestinales	<i>Escherichia Coli</i> UFC/100 ml	Sólidos en suspensión mg/l	Turbidez NTU	
CALIDAD 3.1 c) Aguas de proceso y limpieza para uso en la industria alimentaria.	1 huevo / 10 l	1.000	< 35	15	<i>Legionella spp.</i> 100 UFC/L Presencia/ausencia de patógenos Otros contaminantes (1)
CALIDAD 3.2 a) Torres de refrigeración y condensadores evaporativos	Ausencia	Ausencia	5	1	<i>Legionella spp.</i> Ausencia UFC/L Uso exclusivamente industrial lejos de zonas urbanas Para su autorización requerirá la aprobación por la autoridad sanitaria del programa de control contemplado en el RD 865/2003
4.- USOS RECREATIVOS					
CALIDAD 4.1 a) Riego de campos de golf	1 huevo / 10 L	200	20	10	Si el riego se aplica directamente a la zona del suelo (goteo, micro aspersión) se fijan los criterios del grupo de Calidad 2.3 <i>Legionella spp.</i> 100 UFC/L (cuando se prevea riesgo de aerosoles) Otros contaminantes (1)
CALIDAD 4.2. a) Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el acceso del público al agua	No se fija límite	10.000	35	No se fija límite	Fósforo total : 2 mg P/L (en agua estancada) Otros contaminantes (1)
5.- USOS AMBIENTALES					
CALIDAD 5.1. a) Recarga de acuíferos por percolación b) localizada a través del terreno	No se fija Límite	1.000	< 35	No se fija límite	Nitrógeno Total: 10 mg N/L NO3: 25 mg NO3/L
CALIDAD 5.2. a) Recarga de acuíferos por inyección directa	1 huevo /10 L	0	10	2	Art. 257 a 259 del RD 849/1986
CALIDAD 5.3. a) Riego de bosques, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público b) Silvicultura	No se fija Límite	No se fija Límite	35	No se fija límite	Otros contaminantes (1)
CALIDAD 5.4. a) Otros usos ambientales (mantenimiento de humedales, caudales mínimos similares)	La calidad mínima requerida se estudiará caso por caso				

NOTA (1): Se deberá limitar la entrada al medio ambiente de otros contaminantes contenidos en la autorización de vertido de las aguas residuales (Ver el Anexo II del R.D. 849/1986, de 11 de abril). En el caso de que se trate de sustancias peligrosas (Ver Anexo IV del R.D. 849/1986, de 11 de abril, modificado por el R.D. 606/2003 de 23 de mayo) deberá asegurarse el respeto a las Normas de Calidad Ambiental (Ver el artículo 245.5 del R.D. 849/1986, de 11 de abril, modificado por el R.D. 606/2003 de 23 de mayo).

7. OBJETIVOS QUE SE ESPERAN OBTENER CON UN PLAN DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS

Con un Plan de Reutilización de Aguas, se obtiene como principal beneficio, un incremento real de los recursos hídricos disponibles, ya que se aprovechan, mediante su reutilización, caudales que de otro modo son vertidos a los cauces de los ríos y por tanto desaprovechados para otros usos, siempre teniendo en cuenta el caudal ecológico de los ríos receptores.

La reutilización del agua regenerada cumple además los siguientes objetivos beneficiosos:

- Colaborar en el desarrollo sostenible del recurso, reutilizando el agua en usos compatibles con su calidad.
- Ahorro del consumo de agua potable para riego de parques y zonas verdes.
- Ahorro del consumo de agua potable en el baldeo de calles.
- Disminución del caudal de agua residual tratada vertida a los cauces naturales y disminución por tanto, del coste del canon de vertido.
- Reducción del aporte de contaminantes a los cursos naturales de agua. La reutilización de agua residual depurada para riego permite que las sustancias orgánicas difíciles de mineralizar puedan ser degradadas biológicamente durante su infiltración a través del suelo, donde sus componentes minerales serán posteriormente asimilados por las plantas.
- Reducción de los costes de captación, transporte y tratamiento de agua potable al disminuir la demanda.
- Disminución del coste de mantenimiento de zonas verdes por el aprovechamiento de los elementos nutritivos contenidos en el agua, cuando el agua es utilizada en el riego de parques y zonas verdes.

8. ESPECIFICACIONES DE LAS INSTALACIONES DE REUTILIZACIÓN DE AGUA.

En cualquier instalación de agua regenerada, para un uso correcto de la misma, se han de cumplir una serie de especificaciones (pueden variar según el país) que por ejemplo en España son las que se citan a continuación,:

MAGUA**Regeneración de Aguas Depuradas. Reutilización en agricultura/Módulo Aguas**

- La red de agua regenerada debe ser totalmente independiente de la de agua potable, no existiendo posibilidad alguna de conexión entre ellas.
- Las conducciones de agua potable deberán estar lo suficientemente separadas para evitar que filtraciones o pérdidas de agua reutilizada puedan entrar por fisuras a las tuberías de agua potable.
- Se les dará un color específico. Por ejemplo en Madrid las tuberías de agua regenerada y accesorios serán de color violeta (PANTONE 2577U ó RAL 4001) al igual que los aspersores.
- Todas las válvulas, grifos y cabezales de aspersión deberán además, estar marcados adecuadamente con objeto de advertir al público que el agua no es potable, debiendo ser además de un tipo que sólo permita su utilización por el personal autorizado.
- Las tuberías y las tapas de las arquetas tendrán una leyenda fácilmente legible “AGUA REGENERADA. AGUA NO POTABLE”.
- Deberá existir un archivo actualizado de planos y especificaciones de las distintas tuberías existentes en la zona de utilización.
- Cualquier zona frecuentada por el público deberá disponer de un número adecuado de fuentes de agua potable, a fin de evitar la necesidad de éste de beber agua de la red de agua regenerada.
- Todos los elementos de las instalaciones de agua regenerada, serán inspeccionados regularmente, a fin de cumplir las exigencias del RD 865/03 sobre criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.
- Los aerosoles generados por los aspersores no podrán alcanzar de forma permanente a los trabajadores, ni vías de comunicación asfaltadas o áreas habitadas, estableciendo de ser preciso, obstáculos o pantallas que limiten la propagación. Se guardará una distancia de seguridad mínima de 150 m. a las áreas habitadas. Los aspersores a utilizar serán de corto alcance o baja presión.
- Todas las zonas de utilización dispondrán de equipos de primeros auxilios, de modo que cualquier corte o rasguño pueda ser curado inmediatamente.
- Los empleados que puedan entrar en contacto con el agua regenerada deberán ser instruidos de las posibilidades de transmisión de enfermedades y de las precauciones que deben adoptar (cambiarse las ropas de trabajo y lavarse detenidamente antes de abandonar la zona de utilización).

9. NORMAS DE USO DEL AGUA REGENERADA

Los usuarios de Agua Regenerada deben de respetar una serie de normas que asegure que se está realizando un uso adecuado de la misma con total garantía para la salud pública, y que son:

- El público deberá ser informado mediante carteles indicativos, que se está utilizando agua regenerada no potable para el riego.
- El riego por aspersión debe hacerse preferentemente de noche o cuando las instalaciones estén cerradas al público. Además, deberá programarse de modo que las plantas dispongan del tiempo suficiente para secarse antes de que los usuarios tengan acceso a la zona regada.
- El riego deberá controlarse de modo que se minimice el encharcamiento y se asegure que la escorrentía superficial queda confinada en el propio terreno. Se deberán utilizar aspersores de tipo emergente bajo el efecto de la presión, que permanecen tapados a nivel del suelo cuando están fuera de servicio. Con ello se evita que el público intente beber o lavarse de las bocas de riego.
- Las fuentes de agua potable deberán estar protegidas de los aerosoles de agua regenerada que puedan caer directamente o por acción del viento.

10. LINEAS DE TRATAMIENTO HABITUALMENTE EMPLEADAS

En los últimos 15 años ha existido un importante desarrollo en algunas de las tecnologías de regeneración, que han mejorado sensiblemente tanto en el grado de fiabilidad de los tratamientos, como en la calidad de sus efluentes. Por un lado han aparecido nuevas tecnologías, especialmente en el campo de las membranas y en los sistemas avanzados de filtración. Por otro, tecnologías experimentadas en otros campos como la desalación y la desinfección, se han desarrollado para adecuarse eficientemente en el ámbito de la reutilización. Por lo tanto se puede asegurar que en el momento actual existe un desarrollo tecnológico suficiente para garantizar en el agua regenerada la calidad requerida para cada tipo de uso, sin que exista ningún tipo de riesgo sanitario.

10.1 TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO

El tratamiento físico-químico se realiza con el objetivo de eliminar los sólidos en suspensión y coloidales, con el fin de permitir un funcionamiento correcto de las etapas posteriores. Constituye un excelente tampón frente a posibles irregularidades del efluente depurado. También puede eliminar sulfuros, fósforo o metales pesados añadiendo reactivos, en el caso de que fuera necesario. Consta de tres etapas: coagulación, floculación y decantación. La decantación suele ser lamelar, debido a la pequeña superficie que ocupan frente a los decantadores convencionales. En primer lugar hay una cámara de mezcla, a la que se le añade un reactivo (sulfato de alúmina o cloruro férrico) a modo de coagulante, desestabilizando las partículas coloidales por medio de la neutralización de sus cargas eléctricas. A continuación se dispone de una cámara de floculación, a

la que se le añade un polielectrolito agrupando las partículas descargadas, al ponerse en contacto unas con otras. Previo a las cámaras de mezcla y floculación se puede incluir una arqueta con vertedero regulable para garantizar un caudal máximo de entrada al tratamiento terciario, haciendo bypass de este tratamiento si se supera el caudal de diseño de esta fase. A continuación de la cámara de mezcla y floculación se dispone de un decantador lamelar para separar el agua sucia de la filtrada.

10.1.1 Parámetros de funcionamiento cámara de mezcla y floculación

Los parámetros de diseño para la cámara de mezcla son:

	Qmedio	Qpunta	
Tiempo de Retención >	2	1	Minutos

Se dispondrán al menos de dos unidades en paralelo para la correcta mezcla del reactivo con el agua. La agitación necesaria para conseguir una mezcla correcta se efectuará mediante agitadores de hélice de velocidad lenta (menor de 200 r.p.m.) y con un ratio de agitación de al menos 20 w/m³.

Los parámetros de diseño para la cámara de floculación son:

	Qmedio	Qpunta	
Tiempo de Retención >	20	10	Minutos

Se dispondrán al menos dos unidades en paralelo para la fase de floculación. Se emplearán agitadores de hélice para conseguir el contacto entre flóculos, evitando por una parte la sedimentación de los flóculos en los tanques y por otro la rotura de los mismos ya creados. La velocidad de los agitadores de hélice o de paletas serán menores de 0,8 m/s. y el un ratio de agitación inferior a 10 w/m³.

Tanto la cámara de mezcla como de floculación se diseñarán de forma que sea posible el vaciado total del depósito para las operaciones de limpieza.

10.1.2 Dosificación de reactivos

Se diseñará el sistema de dosificación de reactivos para poder dosificar el caudal procedente de los decantadores secundarios con dosis de hasta 100 mg/l de coagulante líquido (Sal de hierro o de aluminio) y hasta 1 mg/l de polímero aniónico. La dosificación se realizará de forma automática proporcional al caudal que entre en el tratamiento. Las bombas dosificadoras se pondrán en batería, con una reserva en capacidad de al menos el 50%. La implantación de los equipos de

dosificación y bombas, se realizará con la holgura suficiente para poder trabajar con comodidad en su entorno, evitándose las conducciones que obstruyan el paso y atendiendo a las normas de seguridad y salud en instalaciones industriales y concretamente en depuradoras.

10.1.3 Parámetros de funcionamiento decantador lamelar

En el dimensionamiento de la decantación lamelar se tendrá en cuenta, para todas las condiciones del caudal, los criterios que, con carácter límite, se señalan a continuación:

	Qmedio	Qpunta	
Velocidad de Hazen* <	0,75	1,2	m ³ /m ² /h
Carga superficial <	4	7	m ³ /m ² /h

*Nos indica la relación entre caudal y la superficie de lamelas en m².

Se tendrán en cuenta los siguientes condicionantes:

- Las lamelas se formarán con paquetes extraíbles de material plástico, disponiendo un sistema fijo de polipasto para su extracción.
- El vertedero de recogida se realizará en acero inoxidable AISI-316 y se tendrá control sobre la nivelación del mismo.
- El número de Reynolds del flujo de agua a través de las lamelas estará entre un rango de 100 y 200.
- El fango extraído se enviará al depósito de almacén de fango digerido, aunque se dejará la posibilidad de enviarlo a flotación o a espesador.
- Se dispondrá de un bombeo de recirculación de fangos, para mayor fiabilidad del sistema.
- Se dispondrá de un sistema de limpieza de lamelas por medio de aspersores o limpieza manual mediante manguero.

10.1.4 Decantación lastrada

Una variante del tratamiento físico-químico es la utilización de micro arena para mejorar la floculación y actuar como lastre lo que permite el diseño de clarificaciones lamelares con altas velocidades ascensionales, hasta 100 m³/m²/h con lo cual se consigue cortos tiempos de retención hidráulica y una disminución considerable de los volúmenes de decantación lamelar.

10.2 FILTROS DE ARENA A PRESIÓN Y GRAVEDAD

Generalmente después del físico-químico se dispone de unos filtros de arena. Los filtros de arena realizan una filtración del agua al pasarla por un lecho de arena que puede estar abierto sobre una superficie donde el agua se filtra por gravedad o bien en filtros cerrados horizontales o verticales a presión. En el caso de los filtros de arena abiertos el flujo es descendente, el espesor de arena es menor a 1 metro y los sólidos se retienen en la superficie del filtro. Estos filtros se lavan con agua y aire a contracorriente. Los filtros de arena cerrados pueden ser monocapa o multicapa.

El material del lecho varía bastante pero suele estar formado por cama de arena de cuarzo, que no perderá más del 5% en peso al estar en disolución de ácido clorhídrico al 40% durante 24 horas. El tamaño efectivo (el del tamiz que deja pasar el 10% en peso) de la arena estará entre 0,5 y 0,10 mm, con un coeficiente de uniformidad (relación entre el tamaño de tamiz que deja pasar el 60% en peso y el tamaño efectivo) entre 1,20 y 1,70. En el caso de filtros de arena a presión monocapa con un espesor de arena de 1,20 m, el coeficiente de uniformidad suele ser de 1,40 y la talla efectiva entre 0,7 y 0,9 mm.

