

Resumen

El presente proyecto se ubica en el marco de la búsqueda de nuevas soluciones para el mejor aprovechamiento de los recursos hídricos en las ciudades.

El proyecto se divide en dos ejes principales de investigación. El primer eje es realizar un detallado análisis del estado del arte en materia de reutilización y reaprovechamiento de agua residual doméstica, así como de otras tecnologías enmarcadas en el ámbito del ahorro de agua como el saneamiento seco. Se dan referencias de casos de estudio en edificios de todo el mundo.

El segundo eje consiste en la elección de los sistemas adecuados para aplicar este nuevo enfoque de la gestión del agua en un edificio que pueda ser representativo de la tipología arquitectónica de los edificios de Barcelona. Se ha elegido un diseño del arquitecto Andreu Roca i Berlanga, que se ha considerado un edificio adecuado al contexto de este proyecto por su genuino espíritu de innovación. Se trata de un edificio de nueva construcción de 24 viviendas, pensado para su alquiler a gente joven.

Tras estudiar exhaustivamente la normativa y legislación que aplica al proyecto, se ha escogido la solución de instalar un sistema de reciclaje de aguas grises y de reaprovechamiento de las aguas pluviales. Con ello se consigue un ahorro anual de 809,74 m³/año de agua potable, lo que supone un ahorro del 36,02% referido al consumo anterior del edificio. Esto significa que, si el consumo medio de un habitante en Barcelona es de 112 litros de agua potable al día, con la instalación de estos sistemas en todos los edificios se alcanzaría una cifra cercana a los 72 litros de agua potable por habitante y día. Este promedio sería ideal para garantizar la sostenibilidad de la gestión de los recursos hídricos en la ciudad de Barcelona.

Los gastos directos de la instalación de estos sistemas son de 28.226,80 €, lo que representa un 15,2% del precio del proyecto, que suma un total de 185.811,66 €. El ahorro total en la factura del agua para los habitantes del edificio el primer año sería de 1096,32 €, y el periodo de retorno de la inversión se ha estimado en 28 años.

Finalmente, se hace una evaluación del impacto ambiental del proyecto y se dan unas perspectivas de futuro acerca de la utilización de estos sistemas para la mejora de la gestión del agua en las ciudades.





Sumario

RESUMEN	1
SUMARIO	3
1. PREFACIO	7
2. INTRODUCCIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO	9
2.1. Objetivos e inclusiones del proyecto	9
2.2. Exclusiones del proyecto.....	9
3. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA	11
3.1. Presentación del edificio de estudio	11
3.2. Determinación del consumo de agua.....	13
3.2.1. Determinación del consumo de agua doméstica en Barcelona.....	13
3.2.2. Consumo de agua en el edificio AINOS.....	15
3.2.3. Consumos de agua usados para el dimensionado de los sistemas.....	16
3.3. Potencial de volumen de agua pluvial recogido	16
4. SISTEMAS PARA EL AHORRO DE AGUA. GENERALIDADES	19
4.1. La reutilización de agua.....	19
4.1.1. La reutilización de aguas grises	19
4.1.2. La reutilización de aguas negras.....	20
4.2. La recogida de aguas pluviales	21
4.3. El saneamiento ecológico	21
4.4. Elementos ahorradores	22
5. MARCO NORMATIVO Y LEGISLATIVO	23
5.1. Las Ordenanzas de ahorro de agua en Cataluña	23
5.2. Normativa aplicable al proyecto	23
5.3. Legislación aplicable al proyecto.....	24
5.4. Estándares internacionales para la reutilización del agua	25
6. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS REUTILIZABLES	27
6.1. Características de las aguas residuales domésticas	27
6.2. Características de las aguas grises.....	27
6.3. Características de las aguas pluviales	29