Para el buen funcionamiento del sistema se construirá un depósito de regulación de caudal para aportar un caudal constante a los filtros equivalente al caudal medio en tiempo seco. Este depósito tendrá un tiempo de retención a caudal medio de entre 1 y 3 horas. Para evitar la sedimentación de los flóculos que puedan escapar de la decantación lamelar previa, se dispondrán agitadores en el propio depósito.

Los filtros de arena se alimentarán mediante bombas sumergibles dispuestas en el propio tanque de regulación. Las bombas estarán dotadas de variadores de velocidad con el fin de poder regular el caudal.

Como el tratamiento físico-químico previo puede tratar caudales instantáneos mayores que el caudal medio y el filtro de arena no, se dispondrá un aliviadero que enviará las aguas sobrantes hacia la desinfección. Se instalarán sensores de nivel ultrasónico para la altura de lámina en el depósito de regulación y caudalímetros electromagnéticos en las diferentes líneas de impulsión.

10.2.1 Parámetros de funcionamiento de los filtros de arena

Los parámetros de diseño comúnmente utilizados para los filtros de arena son:

	Abiertos	Cerrados	
Velocidad media <	4	8	m ³ /m ² /h
Velocidad máxima <	8	12	m ³ /m ² /h

Los filtros abiertos se limpiarán en contracorriente con agua y aire para fluidificar el lecho. En el caso de filtros cerrados el lavado de filtros se realiza con una primera fase de agitación con aire durante unos 6 minutos, luego una fase de agua de lavado durante otros 6 minutos y por último una fase de aclarado, con dos volúmenes del lecho utilizado. Las velocidades máximas de lavado están en torno a los $20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ y las de aclarado están en torno a los $8 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$.

10.3 FILTROS DE LECHO PULSANTE

Existen otros tipos de filtro de lecho pulsante que disponen de un sistema de lavado en continuo. Este sistema tiene un mayor coste económico tanto de implantación como de explotación, dado su mayor consumo energético. Además, su fiabilidad es algo menor al existir partes móviles, al contrario que en el caso de los filtros por gravedad o presión. No obstante se están desarrollando cada vez con más fiabilidad.

El lecho del filtro se regenera en continuo durante el funcionamiento, por lo que se prolongan los tiempos de lavado y se mantiene el filtro en servicio incluso con variaciones en la calidad del efluente de entrada. Gastan menos agua de lavado que la que se precisa en un filtro convencional, del orden del 2 al 3% del volumen filtrado.

10.4 FILTROS DE ARENA CON PUENTE MÓVIL

Estos filtros son parecidos a los filtros de arena por gravedad pero con un puente móvil que los limpia en continuo, suelen tener las siguientes características:

- Funcionamiento continuo, con una mínima pérdida de carga.
- No necesitan depósito de agua de lavado, ni arquetas de regulación, ni válvulas automáticas.
- El consumo de energía eléctrica es mínimo.

10.5 FILTRO DE TAMIZ

Se trata de un filtro constituido por discos con paneles de tejido de poliéster con un rango de paso que puede variar entre 10-500 micras de poro absoluto.

La filtración, por gravedad, se realiza desde el interior de los discos al exterior y la limpieza se realiza a contracorriente. Cuando se detecta una pérdida de carga predeterminada, los discos giran presentando una nueva sección al filtrado lavándose a contracorriente y de forma automática, los paneles ensuciados.

Actualmente este tipo de filtro se está instalando para evitar el paso de los huevos de nematodos al tener éstos entre 30-60 micras y por tanto mayor tamaño que el poro de paso.

Este sistema tiene como ventaja su compacidad y relativa facilidad de instalación. Si embargo, el coste de instalación es bastante mayor que un filtro convencional.

10.6 FILTROS DE ANILLAS

Los filtros 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. Dependiendo del tipo de fabricante varía el tipo de filtrado con características de "profundidad", similares a las de los filtros de arena. Los filtros de anillas retienen partículas de origen mineral y en menor medida de origen orgánico.

La utilización de estos filtros requiere la utilización de un tamizado previo y una desinfección para evitar crecimientos bacterianos.

La limpieza de los filtros de anillas se realiza desmontando el cartucho, separando las anillas y someténdolas a la acción de un chorro de agua a presión, que arrastra las partículas retenidas. Existen modelos en el mercado de limpieza semiautomática en los que la limpieza se realiza por contralavado, simplemente desplazando el filtro sobre la tubería en la que va instalado. Así mismo existen modelos de limpieza totalmente automática en los que por medio de un conjunto de electroválvulas y un presostato diferencial, se consigue invertir el sentido del flujo del agua.

Al igual que en los filtros de malla, el tamaño de las partículas que es capaz de retener un filtro de anillas se suele dar por medio del número de mesh (malla). En este caso el número de mesh para un filtro de anillas se establece por comparación, asignándole al filtro el número de mesh correspondiente al filtro de malla que retiene partículas del mismo tamaño.

Los filtros de anillas, al igual que el resto de los elementos de filtrado, no deben provocar pérdidas de carga excesivas en la red. Las pérdidas de carga con un filtro con agua pretratada con un físico-químico y lamelar, para su caudal de funcionamiento, deben ser del orden de 2 m.c.a. y se debe proceder a su limpieza cuando dicho valor alcance los 5 m.c.a. Los fabricantes han de suministrar los datos de pérdida de carga que producen los filtros en función del caudal, para cada uno de los modelos.

10.7 FILTROS DE MALLAS

Los filtros de malla están constituidos por un cuerpo cilíndrico que aloja en su interior un cartucho de malla, que puede tener diferentes tamaños de orificios, a través del cual circula el agua que se pretende filtrar. Existen filtros de malla de distintas formas y dimensiones (en "V" en "Y" en "L", de doble cuerpo, etc.). El agua penetra en el mismo y pasa a la cámara interior del cartucho. Al atravesar la pared del cartucho, las partículas cuyo tamaño es mayor que el de los orificios de la malla, quedan retenidas, acumulándose en el interior. La colmatación del filtro de mallas se produce de forma gradual, dejando cada vez menor superficie para el paso del agua y aumentando por lo tanto las pérdidas de carga. La limpieza del filtro se realiza abriendo la válvula de la parte inferior del filtro, por donde saldrá el agua arrastrando las impurezas retenidas. También se realizan limpiezas más a fondo desmontando el filtro y limpiando el cartucho con agua a presión o con un cepillo.

10.8 RENDIMIENTOS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE FILTRACIÓN

Las características principales y los rendimientos obtenidos de los distintos tipos de filtración, estudio realizado por G. Batanero y E. Ortega, Cedex 2008, se recogen en la siguiente tabla:

	Velocidad filtración (m ³ /m ² /h)	Partícula eliminada (mm)	Lecho (m)/ granulometría (mm)	Reducción Turbidez (%)	Reducción SS (%)	Reducción E.coli (%)	Reducción Nematodos (%)
Presión	7-10	> 0,01	0,8-1,2/0,8-1	20-30	30-50	50-95	95-99
Gravedad	7-10	>0,01	1-1,5 /0,8 – 1	20-50	30-80	50-95	95-99
Anillas/mallas	1.5-3*	>0,02		20-30	20-30	50-60	90-95
Lecho pulsante	8	>0,01	0,25-0,30/0,45	40-50	75-85	40-80	95-99
Puente móvil	5	0,01	0,30-0,40/0,45	60-80	50-80	40-80	95-99
Filtro de tamiz	10-14 (10 micra)	>0,01	Poliéster 0,01- 0,5	85-95	60-80	50-95	Ausencia

*m³/h cartucho

Todos estos tipos de filtros tienen como objetivo conseguir una calidad del agua para una óptima desinfección. La elección de uno u otro vendrá dada en función de los rendimientos exigidos, la fiabilidad de la tecnología y los costes de implantación y explotación.

En referencia a los parámetros de calidad adoptados (SS, NTU, E.coli y Nematodos) esta etapa de tratamiento consigue unas reducciones, indicadas en la tabla, dependiendo fundamentalmente de la granulometría y espesor del lecho.

10.9 FILTRACIÓN SOBRE MEMBRANAS

10.9.1 Introducción

Existen cuatro tipos de proceso de separación por membrana, muy similares en la esencia de funcionamiento pero diferentes en el tamaño del poro de filtrado. Estos sistemas son:

- Microfiltración
- Ultrafiltración
- Nanofiltración
- Ósmosis inversa

Una de las diferencias generales entre el tipo de membranas es el objetivo del filtrado; las membranas de ósmosis inversa y nanofiltración son capaces de separar sustancias tan pequeñas como los iones, mientras que las membranas de ultrafiltración y microfiltración separan moléculas mayores, permitiendo todas ellas el paso del agua.

En comparación con la filtración convencional que retiene partículas superiores a 1-10 micras, la microfiltración lo hace con partículas de 0,4 micras, la ultrafiltración rechaza macromoléculas como las proteínas, la nanofiltración sales divalentes, azúcares y ácidos disociados y la ósmosis inversa filtra sales monovalentes y ácidos no disociados.

10.9.2 Microfiltración

Los sistemas de microfiltración se utilizan fundamentalmente para la reducción de los sólidos en suspensión presentes en el agua depurada, aunque también es de importancia su utilidad como barrera física a los microorganismos sobre todo en sistemas con tamaño de poro menor de 0,6 µm. Actualmente sólo se implantan los sistemas a depresión.

Los rendimientos que se obtienen son los siguientes:

Microfiltración	DBO ₅		COT		SS		Escherichia coli		Nemátodos	
	(mg/l)	%	(mg/l)	%	(mg/l)	%	Ufc/100ml	u.log	(nº/l)	%
	< 7	60	< 5	65	< 1	92	0-100*	5-7	ausencia	100

*ausencia con hipoclorito

Microfiltración	Turbidez		SDI	% recuperación
	NTU	%	< 2	85-90
	< 0,5	96		

Los SS son eliminados prácticamente en su totalidad obteniéndose valores de SS inferiores a 1 y el rendimiento de eliminación de la turbidez supera el 97%, llegándose a valores inferiores a 0,2 NTU. El valor del índice de ensuciamiento (SDI) es bastante bueno en el caso de emplearse a posteriori ósmosis inversa. En cuanto a la eliminación de E.coli se logran entre cuatro y cinco unidades logarítmicas, pero con 20 ppm de hipoclorito sódico al 15% se puede obtener eliminación total. En cuanto a la eliminación de virus, las reducciones medias oscilan entre 1,86 unidades logarítmicas en el caso de los bacteriófagos F-RNA (los bacteriófagos RNA F-específicos han sido propuestos como indicadores potenciales de virus infecciosos humanos) y 3,26 unidades logarítmicas en el caso de los colifagos somáticos. En cuanto a los protozoos Giardia spp. y Cryptosporidium siempre se superan las 3 unidades logarítmicas de reducción.

10.9.3 Membranas de ultrafiltración

Se considera ultrafiltración al paso de agua a través de membranas, cuyo tamaño nominal de poro es inferior a 0,1µm, siendo un valor normal el comprendido entre 0,02 µm y 0,04µm.

Las membranas de ultrafiltración mediante succión (a depresión), son actualmente las que se implantan. La frecuencia de contralavado aumentará más cuanto peor sea la calidad del efluente de la EDAR a tratar, con menor producción neta de agua filtrada.

Los rendimientos que se obtienen son los siguientes:

Rendimientos de Ultrafiltración	DBO ₅		COT*		SS		Escherichia coli		Nemátodos	
	(mg/l)	%	(mg/l)	%	(mg/l)	%	ufc/100ml	u.log	(nº/l)	%
	< 5	70	< 2	88	< 1	92	ausencia	> 7	ausencia	100

*COT Carbono Orgánico Total

Rendimientos de Ultrafiltración	Turbidez		SDI	% recuperación
	NTU	%	< 2	85-90
	< 0,3	98		

En cuanto a la eliminación de virus, las reducciones medias oscilan entre 4.2 unidades logarítmicas en el caso de los bacteriófagos F-RNA y 6.5 unidades logarítmicas en el caso de los colifagos

somáticos (sirve como referencia del rendimiento depurador). Los resultados, para los fagos F-RNA, son similares a los recogidos en otras plantas (USEPA, 2001).

En caso de que fuese necesaria una etapa posterior de desalación, la turbidez (NTU) es fundamental, así como el índice de ensuciamiento de las membranas (SDI) en el caso de emplearse la Ósmosis Inversa.

10.9.4 Biorreactores con membranas

Los biorreactores de membranas combinan el proceso de fangos activados y la filtración mediante membranas. En general se caracterizan por obtener un elevado rendimiento de depuración en un espacio muy reducido, ya que permiten trabajar a una mayor concentración de biomasa en el reactor biológico, hasta 16 kg/m³. La decantación secundaria, como sistema de separación de los fangos activados y del agua tratada, es sustituida por dichas membranas. La calidad del efluente no se ve influida por las condiciones de sedimentabilidad del fango activado ni por la concentración del mismo en el reactor biológico. Además de eliminar la decantación secundaria, se elimina el tratamiento terciario (filtración y desinfección).

Las membranas son semipermeables y pueden ser de micro o ultrafiltración., con tamaño de poro muy pequeño, reteniendo partículas en suspensión y también, bacterias y componentes adheridos a dichas partículas, como diferentes tipos de metales. Las membranas se sumergen directamente en el reactor biológico o directamente en una cámara de filtración anexa. El agua se extrae a través de las membranas, generando una diferencia de presión mediante una bomba. Esta presión varía entre 0,3 bares (microfiltración) a 3 bares (ultrafiltración). El rango de desinfección será mucho mayor en la ultrafiltración. En este último caso se tiende a membranas en bastidores, no sumergidas. El empleo de las membranas permite que el efluente de la EDAR sea apto para la mayoría de los usos de reutilización, siempre que no sea necesaria la reducción de la salinidad.

Un problema importante es el ensuciamiento, no intercambio entre diferentes marcas de membrana y la incertidumbre existente sobre la vida útil de las mismas, principalmente por pérdida de permeabilidad, factores ambos que dependen del agua residual a tratar y de los parámetros de funcionamiento.

Las principales tecnologías se basan en la membrana plana y en la tubular de fibra hueca.

Los resultados y rendimientos que suelen obtenerse son:

Biorreactor con membranas	DBO5		Turbidez		SS		Escherichia coli reducción u.log		Nemátodos	
	(mg/l)	%	NTU	%	(mg/l)	%	MF	UF	(nº/l)	%
	<5	99	<1	99	<2	99	5 - 7	7 - 8	ausencia	100

10.10 DESALACIÓN

Las tecnologías utilizadas en el campo de la desalación de agua depurada en España son fundamentalmente la electrodiálisis reversible y la ósmosis inversa. A continuación se da una breve descripción de cada una de ellas.