7.	TRATAMIENTO DE AGUAS <i>IN SITU</i> EN SISTEMAS SATÉLITE	31
7.1.	Clasificación convencional de tratamientos para aguas residuales.....	32
7.2.	Alternativas para el tratamiento de aguas <i>in situ</i>	33
7.2.1.	Tratamientos físicos.....	33
7.2.2.	Los tratamientos químicos	35
7.2.3.	Los tratamientos biológicos.....	35
7.2.4.	Los tratamientos de desinfección.....	38
7.3.	Casos de estudio	39
8.	EL <i>DRY TOILET</i> O VÁTER SECO	45
8.1.	Concepto del <i>dry toilet</i>	45
8.2.	Funcionamiento del <i>dry toilet</i>	46
8.3.	Clasificación del <i>dry toilet</i>	47
8.3.1.	Modelos comerciales	48
8.3.2.	El <i>dry toilet</i> casero.....	48
8.4.	La separación de orina	49
9.	DISCUSIÓN DE ALTERNATIVAS Y ELECCIÓN DEL SISTEMA	51
9.1.	Selección de alternativas de los sistemas de mejora de la eficiencia de agua	51
9.1.1.	<i>Dry toilet</i> + Reciclaje de aguas grises	52
9.1.2.	<i>Dry toilet</i> + Reciclaje de aguas pluviales.....	53
9.1.3.	Reciclaje de aguas negras + aguas grises en el mismo tanque	54
9.1.4.	Reciclaje de aguas grises + aguas pluviales en el mismo tanque.....	56
9.1.5.	Reciclaje de aguas grises + aguas pluviales por separado.....	58
9.1.6.	Alternativas para el sistema de aguas pluviales.....	60
9.2.	Selección de alternativas para el sistema de generación de ACS por energía solar	63
9.2.1.	Selección del tipo de captador solar	63
9.2.2.	Selección del tipo de conexión entre captadores	64
9.2.3.	Selección del tipo de instalación de ACS.....	65
10.	DESCRIPCIÓN EN DETALLE DEL SISTEMA	69
10.1.	Diseño conceptual del sistema	69
10.2.	Elementos de ahorro de agua.....	70
10.3.	Electrodomésticos.....	70
10.4.	Cálculo del sistema de tratamiento de aguas grises	71
10.5.	Cálculo del sistema de recogida de aguas pluviales	73
10.6.	Cálculo del sistema de generación de ACS.....	75



10.7. Las salas de máquinas.....	77
10.8. Instalación de fontanería y saneamiento.....	78
10.9. Sistema de control.....	79
10.10. Contadores del consumo de agua.....	80
11. CONSIDERACIONES ECONÓMICAS _____	81
11.1. Presupuesto del proyecto.....	81
11.2. Presupuesto total de la ejecución del proyecto.....	82
11.3. Presupuesto específico de los sistemas de reciclaje.....	82
11.4. Ahorros y costes.....	83
11.5. Periodo de retorno de la inversión.....	84
12. IMPACTO DEL PROYECTO _____	87
12.1. Aceptación social del proyecto.....	87
12.2. Evaluación del impacto ambiental.....	87
12.3. Perspectivas de futuro.....	88
CONCLUSIONES _____	91
AGRADECIMIENTOS _____	93
BIBLIOGRAFÍA _____	95
Referencias bibliográficas.....	95
Bibliografía complementaria.....	99





1. Prefacio

El agua es un recurso natural limitado, un bien único que no puede ser sustituido. Es necesaria para el correcto funcionamiento de los ecosistemas, permite a la supervivencia de los seres vivos que los habitan, y es fundamental para el ser humano y el desempeño de sus actividades.

En el pasado, la escasez de agua ya ha comportado situaciones de medidas restrictivas. El progresivo incremento de la población agrava la situación de sobreexplotación de los recursos hídricos, y es una de las causas de que el precio del agua se haya ido encareciendo paulatinamente.

El paradigma convencional de gestión de las aguas para el consumo humano ha sido el de un desarrollo centralizado y a gran escala. Las redes de alcantarillado se construyeron para eliminar las aguas residuales del entorno inmediato de las comunidades, y utilizan las propias aguas como medio de transporte para los residuos. Este paradigma es insuficiente para el desarrollo sostenible de la gestión del agua, ya que utiliza agua potable para muchos usos donde se podría usar agua no potable (o agua de servicio), como puede ser la irrigación del jardín, la descarga de la cisterna del inodoro, el agua para lavar el suelo, etc. Transportar y depurar esta agua innecesariamente tiene un coste económico y energético. Para dar solución a este conflicto, aparece un cambio de paradigma: el tratamiento descentralizado de las aguas residuales para su reutilización doméstica.