10.10.1 Electrodiálisis Reversible

Su aplicación en España, en el campo de la desalación de aguas residuales depuradas data de hace unos 10 años, por lo que existe una experiencia importante respecto a sus prestaciones.

Esta tecnología se limita a la reducción de sales, no alterando ni la turbidez ni el contenido de sólidos en suspensión.

La Electrodiálisis (ED) es un proceso de separación de sales por vía electroquímica en el cual los iones son transferidos a través de membranas desde una solución menos concentrada a otra más concentrada como consecuencia de una diferencia de potencial (voltaje de corriente continua). Los cationes (Na⁺) son atraídos hacia el electrodo negativo, llamado cátodo y los aniones (Cl⁻) son atraídos hacia el electrodo positivo, llamado ánodo. Mediante el cambio de la polaridad eléctrica se controla continuamente la precipitación sobre las membranas y el ensuciamiento de las mismas (EDR).

Se suelen utilizar dos tipos de membranas: Membrana de Transferencia Aniónica que sólo permite el paso a los iones cargados negativamente (aniones) y de transferencia catiónica que solo permite el paso a los iones cargados positivamente (cationes).

La unidad fundamental de trabajo en un sistema de electrodiálisis es la pila de membranas, constituida por entre 300 y 600 pares de células. Las células están constituidas por: membrana de transferencia de cationes, espaciador de flujo de agua desmineralizada, membrana de transferencia de aniones y espaciador de flujo de agua concentrada.

Dado que hay una eliminación máxima de sales en una etapa hidráulica, para incrementar la cantidad de sales eliminada se deben añadir etapas en serie. Dependiendo de los modelos valores típicos de diseño oscilan entre el 40 % y 60% por etapa.

Actualmente en el desarrollo de la tecnología de electrodiálisis, la utilización de las membranas bipolares aporta una componente innovadora muy importante. Estas membranas están formadas por dos capas: una de ellas posee grupos iónicos positivos mientras que la otra posee grupos iónicos negativos, lo que permite conseguir una alta capacidad para disociar el agua. La principal ventaja de este método es que en los distintos compartimentos de la celda electrolítica se pueden conseguir directamente disoluciones de ácidos y bases con los iones procedentes de una sal de partida y los H⁺ y OH⁻ procedentes del agua, y, por otra parte, la cantidad de gases generados es despreciable. El potencial de la tecnología de electrodiálisis con membranas bipolares se presenta como alternativa en campos como la recuperación o valorización de residuos o la obtención de determinados productos químicos mediante tecnologías limpias, dando lugar a su creciente implantación en numerosas industrias.

10.10.2 Ósmosis Inversa.

El empleo de la ósmosis inversa (O.I.) como tratamiento de desalación para la regeneración de aguas residuales depuradas permite su reutilización para todos los usos posibles. La O.I. permite la separación de los microcontaminantes orgánicos e inorgánicos presentes, junto con los iones disueltos, además de eliminación total de E. coli y virus debido a que el tamaño de paso de las membranas está entre 10⁻⁹ y 10⁻¹⁰ µm.

Su evolución ha venido marcada por dos aspectos críticos: la selección del pretratamiento óptimo que permita una operación con largos periodos entre limpiezas químicas y la disponibilidad de membranas para la desalación específica de efluentes secundarios de EDAR. La entrada en servicio de instalaciones de O.I. tanto con pretratamientos convencionales como optimizados o con sistemas de membranas de microfiltración y ultrafiltración, ha supuesto la adquisición del conocimiento en la operación de las mismas y un avance en su diseño.

Las propiedades físicas y químicas de las membranas contribuyen al fenómeno de ensuciamiento de las mismas, siendo este punto crítico en su aplicación al tratamiento de efluentes secundarios de EDAR. Además, dichas propiedades también juegan un papel importante en la adhesión bacteriana y en la consiguiente formación de biopelícula, probablemente la causa principal del ensuciamiento al tratar efluentes secundarios, junto con el ensuciamiento orgánico, inorgánico y coloidal.

En general, las presiones de diseño oscilan entre valores de 10-15 bares para membranas de poliamida aromática y entre 20-30 bares en membranas de acetato de celulosa.

El índice de atascamiento SDI nos fija la calidad del agua de alimentación a membranas respecto al riesgo de ensuciamiento coloidal y matiza los valores de turbidez como indicadores cuando éstos son inferiores a 1 NTU. En la mayoría de casos se debe cumplir la condición de conseguir un índice de atascamiento SDI inferior a 5 y se aconseja alcanzar un valor inferior a 3 para un control óptimo del ensuciamiento coloidal, valor que se consigue en general empleando como pretratamiento la microfiltración o ultrafiltración.

El ensuciamiento bacteriano origina los mayores problemas de funcionamiento.

10.11 DESINFECCIÓN

Desde el punto de vista de la salud es la etapa más importante del tratamiento de regeneración. Tres principales tipos de microorganismos deben ser eliminados: bacterias, virus y protozoos

Se define como el proceso de eliminación de microorganismos patógenos mediante procedimientos físicos y químicos. Se utiliza como indicador el grupo de los coliformes (E.coli).

10.11.1 Desinfección mediante radiación ultravioleta.

La radiación ultravioleta forma parte del espectro electromagnético y tiene longitudes de onda comprendidas entre 150 y 400 nm (1 nm = 10^{-9} m.), habiéndose descubierto sus propiedades bactericidas, por primera vez, en 1.877. Entre 200 y 280 nm, tiene efecto germicida al originar cambios químicos en el ácido desoxirribonucleico de los microorganismos, impidiendo su reproducción y, por consiguiente, inactivándolos. El tiempo en que dichas reacciones fotoquímicas tienen lugar, se mide en fracciones de segundo.

Mientras la desinfección química requiere, por ejemplo, en el caso del cloro, tiempos de minutos, en la radiación ultravioleta el tiempo necesario oscila entre 2 y 3 segundos.

Un sistema adecuadamente diseñado puede obtener reducciones en el número de bacterias de 6 a 8 unidades logarítmicas, pudiendo obtenerse hasta 20-50 ufc/100 ml. Si el efluente depurado se somete a un físico químico más filtración convencional se puede llegar hasta 2,2 ufc/100 ml, debido al aumento que se consigue en la transmitancia del agua a desinfectar.

El nivel de desinfección conseguido alcanzará un máximo dependiendo del tratamiento previo a que se haya sometido el agua residual, tal como se indica en la tabla siguiente, (Cedex 2008):

TIPO DE PROCESO	UVT* (%)	S.S.T. (mg/l)	Tamaño medio de partículas (µm)	NIVEL DE DESINFECCIÓN (/100 ml)
Primario	5 - 25	30 - 150	20 - 25	< 1000 CF <10.000 CT
Secundario	40 - 75	10 - 30	25 - 45	< 200 CF < 240 CT
Secundario (Filtrado)	60 - 75	5 - 10	20 - 30	<14 CF <23 CT
Terciario	65 - 80	1 - 5	15 - 20	<1 CF < 2,2 CT

*Porcentaje de transmitancia de los UV con relación al agua limpia. Relación entre el flujo radiante transmitido y flujo radiante incidente en unas condiciones dadas.

Para el diseño de los sistemas de desinfección por ultravioletas, lo normal es que cada fabricante define su capacidad de desinfección en función a la potencia de las lámparas y a los parámetros de entrada del influente a tratar.

Como valores de prediseño de canales con bancadas de lámparas se pueden adoptar:

Ratio de desinfección

Características de cada lámpara

w/(m³/h)

ufc/100 ml

Pot (W)

Pot. Desinf.

22 - 32

2,2

290

95

9 - 12	10
--------	----

275	125
-----	-----

5 - 12

1000

315

150

250	106
88	37
3500	630

$P = \text{ratio de desinfección} \times Q$

$n^\circ \text{ de lámparas} = P / \text{Pot. unitaria de desinfección}$

Para el diseño de las bancadas se adoptan los siguientes mínimos:

Max. 50 lámparas por banco

Max. 200 lámparas por canal

La distancia del agua a las lámparas no será mayor de 100 mm

Los canales resultantes se dimensionan por criterios de velocidad de circulación del agua, adoptando velocidades entre 0,1 y 0,3 m/s en el canal y de 0,6 m/s en el paso por los bancos de lámparas, suponiendo además que éstos se han colmatado en un 30%, para garantizar el adecuado contacto entre el agua y la luz ultravioleta.

También existen sistemas de lámparas en tubería, modulares y con parámetros que deben ser aportados por cada fabricante. Como resumen suelen trabajar en torno a una longitud de onda entre 250 y 280 mm. El tiempo de exposición será de al menos 15 segundos con una intensidad efectiva de 50 w/m² y la distancia del agua a las lámparas no será mayor de 120 mm.

10.11.2 Desinfección por cloro

Se puede realizar una desinfección mediante hipoclorito (HClO). La capacidad de dosificación varía según la calidad de agua a tratar. Será de 6 ppm. para caudal tratado en un terciario, o de 100 ppm para un efluente de secundario, con tiempos de contacto como mínimo de unos 15 minutos. A 20°C se puede esperar que la eficacia de una concentración determinada de cloro libre sea la mitad a pH 7,5 que a pH 6.

La cantidad de cloro libre dependerá de las distintas reacciones que tenga el cloro con los distintos componentes del agua a desinfectar. La capacidad de almacenamiento permitirá una autonomía de

15 días. El sistema de dosificación será automático y proporcional al caudal. El tiempo de contacto del cloro con el efluente, antes de su vertido, será mayor de quince minutos, en el supuesto de caudal máximo.

El sistema de dosificación estará totalmente separado de la zona de almacenamiento y del resto de las dependencias de la planta. Hay que prestar un cuidado especial en observar todas las medidas de seguridad que se exijan para este tipo de instalaciones, fundamentalmente cuando se trata de cloro gas.

En el caso de las aguas regeneradas, es improbable la existencia de agentes reductores siendo, además la cantidad de materia orgánica muy baja, $DBO5 \leq 20$ mg/l, por lo que la demanda de cloro se reduce del orden de cuatro a cinco veces comparada con la de un agua residual. Se llama cloro combinado disponible al que está en combinación con el NH_3 o compuestos orgánicos del nitrógeno.

Es importante la disposición de un sistema de filtración previo a la desinfección, que garantice una turbidez menor a 6 NTU para evitar presencia de sustancias protectoras que impidan la acción del cloro.

<i>Concentración de Cloro (mg/L)</i>	1 log inactivación	2 log inactivación	3 log inactivación
0.6	48	95	143
1.2	51	101	152
1.8	54	108	162
2.4	57	115	172

Valores de eliminación de Giardia por cloro libre a 5 °C y pH 7. Fuente EPA

Las dosis típicas de cloro según el tipo de efluente suelen ser las siguientes:

EFLUENTE	DOSIS (mg/l)
Agua residual bruta	6-100
Decantación primaria	5-50
Tratamiento físico-químico	3-6
Filtros percoladores, biodiscos	3-20
Fangos activos convencionales/secundario	2-10

Fuente CEDEX

El cloro tiene un poder residual bastante alto, lo cual es muy positivo. Como inconveniente es la posibilidad que tiene de reaccionar con la materia orgánica existente en el medio y dar lugar a la formación de trihalometanos, tóxicos para los peces.

10.11.3 Cloraminas

Se ha comprobado que la existencia de amonio en el medio puede dar a la formación de un desinfectante a base de cloraminas. Las cloraminas como desinfectante fueron identificadas en las primeras décadas del 1.900 al comprobarse que la desinfección con cloro tenía lugar en dos fases. En la fase inicial, el cloro al oxidar una serie de sustancias presentes en el agua, desaparece rápidamente y en una segunda fase, cuando en el agua hay presente amoníaco, la acción bactericida continua, a pesar de que el cloro libre hubiera desaparecido, debido precisamente a la acción de las cloraminas formadas.

La combinación del amoníaco con el cloro en el proceso de tratamiento del agua conocida también como cloración con cloro combinado o cloraminación, tiene como primer objetivo aportar un desinfectante residual al agua, más persistente que el cloro libre, a la vez que evita ciertos sabores de algunos compuestos clorados. También puede añadirse a las cloraminas una función importante y es la de no formar, o al menos formar en menor grado, los conocidos subproductos de la desinfección. Al ser más estables que el cloro libre, resultan muy efectivas para controlar el recrecimiento bacteriano en la red y las corrosiones de la misma.

En Estados Unidos, fueron bastante empleadas hasta 1.940 y a partir de entonces y como consecuencia de la escasez de amoníaco en la Segunda Guerra Mundial, decayó su empleo. La preocupación en las últimas décadas por los subproductos de la cloración, principalmente los trihalometanos y ácidos halohacéticos, en el agua tratada en los sistemas de distribución, ha hecho aumentar el interés por las cloraminas como desinfectante alternativo, al formar menos

subproductos de desinfección, aunque también se analizan por la existencia de algún tipo de cloraminas como cancerígenas.

10.11.4 Ozono

El ozono es una sustancia gaseosa que se utiliza como desinfectante. En 1781 Van Marum predijo su existencia cuando observó el olor del aire atravesado por descargas eléctricas, pero no fue descubierto hasta 1839 por Christian Schönbein que le dio el nombre de ozono. Su nombre deriva del griego ozein = oler. Se trata de un gas azul de olor metálico y picante, peligroso para la respiración pues ataca las mucosas, fácilmente reconocible, además es tóxico y corrosivo. Es uno de los agentes oxidantes más poderosos que se conocen. Su eficacia depende de la solubilidad en agua. Por ejemplo a una temperatura de 20°C es sólo de 570 mg/litro (12 veces menos que el cloro).

El ozono se forma por disociación del oxígeno molecular en oxígeno atómico, con subsiguiente formación de O3. Dado que la disociación del oxígeno molecular implica la rotura de un enlace muy fuerte, se requiere una gran cantidad de energía. Por lo tanto tiene la ventaja de ser muy buen desinfectante pero bastante caro y peligroso de manejar.

10.11.5 Procesos de oxidación avanzada

Los procesos de oxidación avanzada (PAO's) son procesos que se utilizan para la eliminación de los disruptores endocrinos generados por la existencia de productos químicos (mercurio, arsénico, plomo...), fenoles, plaguicidas, disolventes, fármacos en el agua residual. La técnica consiste en la formación de radicales hidroxilo (OH) que tiene un potencial de oxidación mucho mayor que los oxidantes tradicionales, según la siguiente tabla:

PAO.s	OZONO	PERÓXIDO HIDRÓGENO	DIÓXIDO DE CLORO	CLORO
2.8 Voltios	2.07	1.78	1.57	1.36

Estos radicales son tóxicos para los microorganismos, atacando la doble capa de la pared externa de la célula. Un PAO's típico es el uso combinado de H2O2 , ozono y radiación ultravioleta.

Las dosificaciones de peróxido (H2O2) varía entre 0,2 y 2 ppm dependiendo de la contaminación del agua y de los tratamientos previos.

11. TRATAMIENTOS DE REGENERACIÓN PARA LOS TIPOS DE CALIDAD SEGÚN R.D. 1620/2007

Se trata de establecer unos criterios básicos para que autoridades y gestores puedan aproximarse al tema del epígrafe. Para ello se ha establecido en primer lugar un agrupamiento de las 14 calidades recogidas en el R.D. 1620/2007 en función de su rigurosidad respecto a la calidad bacteriológica exigida, En la tabla siguiente se establecen 6 tipos de calidad (A, B, C, D, E y F), teniendo en cuenta fundamentalmente los límites indicados respecto a Escherichia coli, Nematodos intestinales y Legionella spp.

Grupos de calidad en función de los límites bacteriológicos establecidos en el R.D. 1620/2007

(G. Batanero, E. Ortega, Cedex 2008)

USOS		Calidad	E.coli UFC/100 ml	Nematodos huevos/10 L	Legionella spp UFC/100 ml
• Industrial 3.2 a)	Torres de refrigeración y condensadores evaporativos	A	Ausencia	1	Ausencia
• Urbano 1.1 a) y b)	• Riego de jardines privados • Descarga de aparatos sanitarios		Ausencia	< 1	< 100
• Ambiental 5.2 a)	• Recarga de acuíferos por inyección directa		Ausencia	< 1	No se fija límite
• Urbano 1.2 a), b), c) y d) Industrial c) E.C. <1.000 • Agrícola 2.1 a) • Recreativo 4.1 a)	• Servicios urbanos, sistemas contra incendios y lavado de vehículos • Riego agrícola sin restricciones • Riego de campos de golf	B	< 100 - 200	< 1	< 100
• Agrícola 2.2 a), b) y c)	Riego de productos agrícolas para consumo humano no en fresco Riego de pastos para animales productores • Acuicultura	C	< 1.000	< 1	No se fija límite
• Ambiental 5.1 a)	Recarga de acuíferos por percolación a través del terreno		< 1.000	No se fija límite	No se fija límite
• Agrícola 2.3 a), b) y c) Industrial a) b) Nematodos no se fija	Riego de cultivos leñosos sin contacto con los frutos Riego de cultivos de flores, viveros e invernaderos, sin contacto con producción • Riego de cultivos industriales no alimentarios	D	< 10.000	< 1	< 100
• Recreativo 4.2 a)	• Estanques, masas de agua y caudales ornamentales, con acceso impedido al público	E	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite
• Ambiental 5.3 a) y b)	• Riego de bosques y zonas verdes no accesibles al público • Silvicultura		No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite
• Ambiental 5.4 a)	• Mantenimiento de humedales, caudales mínimos....	F	La calidad requerida se estudiará caso por caso		

Hay que tener en cuenta que para la calidad F, que se refiere a la exigida para otros usos ambientales (mantenimiento de humedales, caudales mínimos, etc.) no es posible establecer límites preciso ya que éstos deberán ser determinados en cada caso por el organismo de cuenca. También hay que considerar la existencia de tres usos en los que se limitan el nitrógeno o el fósforo, que exigirán un tratamiento complementario. Estos usos son: a) los estanque, masas de agua y caudales circulantes (PT < 2 mg P/l); b) la recarga de acuíferos bien por percolación localizada a través del terreno, bien por inyección directa (en ambos casos NT < 10 mg N/l y NO3 < 25 mg NO3/l).

De acuerdo a la eficacia, fiabilidad y rendimientos asociados a cada línea de tratamiento y a las calidades exigidas en el R.D. 1620/2007, agrupadas tal como se exponen en la tabla anterior, se realiza una propuesta de líneas de tratamiento adecuadas para cada tipo de calidad, separando los casos en que no se necesita eliminar sales y los casos en que es necesario. Esta propuesta se recoge en las tablas siguientes, primero sin desalación y luego con desalación.

Hay que tener en cuenta que para seleccionar el tratamiento más adecuado deben analizarse en profundidad las características específicas correspondientes a cada caso.

Tipo de tratamiento y línea de regeneración adecuada, sin desalación

TIPO DE CALIDAD	TIPO DE TRATAMIENTO Y LÍNEA DE REGENERACIÓN ADECUADA	
	TIPO	LÍNEA
A	<i>Tratamiento con membranas:</i>	
	I	Físico químico con decantación ¹ + Filtración + Ultrafiltración + Desinfección de mantenimiento (normalmente ClONa)
B	II	Físico químico con decantación + Filtración + Desinfección (tendencia a emplear s UV) + Desinfección de mantenimiento (normalmente ClONa)
C	III	Filtración + Desinfección (tendencia a emplear rayos UV) + Desinfección de mantenimiento (normalmente ClONa)
D	III	
E	IV	Filtración ²
F		En función de la calidad requerida en cada caso

¹ Cuando se da un efluente depurado de calidad constante, puede prescindirse del tratamiento físico-químico con decantación.

² La calidad requerida es la de efluente del secundario, pero es recomendable a efectos operativos de la red de distribución poner al menos una filtración

Tipo de tratamiento y línea de regeneración adecuada, con desalación

TIPO DE CALIDAD	TIPO DE TRATAMIENTO Y LÍNEA DE REGENERACIÓN ADECUADA	
	TIPO	LÍNEA
TODAS	V	Físico químico con decantación ³ + Filtración + Filtración con membranas + desalación mediante OI + Desinfección de mantenimiento (normalmente ClONa)
B, C, D, E	VI	Físico químico con decantación ⁴ + Filtración ⁵ + desalación mediante EDR + Desinfección (tendencia a emplear rayos UV) + Desinfección de mantenimiento (normalmente ClONa)

Como conclusión en la última tabla que aparece a continuación se recogen los costes de los tipos de tratamiento recogidos en las tablas anteriores. Los valores se han obtenido en función de la información de las entidades gestoras y explotadoras de las principales comunidades autónomas donde se reutilizan las aguas regeneradas, estudio realizado por el CEDEX. En el caso de los costes de implantación se refieren a ejecución por contrata sin IVA. Respecto a los de explotación recogen los costes fijos:

- Personal
- Término de potencia
- Análisis
- Mantenimiento
- Gastos generales, etc

Y los costes variables:

- Energía
- Reactivos químicos
- Reposición de fungibles

³ Idem nota 2

⁴ Idem nota 2

⁵ Se utiliza mayoritariamente filtros de limpieza en continuo con doble filtración.

MAGUA

Regeneración de Aguas Depuradas. Reutilización en agricultura/Módulo Aguas

Todos los costes en ejecución por contrata sin IVA y sin amortización.

Costes de cada tipo de tratamiento y línea de regeneración adecuada, con desalación

TIPO	COSTES	
	IMPLANTACIÓN (€/m ³ /d)	EXPLOTACIÓN (€/100 m ³)
I	190 - 420	14 -20
II	33 - 56	7 - 10
III	11 - 26	5 - 7
IV	6 - 13	4,7 – 6,5
V	311 - 540	30 -40
VI	283 - 510	30 -40

12. EL RECICLAJE DEL AGUA EN LAS CIUDADES

12.1 Introducción

En la mayoría de las ciudades se han desarrollado programas de reutilización de aguas, algunos iniciados antes del Real Decreto 1620/2007 y otros muchos, después.

12.2 Ejemplo de reciclaje en una gran ciudad. Madrid

Un ejemplo muy significativo de la eficiencia en el reciclaje de aguas es el del excelentísimo Ayuntamiento de Madrid. Entre los numerosos proyectos que se desarrollaron y se ejecutaron, está **La Red Sureste de Reutilización de Aguas**. Este proyecto, en el que el autor de estos apuntes fue el responsable de su desarrollo, y que se resume a continuación, sirva como un ejemplo más del gran acierto del uso del agua regenerada en una gran ciudad.

12.2.1 Resumen de las obras

El proyecto de la “Red Sur Este de Reutilización de Aguas” de Madrid, se inició en 2005 antes de que el Real Decreto entrara en vigor y ha sufrido cambios y adaptaciones en su ejecución, hasta su ejecución en el año 2010. A continuación se resume lo inicialmente propuesto como ejemplo válido para otras muchas ciudades. El Proyecto se desarrolló en siete actuaciones independientes que se han podido ejecutar conjuntamente o por separado.

MAGUA**Regeneración de Aguas Depuradas. Reutilización en agricultura/Módulo Aguas**

ACTUACION N° 1: Conexión con el tramo de la red Norte que viene de Rejas, desde el Polígono Fin de Semana hasta la Nueva Centralidad del Este primer sector para continuar hacia el depósito del estadio de atletismo de la Peineta y llegar hasta el depósito del parque de la Elipa y conexiones con los parques de la Cuña O´donell, parque de Moratalaz, parque Darwin y Jardines de Dionisio Ridruejo, incluyendo la dársena de baldeo en el parque Darwin.

ACTUACIÓN N° 2: Conducciones en impulsión desde la E.R.A.R. de la China por el parque forestal de Entrevías hasta el depósito del parque del Cerro del Tío Pío en Vallecas.

ACTUACION N° 3: Conexión con el ramal que va hacia la Nueva Centralidad del Este (primer sector) para conectar con el depósito de la Nueva Centralidad del Este (segundo sector) hasta el depósito y dársena de baldeo en Valderrivas.

ACTUACIÓN N° 4: Conducción en impulsión desde la E.R.A.R. de la Gavia hasta Ensanche de Vallecas incluyendo la dársena de baldeo en Vallecas Villa-Santa Eugenia.

ACTUACIÓN N° 5: Conducción en impulsión desde la E.R.A.R de la Gavia hacia Valdecarros, ampliación del Ensanche de Vallecas, hasta los Cerros, incluyendo la interconexión de la Actuación n° 3 que viene de la Red Norte y con esta Actuación n° 5 entre el depósito del Cañaveral y la Nueva Centralidad del Este en el segundo sector.

ACTUACIÓN N° 6: Interconexión de las estaciones regeneradoras (E.R.A.R.) mediante bombeos en la China y en la Gavia.

ACTUACIÓN N° 7: Tratamiento complementario de las aguas (terciario) para aumentar al doble la capacidad de reutilización de agua desde la E.R.A.R. de la Gavia.

Además el proyecto incluía la automatización y control de toda la red de distribución del agua, las obras de suministro de energía eléctrica a los diferentes enclaves que la precisan (tratamiento de las aguas, estaciones elevadoras, depósitos y dársenas de baldeo) y todas aquellas actuaciones necesarias para la buena ejecución del proyecto.

Conexiones con otras redes de reutilización de aguas

La “Red Sureste de Reutilización de Aguas” tenía las siguientes interconexiones con otras redes de reutilización de aguas:

- a) Impulsión desde la E.R.A.R. de Rejas para la “Red Sureste”

Red Norte que reserva en Rejas un consumo punta de 19.350 m³/día (equivalentes a un caudal ficticio continuo en 24 h/día de 224 l/s) a suministrar con un caudal de 270 l/s (equivalente a una jornada de unas 20 h) para la Red Sur Este.

Estas reservas de consumo y caudal, hacia la futura “Red Sureste”, se incluyeron en el diseño de la estación de tratamiento complementario de las aguas de Rejas. Igualmente, en la ejecución del proyecto de la Red Norte se incluyó un tramo en impulsión, de unos 3.450 m de longitud y D.N. 500 mm. Desde este tramo pasada la Nacional II y justo en el inicio del Polígono Fin de Semana partía el ramal objeto de este proyecto que luego se dividió, uno hacia el ramal del depósito de la Nueva Centralidad del Este primer sector, pasando por el Estadio de la Peineta, hacia San Blas y hasta Moratalaz y el otro hacia la Nueva Centralidad del Este segundo sector, por Valderribas y hasta Valdebernardo.

b) Conexiones con la Red Gavia-Rejas

Desde la E.R.A.R de la Gavia en la Actuación nº 5 sale un ramal hacia Valdecarros, ampliación del Ensanche de Vallecas, hasta los Cerros que incluye la interconexión de la Red Norte (Rejas) y Sureste (Gavia) entre el depósito del Cañeval y el depósito de la Nueva Centralidad del Este segundo sector de la Actuación nº 3.

c) Conexiones entre la E.R.A.R de la Gavia con la E.R.A.R. de la China

En la Actuación nº 6, desde la E.R.A.R de la Gavia salen dos bombeos hasta la E.R.A.R de la China y viceversa, para tener interconectadas ambas estaciones regeneradoras de agua.

ESTACIÓN DE TRATAMIENTO COMPLEMENTARIO

La E.R.A.R. de la Gavia amplió el tratamiento terciario existente para duplicar el caudal que tratado. Por otro lado durante la redacción del proyecto, en el año 2005, se estaba ejecutando el terciario de Rejas que proporcionaría parte del caudal a la Red Sureste.

La producción máxima diaria y los caudales que solicitan las redes de distribución de aguas considerando hasta el año 2015:

ERAR	Consumo máximo diario (m3)	Caudal punta (l/s)
Gavia (terciario existente)	21.600	250

MAGUA

Regeneración de Aguas Depuradas. Reutilización en agricultura/Módulo Aguas

Gavia (terciario a ampliar)	21.600	250
Rejas (terciario en ejecución)	19.350	270
TOTAL	62.550	770

Las cargas contaminantes del efluente de la E.R.A.R. de la Gavia son:

DBO5

. Concentración: 20,00 mg/l

SS

. Concentración: 20,00 mg/l

Las obras e instalaciones en la ampliación de la Gavia se dimensionaron para conseguir los rendimientos y características que a continuación se exponen:

Resultados previstos

- Concentración DBO5 salida del tratamiento terciario: ≤10 mg/l
- Concentración SS salida del tratamiento terciario: ≤5 mg/l
- Concentración DQO salida del tratamiento terciario: ≤50 mg/l
- Turbidez a la salida del tratamiento terciario: ≤1,5 NTU
- Coliformes totales a la salida del tratamiento terciario: ≤10 ud/100ml
- Huevos de nemátodos a la salida del tratamiento terciario: ≤1,0 ud/l
- pH: Entre 6,0 y 9,0

MAGUA**Regeneración de Aguas Depuradas. Reutilización en agricultura/Módulo Aguas**

La ubicación de las obras e instalaciones del tratamiento terciario se construyeron en la misma zona prevista para ello en el Proyecto Modificado nº 1 de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de La Gavia (Madrid) y que en ese momento estaba en ejecución. Esta zona estaba situada entre los decantadores primarios y los reactores biológicos.