Los sistemas de tratamiento descentralizado del agua reducen su uso como medio de transporte de los residuos domésticos, y se basan en el concepto de circuito cerrado. El agua residual se trata *in situ* en la propia vivienda, vecindario o comunidad, para darle un segundo uso que no requiera agua potable. Este paradigma se acerca más al ciclo natural del agua que el paradigma lineal en que toda el agua potable que entra en la vivienda sale en forma de agua residual, desaprovechándose para su reutilización. En la naturaleza, el agua se condensa en el cielo en forma de nubes, precipita, es devuelta al mar y vuelve a evaporarse. En este ciclo cerrado y sostenible se basa la nueva cultura del agua.

Cuando se reutiliza el agua se alarga su ciclo de vida, y añadiendo valor a su uso. Los pilares básicos de este modelo de gestión del agua son reducir el consumo, reutilizar el agua y reciclarla. Estos sistemas pueden combinarse con otros de recogida de aguas pluviales, elementos de ahorro de agua y otras tecnologías que se presentan en este proyecto, como el saneamiento ecológico. El objetivo final es proporcionar un nuevo enfoque del uso de los recursos hídricos en la ciudad de Barcelona, y demostrar su viabilidad técnica y económica.





2. Introducción y alcance del proyecto

El presente proyecto se ha elaborado con el fin de encontrar una solución técnica adecuada para mejorar la eficiencia en el aprovechamiento de agua en un bloque de viviendas del área metropolitana de Barcelona.

2.1. Objetivos e inclusiones del proyecto

- Estudiar con detenimiento los sistemas e instalaciones que existen en la actualidad para el ahorro de agua. Hacer una comparativa de distintas combinaciones de estos sistemas, y escoger la que puede ser más interesante para aplicar en los edificios plurifamiliares del área metropolitana de Barcelona, atendiendo a diversos criterios.
- Definir la instalación de los sistemas de ahorro de agua. Definir la instalación de suministro y evacuación de aguas domésticas del edificio. Dimensionar los componentes.
- Realizar un presupuesto detallado de la instalación. Estimar el ahorro de agua y el beneficio al medio ambiente que la solución escogida nos permite, frente al consumo del agua de un edificio con un sistema de saneamiento convencional.

2.2. Exclusiones del proyecto

- No se tiene como objetivo el diseño en sí de los sistemas de tratamiento de agua, sino la elección del sistema apropiado y su instalación en el edificio AINOS.
- No se especifica el diseño y funcionamiento de la centralita PLC de monitoreo y control de los sistemas y grupos de presión definidos en el proyecto. Profundizar en el funcionamiento de éstos autómatas programables queda fuera de los objetivos del proyecto.
- Sólo se incluirán en el presupuesto y en el diseño del sistema aquellos elementos del edificio que se crean directamente relacionados con el sistema de suministro y evacuación de agua. Se aportan los planos del edificio necesarios para entender la distribución de la red de fontanería y saneamiento, y la ubicación de los sistemas de tratamiento de agua, acumulador de ACS y grupos de presión, aunque podrán contener detalles que aporten más información del edificio escogido.





3. Requerimientos del sistema

En este apartado se presentan algunos datos e hipótesis iniciales necesarios para estudiar qué sistemas de ahorro de agua son los adecuados para ajustarse a las necesidades del edificio de estudio.

3.1. Presentación del edificio de estudio

Puesto que el presente proyecto enfatiza la innovación en la gestión del agua doméstica para una mayor eficiencia, se ha creído conveniente elegir un edificio que pueda solventar otra necesidad emergente en la sociedad: la de crear viviendas pequeñas de alquiler para que a la gente joven. De esta forma se contribuye a solventar la dificultad actual que padece la juventud para emanciparse. El edificio de estudio fue diseñado bajo el lema AINOS (Fig. 3.1), por el arquitecto Andreu Roca i Berlanga, que quedó finalista en un concurso para jóvenes arquitectos promovido en 2003 por la Generalitat de Catalunya, en colaboración con el Colegio de Arquitectos de Cataluña. El motivo principal del concurso fue el sugerir propuestas para resolver la tipología de vivienda de alquiler para gente joven en la ciudad de Barcelona.



Fig. 3.1. Modelos CAD del edificio AINOS [Generalitat de Catalunya, 2003]

El edificio AINOS es un proyecto para un edificio de 24 viviendas de alquiler para gente joven ubicado en el distrito de Sant Andreu (Barcelona), que no llegó a ser ejecutado debido a que no consiguió el premio final, aunque quedó finalista del concurso. Se ha escogido el edificio AINOS debido a las grandes posibilidades que ofrece para la instalación de los sistemas de ahorro de agua que se escojan, y por un diseño que facilita una distribución coherente y realmente práctica de la instalación de fontanería y saneamiento que minimiza las ramificaciones necesarias de la red.



Se ha proyectado una única tipología de vivienda para 1 -2 personas, y una variante para 2 - 3 personas. La batería de cámaras húmedas y cocinas forman una banda o espina funcional de 1,5 m de ancho, con un soporte de servicios (instalaciones registrables) en la fachada interior. Así se forman espigas de instalaciones que alojan los elementos fijos del sistema y liberan el resto del espacio.

Los baños y las cocinas son iguales, obedeciendo a un espíritu de estandarización e industrialización del proyecto. Se ha planteado un baño compartimentado para posibilitar el uso simultáneo. Se ha planteado un espacio comunitario de lavandería para el lavado de la ropa, y la posibilidad de tenderla en el patio interior. En cuanto a los sistemas constructivos de interiores, los tabiques se construyen de cartón-yeso, por su facilidad de montaje y desmontaje, y paso de instalaciones por su interior. El registro fácil y rápido de los puntos clave de las instalaciones se realiza mediante unos armarios de instalaciones situados al lado de la puerta de cada vivienda (como se ve más adelante, se ha proyectado que cada vivienda debe contar con 3 contadores de agua independientes).

Al margen de la instalación de sistemas para mejorar la eficiencia del uso del agua en el edificio, el arquitecto propone las siguientes actuaciones para mejorar la sostenibilidad:

- Todas las viviendas son exteriores, con doble fachada, con una distribución que facilita la ventilación cruzada y potencia el uso de luz natural.
- Instalación de placas captadoras de energía solar para ACS.
- Uso de luces regulables con células fotoeléctricas, para tener lecturas de los niveles lumínicos con la finalidad de encender o apagar progresivamente cada circuito de alumbrado según la necesidad en cada ámbito.
- Instalación de una batería de condensadores para realizar una corrección en el factor de potencia y conseguir las bonificaciones por parte de la compañía eléctrica.
- Recogida selectiva de residuos. Se realiza la recogida final de todo tipo de residuos en una sala comunitaria destinada únicamente a residuos con contenedores para vidrio, papel y cartón, plástico y metal, y desechos orgánicos.

Los planos del edificio, con la correspondiente instalación de fontanería, saneamiento y sistemas para el ahorro del agua, pueden verse en el ANEXO N.



3.2. Determinación del consumo de agua

Se ha determinado el consumo de en el edificio AINOS, que servirá para calcular el ahorro de agua de los sistemas instalados. El consumo de agua que se utiliza normalmente para el dimensionado de los dispositivos de reciclaje de aguas grises y recogida de aguas pluviales, está definido en las Ordenanzas Municipales que se presentan a lo largo del proyecto y Normas Técnicas como el Código Técnico de la Edificación. Estos consumos son mucho mayores que los que se han estimado para los edificios de Barcelona en este capítulo. Sin embargo, están ampliamente extendidos a metodologías de dimensionado usadas por diversas empresas del sector, y serán los empleados para el cálculo de los sistemas de ahorro de agua que decidan instalarse.

3.2.1. Determinación del consumo de agua doméstica en Barcelona

El consumo de agua doméstica en los países industrializados oscila entre los 100 y 180 L/p·d, o bien entre 36 y 66 m³ por habitante y año, lo cual comprende entre un 30 y un 70% de la demanda total urbana de agua [Friedler, Hadari, 2006].