De acuerdo con los objetivos de calidad de las aguas a regenerar y las características fisicoquímicas del efluente tratado en la E.R.A.R. de Rejas y Gavia se consideraron oportunos los siguientes tratamientos:

- Coagulación - floculación
- Decantación - filtración
- Desinfección

En cuanto a la desinfección se aseguró la existencia de sustancias (desinfección residual) que garanticen la no proliferación de organismos patógenos en el agua. Además, el nivel de desinfección residual debía ser objeto de medida en los diversos enclaves de la red así como en los puntos de consumo con el objeto de controlar el estado de calidad biológica del agua.

La ampliación del tratamiento complementario en la E.R.A.R. de la Gavia no debía producir compuestos en el agua en cantidades que resultaran nocivas para el uso al que se destinaban y en el contacto con las personas y animales.

El tratamiento de las aguas debía adaptarse a los caudales efluentes en la E.R.A.R. de la Gavia confiándose al depósito de agua tratada la regulación entre los caudales tratados y los que se necesitaban bombear a la red objeto del proyecto.

DEPÓSITOS

Se diseñaron 18 depósitos en total con capacidades que oscilaban desde los 6.500 m³ hasta los 1.000 m³ según se establecía en el estudio de cada actuación.

Depósitos en la Actuación nº 1

- Depósito en la Nueva Centralidad del Este primer sector de 2.000 m³
- Depósito en el Estadio de la Peineta de 2.300 m³
- Depósito en el parque del Paraíso de 2.500 m³
- Depósito en el cementerio de la Almudena (frente al parque Arriaga) de 2.000 m³
- Depósito en el parque de Cuña O´donell de 2.300 m³

Depósitos en la actuación nº 2

- Depósito en el parque de Entrevías de 1.800m³
- Depósito en el parque Lineal de Palomeras de 1.000m³
- Depósito en el parque de Azorín de 2.000m³

Depósitos en la actuación nº 3

- Depósito en la Nueva Centralidad del Este segundo sector de 2.600m³
- Depósito en Valdebernardo de 4.000 m³

Depósitos en la actuación nº 4

- Depósito en el parque Water Spirals de 3.500m³
- Depósito en el Ensanche de Vallecas 4.500m³

Depósitos en la actuación nº 5

- Depósito en Valdecarros primera parte de 6.000m³
- Depósito en Valdecarros segunda parte de 6.500m³
- Depósito en el Ensanche de Vallecas de 3.000 m³
- Depósito en los Berrocales de 3.200 m³
- Depósito en el Cañaveral de 4.200m³
- Depósito en los Cerros de 1.000m³

Depósitos en la actuación nº 6

- Ampliación del depósito de salida del terciario al doble de capacidad del existente.

Depósitos en la actuación nº 7

- Depósito de recepción de 900 m³ para el bombeo de agua de salida del secundario de la Gavia a la E.R.A.R. de la China.

ESTACIONES DE BOMBEO

Bombeos actuación nº 1

- Impulsión desde la E.R.A.R. de Rejas al depósito de la Nueva Centralidad del Este primer sector y al depósito del segundo sector mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 490 m³/h a 106 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico de 222 kw de potencia unitaria instalada.
- Impulsión desde el depósito de la Nueva Centralidad del Este primer sector a la dársena 1-1

- mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 180 m³/h a 35 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico 27 kw de potencia unitaria instalada.
- Impulsión del depósito de la Nueva Centralidad del Este primer sector hasta el depósito del estadio de la Peineta mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 255 m³/h a 37 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico de 40 kw de potencia unitaria instalada.
 - Impulsión del depósito del estadio de la Peineta hasta el parque Paraíso mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 200 m³/h a 12 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico de 10 kw de potencia unitaria instalada.
 - Impulsión del depósito del parque Paraíso hacia el ramal que va hasta el parque Paraíso y la finca Torre Arias mediante 2 bombas (una en reserva y alternancia) de 65 m³/h a 61 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico de 16 kw de potencia unitaria instalada.
 - Impulsión desde el depósito del parque Paraíso a la dársena 1-2 mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 180 m³/h a 35 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico 27 kw de potencia unitaria instalada.
 - Impulsión del depósito del parque Paraíso hasta el depósito de la Almudena mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 130 m³/h a 40 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico de 22 kw de potencia unitaria instalada.
 - Impulsión del depósito de la Almudena hacia el ramal que va hasta el parque Calero mediante 2 bombas (una en reserva y alternancia) de 10 m³/h a 72 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico de 3 kw de potencia unitaria instalada.
 - Impulsión desde el depósito de la Almudena a la dársena 1-3 mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 180 m³/h a 35 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico 27 kw de potencia unitaria instalada.
 - Impulsión del depósito de la Almudena hacia el depósito del parque Cuña O´donell mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 85 m³/h a 17 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico de 6 kw de potencia unitaria instalada.
 - Impulsión del depósito del parque de la Cuña O´donell hacia el ramal que va hasta el parque de la Elipa mediante 2 bombas (una en reserva y alternancia) de 20 m³/h a 94 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico de 8 kw de potencia unitaria instalada.
 - Impulsión del depósito del parque de la Cuña O´donell hacia el ramal que va hasta el parque Darwin mediante 2 bombas (una en reserva y alternancia) de 15 m³/h a 41 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico de 3 kw de potencia unitaria instalada.
 - Impulsión desde el depósito en el parque Darwin a la dársena 1-4 mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 180 m³/h a 35 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico 27 kw de potencia unitaria instalada.
 - Impulsión del depósito del parque de la Cuña O´donell hacia el ramal que va hasta los

parques de Moratalaz y Dionisio Ridruejo mediante 2 bombas (una en reserva y alternancia) de 25 m³/h a 99 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico de 11 kw de potencia unitaria instalada.

Bombeos actuación nº 2

- Impulsión desde la E.R.A.R. de la China al depósito del parque de Entrevías mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 165 m³/h a 59 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico de 42 kw de potencia unitaria instalada.
- Impulsión desde el depósito en el parque de Entrevías a la dársena 2-1 mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 180 m³/h a 35 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico 27 kw de potencia unitaria instalada.
- Impulsión desde el depósito del parque de Entrevías hasta el parque Lineal de Palomeras mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 85 m³/h a 66 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico de 24 kw de potencia unitaria instalada.
- Impulsión desde el depósito del parque Lineal de Palomeras hasta el parque Azorín (incluye conexión con presión de 4 kg. en los parques Constitución y Paloma) mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 65 m³/h a 70 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico de 19 kw de potencia unitaria instalada.
- Impulsión desde el depósito en el parque Azorín hasta la dársena 2-2 mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 180 m³/h a 35 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico 27 kw de potencia unitaria instalada
- Impulsión desde el depósito del parque Azorín hacia el ramal que va a los parques Foyo y Cerro del Tío Pío (dejando tomas, considerando el punto de máxima cota de cada parque, con presión de 4 kg.) mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 35 m³/h a 88 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico de 13 kw de potencia unitaria instalada.

Bombeos actuación nº 3

- Impulsión desde el depósito de la Nueva Centralidad del Este segundo sector hasta el depósito de Valdebernardo (incluye presión para el ramal del depósito de la Dehesa y Cuqueña) mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 195 m³/h a 92 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico de 76 kw de potencia unitaria instalada. Este bombeo permite conectar este depósito con el depósito situado en el Cañaverol de la Actuación nº 5.
- Impulsión desde el depósito en la Nueva Centralidad del Este segundo sector a la dársena 3-1 mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 180 m³/h a 35 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico 27 kw de potencia unitaria instalada.
- Impulsión desde el depósito en Valdebernardo a la dársena 3-2 mediante 3 bombas (una en

reserva y alternancia) de 180 m³/h a 35 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico 27 kw de potencia unitaria instalada.

Bombes actuación nº 4

- La impulsión desde la E.R.A.R. de la Gavia hasta el depósito de Vallecas-La Atayuela en el parque Water Spirals se realiza mediante las bombas existentes en el terciario de la Gavia.
- Impulsión desde el depósito Vallecas-La Atayuela hasta el Ensanche de Vallecas mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 130 m³/h a 5 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico 2 kw de potencia unitaria instalada.
- Impulsión desde el depósito en Vallecas-La Atayuela a la dársena 4-1 mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 180 m³/h a 35 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico 27 kw de potencia unitaria instalada.
- Impulsión desde el depósito del Ensanche de Vallecas hasta el depósito de recepción para la dársena 4-2, mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 90 m³/h a 18 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico 7 kw de potencia unitaria instalada.
- Impulsión desde el depósito de recepción de la dársena 4-2 hasta la propia dársena 4-2 mediante 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 180 m³/h a 35 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico 27 kw de potencia unitaria instalada.

Bombes actuación nº 5

- La impulsión desde la E.R.A.R. de la Gavia hasta el primer depósito de Valdecarros se puede realizar mediante las bombas existentes en el terciario de la Gavia.
- La impulsión desde la E.R.A.R. de la Gavia hasta el final en el Cañaverál, se realizará mediante las 3 bombas existentes en el terciario de la Gavia (actualmente en ejecución) más otras dos nuevas de 450 m³/h a 140 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico 250 kw de potencia unitaria instalada. Con este bombeo se llenarán los depósitos de Valdecarros (segundo depósito), el del Ensanche de Vallecas, el de los Berrocales y el del Cañaverál. En cada uno de éstos depósitos se dejarán tomas para los bombeos posteriores a las zonas de riego y dársenas de baldeo correspondientes. Desde el depósito del Cañaverál hay cota suficiente para conectar por gravedad al depósito de la Nueva Centralidad del Este segundo sector de la Actuación nº 3.
- Impulsión desde el depósito en el Cañaverál hasta el depósito en Los Cerros mediante 2 bombas (una en reserva y alternancia) de 30 m³/h a 27 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico 3 kw de potencia unitaria instalada.

Bombes actuación nº 6

- La impulsión desde la E.R.A.R. de la Gavia hasta la E.R.A.R. China se realiza mediante dos bombes. El primero sale desde el terciario y con las bombas existentes se pueden bombear 500 l/seg. hasta el depósito de agua tratada en la ERAR de la China. El segundo bombeo sale desde los decantadores secundarios de la Gavia hasta el depósito de cloración de la China, mediante un bombeo desde una cámara de recepción, para bombear 500 l/seg. por medio de 3 bombas (una en reserva y alternancia) de 900 m³/h a 30 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico 107 kw de potencia unitaria instalada.

Bombes actuación nº 7

- Para el funcionamiento adecuado de la ampliación a 500 l/seg. del terciario de la Gavia, es necesario añadir dos bombas, a las tres existentes, en la impulsión del agua del secundario al tratamiento terciario. Las bombas que se añaden son 2 bombas de 450 m³/h a 11 m.c.a. cada una accionadas por motor eléctrico 22 kw de potencia unitaria instalada.

CONDUCCIONES

Conducciones actuación nº 1

- Impulsión desde la E.R.A.R. de Rejas al depósito de la Nueva Centralidad del Este primer sector, mediante una tubería de D.N. de 500 que conecta con el ramal de la red Norte debajo del puente en la Nacional II justo a la entrada del Polígono Fin de Semana, continua por la Avenida Fermina Sevillano, Avenida de Invierno, calle Arcaute, calle Samaniego , Calle de Campezo , hasta llegar a la M-214 y un poco antes de llegar al cementerio de Coslada , sale un ramal a la derecha de unos 180m. hasta el primer depósito en la Nueva Centralidad de Este primer sector. El otro ramal continúa por la M-214 unos 2.400m. por medio de una tubería de 350 mm. hasta llegar al depósito de la Nueva Centralidad del Este en el segundo sector.
- Conducción en impulsión del depósito de la Nueva Centralidad del Este primer sector hasta el depósito del estadio de la Peineta mediante una tubería de 400 mm, caudal de 140 l/seg. y una longitud aproximada de unos 1.500 m.
- Conducción en impulsión del depósito del estadio de la Peineta hasta el parque Paraíso, se realiza por la parte derecha de la Plaza de Grecia, Avenida de Arcentales hasta la Glorieta de Arcentales, mediante una tubería de 400 mm, caudal 110 l/seg. y una longitud de 2.270 m.
- Conducción en impulsión del depósito del parque Paraíso hacia el ramal que va hasta el parque Paraíso y la finca Torre Arias, por la calle San Romualdo hasta cruzar la calle Alcalá, mediante una tubería de 200 mm., un caudal medio en 8 horas de 34 l/seg. y una longitud

- de 1.635 m.
- Conducción en impulsión del depósito del parque Paraíso hasta el depósito de la Almudena, a través de la Avenida de Arcentales, , Avenida Francisco Largo Caballero y Avenida de Daroca hasta entrada principal del cementerio de la Almudena mediante una conducción de 300 mm de diámetro, un caudal de 70 l/seg. y una longitud de 3.130 m.
 - Conducción en impulsión del depósito de la Almudena hacia el ramal que va hasta el parque Calero, pasando por las calles del Lago Constanza, calle de Argentina, calle de la Virgen del Sagrario hasta cruzar la calle Alcalá y llegar al parque Calero, mediante una tubería de 100 mm, un caudal de 5 l/seg. y una longitud de 1.524 m.
 - Conducción en impulsión del depósito de la Almudena hacia el depósito del parque Cuña O´donell, a través de la calle del Arroyo de la Media Legua, mediante una tubería de 250 mm, un caudal de 45 l/seg. y una longitud de 1.502 m.
 - Conducción en impulsión del depósito del parque de la Cuña O´donell hacia el ramal que va hasta el parque de la Elipa mediante una tubería de 100 mm de diámetro, un caudal de 10 l/seg. y una distancia de 773 m.
 - Conducción en impulsión desde el depósito del parque de la Cuña O´donell hacia el ramal de riego que va hasta el parque Darwin, por la calle Arroyo de la Media Legua, mediante una tubería de 100 mm. de diámetro, para un caudal de 7 l/seg. y una longitud de unos 1.000m.
 - Conducción por gravedad desde el depósito del parque de la Cuña O´donell hacia el ramal que va al depósito de la dársena 1-4 en el parque Darwin por la calle Arroyo de la Media Legua, con una conducción de 250 mm. un caudal de 50 l/seg. y una distancia de unos 1.000 m.
 - Conducción en impulsión del depósito del parque de la Cuña O´donell hacia el ramal de riego que va hasta los parques de Moratalaz y Dionisio Ridruejo, pasando por la Avenida del doctor García Tapia, hasta la plaza del Corregidor Licenciado Antonio de Mena, mediante una tubería de 130 mm. de diámetro, un caudal de 13 l/seg. y una longitud de 1.545 m.