En los últimos años, el consumo de agua por habitante en Barcelona se ha reducido un 12%. El consumo de agua se ha situado en 112 L/p·d, un dato que sitúa a la ciudad en el sexto puesto del ranking de ciudades europeas relacionadas con el ahorro de agua. Incluso, si se consideran los habitantes equivalentes al nombre de pernoctaciones turísticas, esta media baja hasta los 110 L/p·d, una cifra muy cercana a los 100 L/p·d, cantidad considerada por los expertos como un objetivo a conseguir en el diseño de una ciudad sostenible [<http://w3.bcn.es>, 15 de mayo de 2010].

Para elegir el sistema de ahorro de agua idóneo, no basta con éste dato. También necesitamos una referencia aproximada de cuánta agua se consume en cada uno de los puntos de consumo domésticos. Para ello, se han contrastado diversas fuentes, en las que se brindan unas estimaciones parecidas en cuanto a la distribución del consumo de agua doméstico.

Una vez obtenidos datos de la distribución del consumo de agua en una vivienda, de diversas fuentes (ver Bibliografía), se ha elaborado una tabla en la que se resume de forma homogénea los datos consultados. El objetivo de la tabla es calcular el promedio de agua utilizada en cada uno de los puntos de consumo domésticos (Tabla 3.1).

Debido a que los puntos de consumo están definidos de forma distinta en cada una de las fuentes consultadas, no se puede hacer directamente un promedio aritmético. Así que se ha optado por definir un consumo promedio aproximado, que se extrapola al consumo de agua de 110 L/p·d en la ciudad de Barcelona (Tabla 3.2).



Distribución de agua doméstica		Datos consultados											
		Institut de l'aigua		Asano et al.		The Skywater Company		Yourhome		NSW Health			
Dependencia	Punto de consumo	Consumo (L/p-d)	%	Consumo (L/p-d)	%	Consumo (L/p-d)	%	Consumo (L/p-d)	%	Consumo (L/p-d)	%		
Cuarto de baño	Cisterna del WC	46	34,59	76,1	32,11	45	34,62	22	16,30	186	32		
	Baño / Ducha	46	34,59	52,2	22,03	44	33,85	56	41,48	28	33		
	Lavamanos	9	6,77	42	17,72	8	6,15	6	4,44	193	5		
	Bidet												
Cocina	Grifo de la cocina (Beber, cocinar, fregar los platos)	12	9,02			3,8	1,60	11	8,46	12	8,89	44	7
	Lavavajillas									5	3,70		
Lavadero	Lavadora	20	15,04	62,9	26,54	17	13,08	27	20,00	135	23		
	Grifo del lavadero (lavar ropa, fregar el suelo, regar plantas de interior)					5	3,85	7	5,19				
TOTAL		133	100	237	100	130	100	135	100	586	100		

Tabla 3.1. Tabla resumen de las fuentes consultadas
[Elaboración propia. Datos: Fuentes consultadas]

Distribución de agua doméstica		Consumo promedio aproximado (%)	Consumo promedio en Barcelona (L/p-d)
Dependencia	Punto de consumo		
Cuarto de baño	Cisterna del WC	30	33
	Baño / Ducha	33	36,3
	Lavamanos	5	5,5
	Bidet	2	2,2
Cocina	Grifo de la cocina	5	5,5
	Lavavajillas	4	4,4
Lavadero	Lavadora	18	19,8
	Grifo del lavadero	3	3,3
		100	110

Tabla 3.2. Consumo promedio aproximado
[Elaboración propia. Datos: Fuentes consultadas]



3.2.2. Consumo de agua en el edificio AINOS

Para determinar el consumo de agua, es primordial conocer el número de habitantes que tiene el edificio, los puntos de consumo y la forma en la que se utiliza el agua en el edificio AINOS. El primer detalle que no puede ser pasado por alto es que los pisos no tienen lavadero. Se debe recordar que es un edificio diseñado expresamente para gente joven y estudiantes. La lavandería comunitaria de 25,44 m² se encuentra en la planta baja, y tiene 4 grifos y 8 lavadoras.

Hay un total de 24 viviendas, distribuidas en 4 plantas (6 viviendas por planta). En cada planta hay 4 viviendas pensadas para 1 – 2 personas (39,79 m²), y 2 pensadas para 2 – 3 personas (49,95 m²). Para determinar el consumo de agua, y dimensionar correctamente la instalación, se piensa en el caso más desfavorable. Es decir, que en todas las viviendas viva el máximo de personas para el que ha sido diseñada (en realidad habrán viviendas que tendrán menos, y otras que excederán). De manera que se estiman 16 viviendas con 2 habitantes, y 8 viviendas con 3 habitantes, que hacen un total de 56 habitantes.

Cada vivienda tiene un único cuarto de baño. Los cuartos de baño no tienen bidet. Únicamente lavamanos, WC y bañera/ducha. Esto se traduce en que los habitantes del edificio no utilizarán el bidet. Por ello se ha eliminado el consumo de agua del bidet, incrementando proporcionalmente el resto de los consumos para llegar a los 110 L/p-d de la ciudad de Barcelona. Por otro lado, cada vivienda tiene una cocina con un grifo, y se estima que cada vivienda tendrá un lavavajillas. En la Tabla 3.3 se resumen los consumos de agua del edificio AINOS.

Distribución de agua doméstica		Número de puntos de consumo en AINOS	Consumo promedio (sin bidet) (%)	Consumo promedio en Barcelona (l/pers-día)	Habitantes	Consumo AINOS (l/día)	Consumo AINOS (m ³ /día)	Consumo AINOS (m ³ /mes)	Consumo AINOS (m ³ /año)
Dependencia	Punto de consumo								
Cuarto de baño	Cisterna del WC	24	30,61	33,67	56	1.885,58	1,89	57,51	688,24
	Baño / Ducha	24	33,67	37,04	56	2.074,07	2,07	63,26	757,04
	Lavamanos	24	5,10	5,61	56	314,16	0,31	9,58	114,67
Cocina	Grifo de la cocina	24	5,10	5,61	56	314,16	0,31	9,58	114,67
	Lavavajillas	24	4,08	4,49	56	251,33	0,25	7,67	91,73
Lavadero	Lavadora	8	18,37	20,21	56	1.131,59	1,13	34,51	413,03
	Grifo del lavadero	4	3,06	3,37	56	188,57	0,19	5,75	68,83
TOTAL		100	100	110		6.159,46	6,16	187,86	2.248,2

Tabla 3.3. Consumo de agua en el edificio AINOS

[Elaboración propia]



3.2.3. Consumos de agua usados para el dimensionado de los sistemas

Aunque los consumos definidos anteriormente van a ser muy útiles para el cálculo del ahorro real de agua en el edificio AINOS tras la instalación de los sistemas de ahorro, el dimensionado de los sistemas debe realizarse con unos parámetros que estén extendidos y normalizados para este cometido.

Por ejemplo, la Ordenanza Tipo para el ahorro de agua de la Xarxa de ciutats i pobles cap a la sostenibilitat (2005), que se presenta más adelante, establece que para el dimensionado de los sistemas de tratamiento de aguas grises se toma como referencia un consumo mínimo de agua para duchas y bañeras de 60 L/p-d, y un máximo de 100 L/p-d. Se puede ver que estas cifras superan con creces las dotaciones estimadas en los apartados anteriores. Se atribuye este hecho a que, en la práctica, existe la tendencia al sobredimensionamiento de los sistemas. En la Tabla 3.4 se presenta una relación de valores de referencia estándar para el dimensionamiento de los sistemas, que son utilizados por varias empresas del sector. En el dimensionado del sistema de tratamiento de aguas grises se utilizan estos valores.