Conducciones actuación nº 2

- Conducción en impulsión desde la E.R.A.R. de la China al depósito del parque de Entrevías, pasando por debajo del enlace de la M-30 con la M-40 a través de la calle Embajadores, carretera de Villaverde a Vallecas hasta el Parque Forestal de Entrevías mediante una tubería de 350 mm, un caudal de 90 l/seg. y una longitud de unos 2.500 m. Las conducciones que pasen por los caminos del parque forestal tenían que respetar la normativa correspondiente, dejando la distancia definida por ley, en lo referente a las ramas de los árboles en el camino afectado.
- Conducción en impulsión desde el depósito del parque de Entrevías hasta el parque Lineal

de Palomeras, pasando por la Avenida de Miguel Hernández, Ronda del Sur, paso por debajo de la línea de ferrocarril hasta la calle Puerto de Balbarán y parque Lineal de Palomeras, mediante una tubería de 250 mm. de diámetro, un caudal de 45 l/seg. y una longitud aproximada de unos 2.500 m.

- Conducción en impulsión desde el depósito del parque Lineal de Palomeras hasta el parque Azorín (incluye punto de toma con presión de 4 kg. en los parques Constitución y Paloma), pasando por las calles los Asturianos, los Extremeños, calle de Guillermo Pingarrón, y calle del Arroyo del Olivar hasta llegar al parque mediante una tubería de 200 mm. de diámetro, un caudal de 30 l/seg. y una longitud de unos 1.700 m.
- Conducción en impulsión desde el depósito del parque Azorín hacia el ramal que va a los parques Fofo (siguiendo la calle Arroyo del Olivar y a la izquierda calle del payaso Fofo) y parque del Cerro del Tío Pío (siguiendo la calle Arroyo del Olivar, derecha calle payaso Fofo, cruzar la Avenida de la Albufera, continuar por la calle Josefa Díaz hasta la calle José Paulete), mediante una tubería de 150 mm., un caudal de 19 l/seg. y una longitud de unos 1.570 m. En ambos parques se dejan tomas, considerando el punto de máxima cota, con presión de 4 kg.

Conducciones actuación nº 3

- Conducción en impulsión desde el depósito de la Nueva Centralidad del Este segundo sector hasta el depósito de Valdebernardo, siguiendo la M-214, prácticamente todo el rato paralelo al ferrocarril, hasta la última rotonda en Valdebernardo frente a la Nacional III de Valencia (incluye presión para el ramal del depósito de la Dehesa y Cuqueña de diámetro 100 mm y una longitud de 225 m), mediante una conducción de 350 mm. de diámetro, un caudal de 100 l/seg. y una longitud aproximada de 2.500 m.
- Desde el depósito de la Nueva Centralidad del Este segundo sector se puede conectar con el depósito situado en el Cañaveral de la Actuación nº 5, mediante una conducción en impulsión por medio de una tubería de 350 mm. y unos 3.000 m. de longitud.

Conducciones actuación nº 4

- La impulsión desde la E.R.A.R. de la Gavia hasta el depósito de Vallecas-La Atayuela en el parque Water Spirals se realiza mediante una tubería de 400 mm. de diámetro, un caudal de 120 l/seg. y una distancia aproximada de 3.800 m.
- Conducción en impulsión desde el depósito Vallecas-La Atayuela hasta el Ensanche de Vallecas mediante una tubería de 300 mm. de diámetro, un caudal de 70 l/seg y una longitud de 1.000 m.
- Conducción en impulsión desde el depósito del Ensanche de Vallecas hasta el ramal que va

al depósito de recepción para la dársena 4-2, mediante una tubería de 250 mm. de diámetro, un caudal de 50 l/seg. y una longitud de unos 800 m.

Conducciones actuación nº 5

- Conducción de impulsión desde la E.R.A.R. de la Gavia hasta el primer depósito de Valdecarros mediante una tubería de 350 mm. de diámetro, un caudal de 95 l/seg. y una longitud aproximada de unos 1.700 m.
- Conducción en impulsión desde la E.R.A.R. de la Gavia hasta el final en el Cañaveral, se realizará mediante tramos de tubería que irán abasteciendo a los siguientes depósitos:
- Desde la E.R.A.R. de la Gavia a Valdecarros (segundo depósito), mediante una tubería en presión de diámetro 500 mm., caudal 285 l/seg. y 4.100 m.
- De Valdecarros (segundo depósito) al depósito del Ensanche de Vallecas, mediante una tubería en presión de diámetro 500 mm., caudal 175 l/seg. y 3.065 m.
- Del Ensanche de Vallecas al depósito de los Berrocales, mediante una tubería en presión de diámetro 400 mm., 125 l/seg. y 2.060 m.
- De los Berrocales al depósito en el Cañaveral, mediante una tubería en presión de diámetro 300 mm., 70 l/seg. y 3.575 m. En cada uno de éstos depósitos se dejarán tomas para los bombeos posteriores a las zonas de riego y dársenas de baldeo correspondientes. Desde el depósito del Cañaveral hay cota suficiente para conectar por gravedad al depósito de la Nueva Centralidad del Este segundo sector de la Actuación nº 3, por medio de una tubería de diámetro de 350 mm. y una longitud de 3.049 m.
- Conducción en impulsión desde el depósito en el Cañaveral hasta el depósito en Los Cerros mediante una tubería de 150 mm. de diámetro, un caudal de 15 l/seg. y una longitud aproximada de 2.300 m.
- Conducciones actuación nº 6
- La conducción de impulsión desde la E.R.A.R. de la Gavia hasta la E.R.A.R. de la China se realiza por medio de dos tuberías. La primera sale desde el terciario de la Gavia hasta el depósito de agua tratada en la ERAR de la China. La segunda parte desde una cámara de recepción del agua de los decantadores secundarios de la Gavia hasta el depósito de cloración de la China. Las dos tuberías son de 700 mm. de diámetro, transportan un caudal de 500 l/seg. en 20 horas a una velocidad de 1,3 m/seg., y tienen una longitud de unos 4.700 m. Las tuberías van por el camino del centro de transformación de la Gavia, siguiendo hacia el nuevo estanque de Abroñigales, se realiza una hinca por el tramo de ferrocarril de cercanías Madrid, pasando hasta Mercamadrid, siguiendo toda la calle Eje 3-10 de Mercamadrid hasta la M-40. Se cruzará la M-40 mediante hinca hasta la carretera de Villaverde a Vallecas, continuando por la calle de Embajadores, hacia los túneles por debajo

del punto de unión de la M-30 y M-40, de la línea de ferrocarril y AVE hasta la E.R.A.R. de la China.

Dársenas de baldeo

Dársenas actuación nº 1

- Dársena 1-1 situada junto al depósito de la Nueva Centralidad del Este primer sector.
- Dársena 1-2 situada junto al depósito del parque Paraíso.
- Dársena 1-3 situada junto al depósito de la Almudena.
- Dársena 1-4 próxima al parque Darwin.

Dársenas actuaciones nº 2

- Dársena 2-1 situada junto al depósito del parque de Entrevías.
- Dársena 2-2 situada junto al depósito en el parque Azorín.

Dársenas actuación nº 3

- Dársena 3-1 situada junto al depósito en la Nueva Centralidad del Este segundo sector.
- Dársena 3-2 situada junto al depósito en Valdebernardo.

Dársenas actuación nº 4

- Dársena 4-1 situada junto al depósito en Vallecas-La Atayuela.
- Dársena 4-2 próxima al final del Ensanche de Vallecas.

Dársenas actuación nº 5

- Dársena 5-1 junto al segundo depósito en Valdecarros,
- Dársena 5-2 junto al depósito en el del Ensanche de Vallecas.
- Dársena 5-3 junto al depósito de los Berrocales
- Dársena 5-4 junto al depósito del Cañaveral.

CONSUMOS

- Consumo para riego:

Para el estudio de las necesidades de riego se solicitaron datos a los potenciales usuarios así como al Departamento de Parques y Jardines del Excmo. Ayuntamiento de Madrid. Además, se llevaron a cabo estudios encaminados a obtener ratios teóricos de consumo que sirvieran de base para

estimar o contrastar las diferentes demandas así como para analizar su posible variabilidad futura. También se utilizó un estudio del cálculo de las necesidades de las zonas verdes del sureste de Madrid encargado por el Ayuntamiento de Madrid y los criterios de diseño de superficies ajardinadas que tiene la Confederación Hidrográfica del Tajo. La CHT establece que la zona de césped no exceda del 30% de su superficie total y el resto de ajardinamiento debe de estar cubierto con árboles y arbustos. Así mismo en la medida de lo posible se debe diseñar la superficie ajardinada con criterios de Xerojardinería, al objeto de utilizar el agua de la forma más eficaz posible y utilizar el sistema de riego más eficiente.

El principal objetivo era determinar las necesidades en día punta como base para el dimensionamiento hidráulico. Además, para otras consideraciones, resultaba también preciso evaluar los volúmenes de agua anuales que, en cada mes del año, pueden repartirse, de manera aproximada, en función de índices teóricos de evolución de las necesidades de riego.

Con el objeto de evaluar el consumo máximo anual de riego se partió del supuesto que el mes punta de julio representa un 28% de la demanda del año. La cifra así obtenida se corregía, a su vez, mediante un coeficiente de 0,95 para estimar el consumo en un supuesto año medio a partir de una demanda anual punta. No obstante, en algunos casos se tomaron los datos aportados por algunos consumidores y que se estimaron aceptables y por ello se incluyeron sin la necesidad de llevar a cabo la expuesta estimación teórica.

- Consumos para baldeos:

Para el baldeo de limpieza de viario se decidió ubicar diferentes dársenas donde estacionen los camiones y carguen de agua sus cisternas para proceder posteriormente a los trabajos de baldeo. Las dársenas, en función del espacio disponible, se diseñaron para el estacionamiento simultáneo de 4 cisternas.

Para ubicar las dársenas y estimar los consumos punta diarios de agua para baldeo se ha consultó a la “Sección de Limpieza del Excmo. Ayuntamiento de Madrid”.

En la práctica del baldeo se utilizan camiones cisterna de 6, 8, 10 y 15 m³ de capacidad trabajándose en tres turnos al día de 7 horas cada uno. Puede estimarse que las cisternas de 15 m³ realizan 5 llenadas en cada turno y unas 6 las de 10 m³. A partir de estos datos y de la flota de camiones cisterna asignada para cada zona, se establecieron los consumos diarios a satisfacer. Para este proyecto se unificaron los consumos punta diarios en cada dársena de baldeo a 1.300 m³.

Por otra parte los consumos anuales de baldeo se han estimado a partir del consumo punta diario supuesto en todos los días del año y aplicando un coeficiente corrector del 0,90 en previsión de que ciertos días se reduzcan las labores de baldeo (épocas con más lluvias, días festivos representativos, etc.)

- Resumen de consumos y caudales de diseño

Según se explicó anteriormente La Red Sureste de Reutilización de Aguas tiene como objetivo crear la infraestructura necesaria para emplear el agua regenerada en dos usos:

- Riego de zonas verdes
- Baldeo para limpieza de calles

Como caso más desfavorable se consideran los consumos máximos diarios (que se originan durante el mes de julio a causa de las demandas de riego y que se toman como base para establecer la capacidad hidráulica del sistema), y a partir de este dato los consumos máximos mensuales y el consumo anual previsto para un año medio.

En las tablas siguientes se han diferenciado los consumos de los parques y de los baldeos sumando todas las actuaciones. Estos datos se extraen de cada una de las Actuaciones y fueron consensuados con Gerencia de Urbanismo y con las ingenierías que estaban desarrollando los proyectos de urbanización de las actuaciones 3, 4 y 5. En el caso de las actuaciones 1 y 2 se consideraron los datos facilitados por parques y jardines del Excelentísimo Ayuntamiento de Madrid, para el día de máximo consumo. Céspedes y pradera 6 l/m², arbustos 5 l/m², árboles no consolidados menos de 5 años 30 l/unidad cada 7 días y árboles consolidados 30 l/unidad cada 15 días. Considerando un consumo medio de 22 m³ por hectárea.

En la siguiente página se especifican los consumos totales para riego y baldeo:

MAGUA

Regeneración de Aguas Depuradas. Reutilización en agricultura/Módulo Aguas

RED SURESTE DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS	SUPERFICIE (Ha)	NECESIDADES RIEGO DÍA MÁXIMO CONSUMO M3	NECESIDADES RIEGO ANUALES M3
Finca Torre Arias	21,3	469	49.287
Parque Quinta de los Molinos	23,2	510	53.683
Parque Olímpico-Estadio Atletismo de CAM	100,0	2.200	231.393
Nueva Centralidad del Este	70,0	1.540	161.975
Parque del Paraíso	10,0	220	23.139
Parque de San blas	3,4	75	7.867
Parque de Calero	5,5	121	12.727
Parque Arriaga	4,0	88	9.256
Cementerio de la Almudena	20,0	440	46.279
Parque de la Elipa	13,0	286	30.081
Parque Cuña O'donel	120,0	2.640	277.671
Parque Moratalaz	4,5	99	10.413
Parque Darwin	8,0	176	18.511
Jardines Dionisio Ridruejo	11,2	246	25.916
La Dehesa	7,4	163	17.123
La Cuqueña	1,0	22	2.314
Valdebernardo	154,0	3.388	356.345
Valderrivas	10,0	220	23.139
Parque del Cerro Tío Pío	17,2	378	39.800
Parque Azorín	5,5	121	12.727
Parque Fofó	5,5	121	12.727
Parque Plaza de la Constitución	1,2	26	2.777
Parque Campo de La Paloma	3,8	84	8.793
Parque Lineal de Palomeras	44,0	968	101.813
Parque de Entrevías	47,4	1.043	109.680
Parque Forestal de Entrevías	10,0	220	23.139
Ensanche de Vallecas	242,0	5.324	559.971
Vallecas - La Atayuela	53,0	1.166	122.638
Parque Water Spirals (incluye necesidades lagunas)	40,0	880	92.557
La Rosilla, Camino Mediterráneo, Sol Naciente	10,0	220	23.139
Los Ahijones	56,8	1.250	131.431
El Cañaveral	53,7	1.181	124.258
Los Cerros	46,2	1.016	106.904
Los Berrocales	100,0	2.200	231.393
Valdecaros	609,4	13.407	1.410.108
TOTAL	1.932	42.508	4.470.973

MAGUA

Regeneración de Aguas Depuradas. Reutilización en agricultura/Módulo Aguas

RED SURESTE DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS	SUPERFICIE BALDEO	NECESIDADES CONSUMO M3 (Día)	NECESIDADES ANUALES M3
DÁRSENA 1-1: Nueva Centralidad del Este 1º Sector	130	1.300	314.730
DÁRSENA 1-2: Parque del Paraíso	130	1.300	314.730
DÁRSENA 1-3: La Almudena	130	1.300	314.730
DÁRSENA 1-4: Parque Darwin	130	1.300	314.730
DÁRSENA 2-1: Parque de Entrevías	130	1.300	314.730
DÁRSENA 2-2: Parque Azorín	130	1.300	314.730
DÁRSENA 3-1: Nueva Centralidad del Este Sector 2º	130	1.300	314.730
DÁRSENA 3-2: Valdebernardo	130	1.300	314.730
DÁRSENA 4-1:Vallecas-La Atayuela	130	1.300	314.730
DÁRSENA 4-2: Ensanche Vallecas	130	1.300	314.730
DÁRSENA 5-1: Valdecarros	130	1.300	314.730
DÁRSENA 5-2: Ensanche Vallecas	130	1.300	314.730
DÁRSENA 5-3: Los Berrocales	130	1.300	314.730
DÁRSENA 5-4: El Cañaveral	130	1.300	314.730
TOTAL	1.820	18.200	4.406.220

Para todos los consumos de agua para riego, se fijan jornadas de suministro de 8 horas para abastecer su demanda máxima diaria. No obstante, la red se dimensionó para una jornada máxima de 20 horas regulándose las diferencias de caudal en los correspondientes depósitos. Para el suministro a dársenas de baldeo, se establecieron dos situaciones. Dársenas con depósito regulador propio y un consumo diario 1.300 m3 abastecidas con un caudal de 50 l/s. Dársenas captando desde depósito de la red principal, en este caso el caudal punta necesario será el de todas las bombas para carga de las cisternas en funcionamiento simultáneo.

13. EL USO RECREATIVO DE AGUA REGENERADA. CAMPOS DE GOLF

13.1 Introducción

El uso recreativo de agua ocupa el tercer lugar en cuanto a consumo, especialmente el riego de campos de golf, cuyo uso está muy cuestionado sobre todo en zonas de escasez de agua. Este consumo suponía a finales del año 2009 unos 26 Hm³/año, destacando las comunidades autónomas de Andalucía y Baleares. Para este uso se prevé también un importante crecimiento al existir en la actualidad en España unos 300 campos de golf con unas necesidades hídricas de unos 80 Hm³/año y constatarse una tendencia en casi todas las Comunidades Autónomas de ir obligando a estas instalaciones a abastecerse con aguas regeneradas.

13.2 Ejemplo el riego del Campo de Golf de la Moraleja entre Madrid y Alcobendas con agua regenerada

Un ejemplo muy significativo de la eficiencia en el reciclaje de aguas es el riego del campo de Golf de la Moraleja con agua regenerada proveniente del terciario de la depuradora de Rejas. Este proyecto, en el que el autor fue partícipe, surge como consecuencia del convenio entre el Ayuntamiento de Madrid y Golf La Moraleja. A continuación se resume una de las propuestas de ejecución realizada en el año 2006

13.2.1 Resumen de las obras

La ubicación de las obras está en los terrenos de Golf La Moraleja S.A. situados en la Moraleja, Alcobendas, Madrid, y cuyo propietario es el Golf La Moraleja S.A.

El agua procede de la conducción Valdehigueras-San Chinarro de la red Norte que viene de Rejas.

Esta agua se almacena en un depósito existente en Moraleja 2, de 5.000 m³ y mediante un bombeo se llevará por una conducción existente hasta el nuevo depósito (objeto de éste proyecto) de 2.500 m³ situado en Moraleja 1.

13.2.2 Estudio de demandas

Para el estudio de las necesidades de riego se han tenido en cuenta los datos existentes en el Golf La Moraleja 1, considerando los objetivos ya implantados de una reducción de las superficies de riego a 41 ha y un sistema de riego controlado por ordenador que permite la optimización al máximo del uso del agua reutilizada.

MAGUA**Regeneración de Aguas Depuradas. Reutilización en agricultura/Módulo Aguas**

En principio y de acuerdo al convenio firmado el 3 de abril de 2006 con el Excelentísimo Ayuntamiento de Madrid, se plantean unas necesidades para el día de máximo consumo de unos 2.500 m³/día.

13.2.3 Caudales

En base a los consumos máximos diarios se establecen los caudales de cálculo y se dimensiona la red. Para el abastecimiento de los riegos se ha considerado que el consumo máximo diario se lleve a cabo en una jornada de 8 horas.

Las conducciones principales de la red, entre depósitos, se planteaban para abastecer las demandas máximas que de ellas dependen en jornada de 20 horas al día. La conducción en anillo hacia el lago nº1 se realizaba en jornada de 12 horas. La diferencia de caudales y horarios se confiaba a la capacidad reguladora de los depósitos para los que, además, se ha preveía una adicional de reserva para hacer frente a posibles imprevistos.

13.2.4 Características del agua reutilizadas servida para el riego del Campo de Golf Moraleja 1

Inicialmente las cargas contaminantes del efluente de la estación depuradora de Rejas son:

DBO5

. Concentración: 20,00 mg/l

SS

. Concentración: 20,00 mg/l

N-NTOTAL

. Concentración: 17,00 mg/l

COLIFORMES

. Concentración: 10⁶ UCF/100 ml

pH 7-8

TURBIDEZ 5 N.T.U.

A continuación y mediante un tratamiento terciario consistente en un físico-químico, filtración mediante filtros tamiz y desinfección por ultravioleta las características de las aguas que se servirán al Campo de Golf de la Moraleja 1 serán las que a continuación se exponen:

- Concentración DBO5 salida del tratamiento terciario ≤ 10 mg/l
- Concentración SS salida del tratamiento terciario: ≤ 5 mg/l
- Concentración DQO salida del tratamiento terciario: ≤ 50 mg/l
- Turbidez a la salida del tratamiento terciario: $\leq 1,5$ NTU
- Coliformes totales a la salida del tratamiento terciario: ≤ 20 UCF/100ml
- Huevos de nemátodos a la salida del tratamiento terciario: $\leq 1,0$ ud/l
- pH: Entre 6,0 y 9,0

En todo momento éste agua debía cumplir lo especificado en los anexos I, II y III de las Normas del Plan Hidrológico de la Cuenca del Tajo referente a los requisitos sanitarios, métodos de análisis y frecuencias de muestreo para la reutilización de aguas residuales depuradas (Orden de 13 de agosto de 1.999. B.O.E. 30 de agosto de 1.999). Actualmente debe de cumplir lo establecido en el Real Decreto 1620/2007

En cuanto a la desinfección se asegura la existencia de sustancias (desinfección residual) que garanticen la no proliferación de organismos patógenos en el agua. Además, el nivel de desinfección residual puede ser objeto de medida en los diversos enclaves de la red (arqueta de conexión con Golf La Moraleja 2) así como en los puntos de consumo con el objeto de controlar el estado de calidad biológica del agua.

13.2.5 Descripción de las obras

La obra de “LA EJECUCIÓN DE UN NUEVO DEPÓSITO ENTERRADO, BOMBEOS, CONDUCCIÓN DE AGUA RECICLADA, ADECUACIÓN DE LOS LAGOS Y ADECUACIÓN DE LA CASETA DE BOMBEO EXISTENTE” consistía en ejecutar las siguientes actuaciones:

- Depósito de hormigón de 2.500 m³
- Bombeo desde el depósito hasta la laguna nº 1. Mediante 3 (2+1) bombas de 123 m³/h de caudal unitario y 19 kw de potencia absorbida.
- Conducción desde el depósito nuevo hasta la intercepción con la red de agua de los lagos (cerca del lago nº1, justo a la salida del pozo existente de bombeo de agua subterránea), mediante una tubería de fundición de 250 mm de diámetro y 625 m. de longitud.

MAGUA**Regeneración de Aguas Depuradas. Reutilización en agricultura/Módulo Aguas**

- Conducción por gravedad desde el nuevo depósito hasta el lago nº4, mediante una tubería de PVC de 350 mm y una longitud de 260 m. Esta conducción podía descargar directamente en el lago nº 4 o como alternativa, en la arqueta de salida del lago, donde aspiran las bombas existentes para el riego del campo.
- Adecuación de la caseta de bombeo existente para el riego del campo, situada anexa a la laguna nº 4.
- Impermeabilización mediante lámina de PVC de las lagunas nº 1 (2.953 m²), nº 2 (2.467 m²) , nº 3 (2.760 m²) y nº4 (5.952 m²)
- Acondicionamiento, adecuación e integración de las nuevas instalaciones al sistema de riego existente en Moraleja 1.

El depósito tiene una capacidad de 2.500 m³, con unas dimensiones de 27,25 x 22 metros y unos 5,8 metros de profundidad media. Iría enterrado en su totalidad y junto a él se ubicaba una sala de bombas. La ubicación del depósito y del bombeo, se realizaba entre el hoyo 4, el hoyo 5 y la limitación del campo.

La estructura del depósito estaba formada por los siguientes elementos:

- Cimentación mediante losa de hormigón armado de 0.7 m en la que van embebidas vigas de 0.7 x 28.45 x 1 m.
- Muros de hormigón armado de 0.5 m de espesor.
- Losa de hormigón armado en la que van embebidas vigas de 0.5 x 27.25 x 1.4 m.

El depósito tenía una ocupación de 700 m². La edificabilidad no es computable como consecuencia de que va completamente enterrado. En cuanto al retranqueo, el punto más próximo del vértice sureste del depósito a la linde se encontraba a más de 10 metros.

En el depósito se instalaban equipos para la medición de, al menos, los siguientes parámetros del agua almacenada:

- pH
- Potencial redox
- Turbidez y sólidos en suspensión
- Conductividad eléctrica
- Nivel de desinfección residual

MAGUA**Regeneración de Aguas Depuradas. Reutilización en agricultura/Módulo Aguas**

- Temperatura
- Sondas de nivel del agua

Los datos de estos equipos se integrarán a la red de comunicación y control.

Las cuatro lagunas existentes en el Campo de Golf, se impermeabilizaban. La impermeabilización de las lagunas, se precedía del correspondiente vaciado y limpiado de fondo. Dicha impermeabilización se llevaba a cabo mediante una membrana de PVC de 1,2 mm de espesor sobre un lecho de geotextil de PP 100% virgen de 300 gr/m². La lámina de PVC se anclaba perimetralmente mediante el enterrado de la misma en una zanja en forma de U de 50 x 50 x 50 cm, a unos 50 cm de la pared trasera de la mampostería y siempre superando, en por lo menos 15 cm, el nivel máximo que pudiera alcanzar el agua en las lagunas.

La estación elevadora se ha diseñado como un recinto de bombas enterrado anexo al depósito desde el que se abastece. Sobre esta se dimensionaron claraboyas de acceso, para la entrada y salida de materiales.

Las dimensiones de la estación de bombeo eran de 14,6 x 4,6 metros. Constaba de una losa de cimentación de 0,55 m y unos muros de 0,3 m de espesor.

Se preveía un desagüe, para hacer frente a inundaciones por rotura y para evacuar las aguas que inevitablemente se generarán en las juntas de las válvulas y los equipos así como durante las actividades de limpieza.

Los equipos de bombeo para las nuevas instalaciones eran los siguientes:

- Bombeo desde el depósito hasta la intercepción con la red de agua de los lagos (cerca del lago nº1, justo a la salida del pozo existente de bombeo de agua subterránea), mediante 3 (2+1) bombas de 123 m³/h de caudal unitario y 19 kw de potencia absorbida.
- Bombeo de recirculación interna en el depósito de agua, mediante 1 bomba sumergible de 50 m³/h de caudal unitario y 2,2 kw de potencia absorbida.

En este proyecto se propusieron tuberías de fundición dúctil, con junta automática flexible o acerrojada si procediese para las conducciones en presión y tuberías de PVC para las conducciones por gravedad. Las tuberías estaban protegidas interiormente con una capa de mortero de cemento aplicada por centrifugación y, exteriormente, revestidas con una primera capa de zinc metálico y otra segunda capa de pintura bituminosa.

MAGUA

Regeneración de Aguas Depuradas. Reutilización en agricultura/Módulo Aguas

Las conducciones se instalaban en zanja sobre asiento de arena, con un relleno localizado alrededor del conducto y posterior relleno con suelos al menos tolerables (según PG-3). En la zanja, y embebida en arena, se colocaba la tubería. También se alojaba en las zanjas bandas o cintas para la señalización de la conducción.

Se disponían ventosas en todos los puntos altos de las conducciones y en otros enclaves que facilitarían la evacuación del aire y para contribuir a evitar depresiones durante los regímenes transitorios.

Todos los planos incluían anclajes para las conducciones, basadas en la normativa del Canal de Isabel II.

Las nuevas conducciones que se proyectaron son las siguientes:

- Conducción desde el depósito nuevo hasta la intercepción con la red de agua de los lagos (cerca del lago nº1, justo a la salida del pozo existente de bombeo de agua subterránea), mediante una tubería de fundición de 250 mm de diámetro y 625 m. de longitud.
- Conducción por gravedad desde el nuevo depósito hasta el lago nº4, mediante una tubería de PVC de 350 mm y una longitud de 260 m. Esta conducción puede descargar directamente en el lago nº 4 o si se quiere, en la arqueta de salida del lago, donde aspiran las bombas existentes para el riego del campo.

Se reformaba la caseta de bombeo existente, mediante una adecuación del suelo y de los paramentos verticales, estos últimos a base de enfoscado maestreado y pintura plástica. Se procedía al desmontaje de la cubierta existente y la colocación de forjado y cubierta plana de lámina asfáltica. Se llevaba a cabo una sustitución de los cerramientos actuales por puertas ciegas de aluminio lacado y una puerta metálica abatible.

Acabadas las obras de reforma se realizaba el acondicionamiento vegetal de la zona afectada.

13.2.6 Funcionamiento de la instalación

Una vez ejecutada la obra el funcionamiento en condiciones normales de la instalación, se haría de la siguiente manera. El depósito nuevo se llena del agua procedente de la red norte-este de agua reciclada, que está almacenada en el depósito existente en el campo de golf de Moraleja 2. Este depósito tiene capacidad suficiente para abastecer agua para riego de todo el campo de golf de Moraleja 1, para el día de máximo consumo, 2.500 m³. Aprovechando la red de tuberías existente y mediante un bombeo nuevo con 3 bombas (2+1) de 123 m³/h (12 horas), potencia 19 kw y 37

m.c.a. se conducirá el agua hasta la interconexión con la tubería que conduce el agua hasta el lago nº 1. Desde este lago el agua pasará sucesivamente a los lagos nº 2, lago nº 3 y por último al lago nº 4. Desde éste último lago a través del bombeo existente se bombea el agua por toda la red de conducciones existentes a partir de donde se riega todo el campo de golf.

La idea era aprovechar las instalaciones existentes, manteniendo la filosofía de funcionamiento pero adaptándola a la nueva situación. Este sistema permitirá mantener un flujo continuo en los lagos, con la consiguiente renovación y limpieza del agua.

Asimismo desde el depósito nuevo se puede por gravedad, mediante una tubería de PVC, conducir directamente el agua a la laguna nº 4 o bien mandarla a la arqueta de salida del lago nº 4, donde aspiran las bombas existentes para el riego del campo.

Por lo tanto aprovechando la red existente se tenían las siguientes opciones:

- **Funcionamiento normal:** bombeo desde depósito nuevo a la conducción existente hacia el lago nº 1.
- **Funcionamiento alternativo 1:** conducción por gravedad hasta el último lago nº 4.
- **Funcionamiento alternativo 2:** conducción por gravedad hasta la arqueta de salida del lago nº 4, donde aspiran las bombas existentes para el riego del campo.
- **Situación de emergencia:** bombeo desde el pozo subterráneo existente hasta el lago nº 1.

14. EL RECICLAJE DEL AGUA EN AGRICULTURA

14.1 Introducción

La agricultura es la que origina mayor demanda del agua a nivel mundial. El riego de tierras agrícolas supone la utilización de un 70% de los recursos hídricos en el mundo. En los países en vías de desarrollo, muchas veces el agua utilizada para regadío representa el 95% del total de usos del agua, y juega un papel esencial en la producción y seguridad de los alimentos. A largo plazo, el desarrollo y mejora de las estrategias agrícolas para estos países está condicionado al mantenimiento, mejora y expansión de la agricultura de regadío.

Por otra parte, el incremento de la presión sobre los recursos hídricos para la agricultura compite con el uso del agua para otros fines y representa una amenaza para el medio ambiente y utilización insostenible de los recursos hídricos del planeta. El agua es un recurso que puede crear tensiones y conflictos entre países que comparten este recurso a través de sus ríos situados en las zonas de cabecera o partes intermedias a lo largo del río. El agua de regadío es uno de los usos que

MAGUA

Regeneración de Aguas Depuradas. Reutilización en agricultura/Módulo Aguas

mayor competición con respecto a otros sectores, y supone el 70-90% del uso del agua en ciertas regiones.

PAIS	ORIGEN AGUA FUERA DE LAS FRONTERAS (%)
Turkmenistan	98
Egipto	97
Hungria	95
Mauritania	95
Bostwana	94
Bulgaria	91
Uzbekistan	91
Países Bajos	89
Zambia	86
Cambodia	82
Syria	79
Sudan	77
Niger	68
Iraq	66
Bangladesh	42
Thailand	39
Jordan	36
Senegal	34
Israel	21

Fuente: varios autores

En la Unión Europea (UE), el agua utilizada para fines agrícolas representa un 30% de los recursos extraídos. Esto varía mucho según el clima, el tipo de cultivo y las técnicas o métodos agrícolas. Por ejemplo, el papel de los sistemas de regadío es esencial en países del Sur que dependen del regadío para el mantenimiento de la producción agrícola, en comparación con los países del Centro y Oeste Europeo (mayores lluvias y por lo tanto menor dependencia de los sistemas de regadío).

La mayor parte del agua de regadío en Europa corresponde a los países del Sur de Europa, como España, Italia, Francia, Grecia y Portugal con un 85% del total de zonas de regadío de la UE. Por ejemplo, en España la agricultura de regadío supone el 56% de la producción agrícola y ocupa del orden de un 18% de la superficie total agrícola.

14.2 Recursos hídricos para el regadío

El agua usada para regadío proviene de fuentes naturales y alternativas.

MAGUA

Regeneración de Aguas Depuradas. Reutilización en agricultura/Módulo Aguas

Fuentes naturales incluye el agua de lluvia y superficial de escorrentía (lagos y ríos). Estos recursos deben ser usados de una manera responsable y sostenible. La cantidad de agua que proviene del agua de lluvia depende de las condiciones atmosféricas de la zona. El agua superficial es un recurso limitado y, normalmente, requiere de la construcción de embalses y presas para su explotación con un significativo impacto ambiental.

Fuentes alternativas de regadío son el reuso del agua municipal y agua de drenaje. En cualquier caso el uso de agua reciclada puede tener efectos adversos para la salud pública y el medio ambiente. Esto dependerá de la aplicación/uso que se le dé a esta agua reciclada, características y limitaciones de suelo, condiciones climáticas y prácticas agrícolas. Por lo tanto, es imprescindible que todos estos factores sean tenidos en cuenta en la gestión del agua regenerada.

14.3 Reutilización del agua para regadío.

El uso de agua regenerada para regar es una práctica común. En Europa, por ejemplo, existe un proyecto de gran envergadura en la zona de Clermont-Ferrand, Francia desde 1997 con regadío de agua regenerada de una superficie de 700Ha de cultivo de maíz. En Italia igualmente existen mas de 4000 Ha de varios cultivos que utilizan agua regenerada para riego. En España también existen varios proyectos similares. La calidad de agua usada para irrigación es determinante para la producción y calidad en la agricultura, mantenimiento de la productividad del suelo de manera sostenible y protección del medio ambiente. Por ejemplo, las propiedades físico- químicas del suelo, (estructura del suelo, estabilidad de los agregados) y permeabilidad son características del suelo muy susceptibles al tipo de iones intercambiables que provengan del agua de riego.

14.4 Calidad del agua regenerada para riego.

La calidad del agua de regadío puede ser determinada mediante análisis de laboratorio. Los factores más importantes a tener en cuenta para determinar la validez del agua usada para los fines agrícolas específicos son los siguientes:

- PH
- Riesgo de salinidad
- Riesgo de sodio (Relación de absorción de sodio o RAS; en ingles se conoce con las siglas SAR)
- Riesgo de carbonato y bicarbonato en relación con el contenido en Ca & Mg
- Elementos traza
- Elementos tóxicos
- Nutrientes

- Cloro libre

PARÁMETROS DEL AGUA REGENERADA CON INTERÉS DESDE EL PUNTO DE VISTA AGRÍCOLA

Parámetro	Importancia para el regadío	Rango en efluentes procedente del tratamiento secundario y terciario	Objetivo tras el tratamiento para el reuso del agua con fines agrícolas
Sólidos totales en suspensión Turbidez	La medida de partículas se pueden relacionar con la contaminación microbiana; pueden interferir con la desinfección; obstrucción de los sistemas de regadío; deposición.	5-50 mg/L	<5-35TSS/L
		1-30 NTU	<0.2-35NTU
DBO5 DQO	Substrato orgánico para el crecimiento microbiano; puede generar crecimiento bacteriano en los sistemas de distribución y deposición microbiana (bio-fouling).	10-30mg/L	<5-45mgBOD/L
		50-150mg/L	<20-200mgCOD/L
Coliformes totales	Medida del riesgo de infección debido a la presencia potencial de patógenos; puede dar lugar a bio-fouling.	<10 ⁷ cfu/100mL	<1-200cfu/10mL
Metales pesados	Algunas sales disueltas son nutrientes beneficiosos para el crecimiento de la plata, mientras otros pueden ser fitotoxicos o convertirse en fitotoxicos a ciertas concentraciones. Elementos específicos (Cd, Ni, Hg, Zn, etc.) son tóxicos para plantas, y por lo tanto existen limites máximos de concentración de estos elementos para el agua utilizada para irrigación.		< 0.001mgHg/L <0.01mgCd/L <0.02-0.1mgNi/L
Inorgánicos	Alta salinidad y boro son dañinos para el agua de regadío de cultivos vulnerables.		<450-4000mgTDS/L <1mgB/L
Cloro residual	Recomendado para prevenir el crecimiento bacteriano; la concentración excesiva de cloro libre (>0.05mg/L) puede dañar algunos cultivos vulnerables		0.5->5mgCl/L
Nitrógeno	Fertilizantes para regadío; puede contribuir a crecimiento bacteriano y eutrofización de depósitos de almacenamiento, corrosión(N-NH4) o incrustación (P)	10-30mgN/L	<10-15mgN/L
Fósforo		0.1-30mgP/L	<0.1-2mgP/L

Fuente de información: Valentina Lazarova Akiçca Bahri; Water Reuse for irrigation: agriculture, landscapes, and turf grass; CRC Press.

15. SITUACIÓN ACTUAL EN ESPAÑA

15.1 Introducción

La reutilización de agua regenerada en España en la agricultura es un hecho desde hace muchos años. Los agricultores han utilizado el agua de dudosas características sanitarias pero de excelentes rendimientos agronómicos, alta carga orgánica y de nutrientes, en zonas de déficit hídrico estructural o estacional. Este recurso se ha convertido en estratégico para la actividad agronómica en el arco mediterráneo y los archipiélagos canario y balear.

15.2 Reutilización del agua para regadío en España (fuente Cedex)

El uso agrícola de agua es el que más volumen reutiliza, unos 261 Hm³/año (71% del total) (año 2008), sin contar con los riegos forestales o de cultivos leñosos que aprovechan el agua residual directamente. Con la entrada en vigor del Real Decreto 1620/2007, el uso de agua regenerada deberá adecuarse para cumplir las exigencias del RD.

El segundo uso en importancia es el ambiental, en el que se incluyen la restauración de humedales, recuperación de acuíferos, infiltraciones para evitar la intrusión salina o la restitución de caudales ecológicos. En este uso se reutilizan unos 65 Hm³/año (17,7% del total), destacando las comunidades autónomas de Cataluña (28,68 Hm³/año), Valencia (27,54 Hm³/año) y el País Vasco (8,57 Hm³/año).

Este uso tiene tendencia a crecer de forma sustancial a corto plazo debido a la aplicación de la Directiva Marco del Agua, en el contexto de los nuevos Planes Hidrológicos de Cuenca, actualmente en elaboración. Sólo teniendo en cuenta los incrementos previstos en dos sistemas de reutilización, Pinedo (Valencia), para mantener las condiciones naturales del Parque Natural de La Albufera y Baix Llobregat (Barcelona), para contribuir al caudal ecológico del río Llobregat y para la recuperación de los humedales del delta, en 2 ó 3 años los volúmenes regenerados destinados al uso medio ambiental se van a incrementar en más de un 50%.

De acuerdo a la información obtenida de la bases de datos de reutilización del CEDEX y del MMA (Ministerio de Medio Ambiente) el volumen reutilizado en España está en el entorno de 368 H.m³/año. Este volumen no llega al 11% del caudal total depurado.

MAGUA

Regeneración de Aguas Depuradas. Reutilización en agricultura/Módulo Aguas

La distribución por comunidades autónomas y confederaciones hidrográficas se ve en las siguientes tablas y esquemas.

VOLÚMENES REUTILIZADOS POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS

(Fuente: CEDEX-MMA 2006)

Comunidad Autónoma	Caudal reutilizado (Hm ³ /año)
ANDALUCÍA	24,21
ARAGÓN	0,17
BALEARES	28,24
CANARIAS	17,8
CASTILLA - LA MANCHA	2,96
CATALUÑA	44,16
VALENCIA	148,66
EXTREMADURA	0
MADRID	5,48
MURCIA	84,52
PAIS VASCO	12
Resto de CCAA	0
Total	368,2

VOLÚMENES REUTILIZADOS POR DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS

(Fuente: CEDEX-MMA)

Demarcaciones Hidrográficas	Caudal reutilizado (Hm ³ /año)
INTERNAS ANDALUCÍA	19,76
INTERNAS CATALUÑA	42,39
EBRO	13,94
GUADALQUIVIR	4,45
GUADIANA	2,21
JUCAR	128,43
SEGURA	104,75
BALEARES	28,24
CANARIAS	17,80
Resto de CCAA	0
Total	368,2

MAGUA

Regeneración de Aguas Depuradas. Reutilización en agricultura/Módulo Aguas

CAUDAL REUTILIZADO TRATADO Y SIN TRATAR

(Fuente: CEDEX-MMA 2006)



USOS DEL AGUA REGENERADA EN ESPAÑA. AÑO 2006

(Fuente: CEDEX-MMA)

Usos	Volumen Hm³/año	Porcentaje %
Riego agrícola	261,36	71,18
Usos urbanos	14,69	4,03
Usos recreativos	25,98	6,80
Usos medioambientales	65,14	17,70
Usos industriales	1,01	0,27
Total	368,20	100,00

15.3 El futuro de la reutilización del agua para regadío en España

Uno de los grandes problemas que plantean los regantes hace referencia al Artículo 11 del RD. En el punto 3 de dicho artículo se establece: **“El titular de la concesión o autorización de reutilización deberá sufragar los costes necesarios para adecuar la reutilización de las aguas a las exigencias de calidad vigentes en cada momento y responderá en cada momento de dicha adecuación”**. Los agricultores reclaman que el precio del agua regenerada debe ser inferior al precio que pagan actualmente por el agua derivada. Además esta agua debería incrementar la garantía de suministro y su calidad.

En función de lo anteriormente expuesto la demanda futura de agua regenerada por parte de los regantes está sujeta a muchas incertidumbres. La inversión que supone tanto la implantación de los sistemas de reutilización como el control sanitario que exige el Real Decreto 1620/2007. Los agricultores a través de sus concesiones han adquirido ciertos derechos de suministro a unos

costos, en la mayoría de los casos, muy por debajo de lo que les supondría reutilizar aguas depuradas, cuestión que debería tomarse en cuenta a la hora de planificar la reutilización de los efluentes depurados. Sin embargo, parece bastante probable que bien por necesidad o por cumplimiento del marco normativo medioambiental y sanitario, la reutilización de aguas para regadío tenga un gran potencial en los próximos años.

16. BIBLIOGRAFIA

- Tecnologías de regeneración a aplicar en función de los usos establecidos en el real decreto 1620/2007 sobre reutilización de aguas depuradas. Enrique Ortega de Miguel y Genaro Batanero Bernabeu Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Año 2008
- Metcalf-Eddy: Tratamiento y Depuración de Aguas Residuales. Ed Labor, Barcelona
- Depuración de Aguas Residuales, Aurelio Hernández Muñoz. Colección Señor N° 9, Servicio de Publicaciones de la E.T.S.I.C.C.P.
- Manual Técnico del Agua. Degremont
- Curso XXXIII del Cedex de Agua Residual. Varios autores. Madrid
- Información de infraestructuras del Ayuntamiento Madrid. Fuente munimadrid.es
- Bases del Datos de reutilización. CEDEX Y MMA (actualmente MMARM)
- Water treatment solutions. Lenntech. Universidad técnica de Delft (Holanda)