Distribución de agua doméstica		Dotaciones estándar (L/p-d)
Dependencia	Punto de consumo	
Cuarto de baño	Cisterna del WC	54
	Baño / Ducha	75
	Lavamanos	5
Cocina	Grifo de la cocina	20
	Lavavajillas	
Lavadero	Lavadora	24
	Limpieza	22
	TOTAL	200

Tabla 3.4. Dotaciones estándar de agua para el dimensionado de los equipos
[Elaboración propia. Datos: <http://www.totagua.com/>, 23 de mayo de 2010]

3.3. Potencial de volumen de agua pluvial recogido

El volumen de agua pluvial recogido en el edificio se basa en el área de recogida, la pluviometría media anual y un coeficiente de pérdidas. La superficie plana de recogida de aguas pluviales es de 451,57 m², de los cuales 137,82 m² pertenecen a un patio interior (terracea comunitaria), con forma poligonal, situado en el primer piso. Los otros 313,75 m² pertenecen a la terraza del último piso, los pasillos de acceso y las escaleras exteriores. La terraza del último piso, de 259,06 m², no está destinada al ocio comunitario, ya se reserva para la instalación de un colector solar para la generación de ACS y placas fotovoltaicas, además de su función de recoger aguas pluviales. En los pasillos de acceso y escaleras



exteriores que dan acceso a los pisos (54,69 m²), se podrían instalar canalones y bajantes para que también se puedan aprovechar las aguas pluviales que caigan sobre ellos.

Muchos diseñadores asumen un coeficiente de pérdidas del 20% sobre la pluviometría anual. Estas pérdidas se deben a la textura del material del que está construido la superficie de captación, la evaporación, el efecto del viento, las pérdidas ocurridas en las canalizaciones o los depósitos, y otras ineficiencias en el proceso de colección [Abdulla, Al-Shareff, 2009]. En el dimensionamiento del depósito de almacenamiento de aguas pluviales se tiene en cuenta este factor.

Los datos de la pluviometría en Barcelona se exponen en detalle en el ANEXO A. A partir de ellos se calcula en la Tabla 3.5 el volumen de agua que potencialmente puede ser recogido para tres situaciones que pueden ser útiles para dimensionar el volumen de los depósitos de almacenamiento.

Volumen promedio de agua captado	Valor pluviométrico de referencia (VER ANEXO A)	Superficie de captación					
		Terraza comunitaria + Pasillos 137,82 + 54,69 m ²		Terraza último piso 259,06 m ²		Superficie de captación total 451,57 m ²	
		Sin pérdidas	Con pérdidas (20%)	Sin pérdidas	Con pérdidas (20%)	Sin pérdidas	Con pérdidas (20%)
Volumen captado anualmente (m ³ /año)	651,6 mm/año	125,44	100,35	168,8	135,04	294,24	235,39
Volumen captado en el mes más húmedo (m ³ /mes)	Octubre; 98,13 mm/mes	18,89	15,11	25,42	20,34	44,31	35,45
Volumen captado en el día más lluvioso (m ³ /mes)	58,33 mm/día	11,23	8,98	15,11	12,09	26,34	21,07

Tabla 3.5. Estimación del agua de lluvia recogida
[Elaboración propia. Ver ANEXO A]

La Tabla 3.6 muestra los valores de la constante de acumulación C_D, un parámetro adimensional que sirve para conferir a la ecuación de cálculo del volumen del depósito de aguas pluviales la naturaleza estocástica de las precipitaciones. Este valor se utiliza en el apartado 11.4. Elección y cálculo del sistema de recogida de aguas pluviales.

CCAA	Observatorio	D	R	Rm	Estiaje												H _a	C _D
					E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Catalunya	Barcelona	52,4	60,0	132,0													658	0,143
	Girona	50,4	93,0	158,0													746	0,143
	Lleida-Obs.	52,8	39,0	72,0													376	*
	Lleida-Obs.2	53,0	29,0	62,0													304	*
	Montseny	55,3	168,0	419,0													1.073	0,143
	Reus	51,3	68,0	220,0													542	*
	Tortosa	50,8	50,0	124,0													558	*

Tabla 3.6. Valores de la constante de acumulación C_D
[http://www.espagroup.com, 7 de junio de 2010]





4. Sistemas para el ahorro de agua. Generalidades

Para situar el contexto en el que se realiza el proyecto, se da una visión general de qué tecnologías imperan en el mercado en el ámbito del ahorro del agua y la mejora de la eficiencia de su consumo en los hogares.

4.1. La reutilización de agua

Uno de los pilares básicos de la nueva cultura del agua es el de no utilizar agua potable para usos que no requieren agua potable. Al agua que se usa con fines no potables se le llama agua de servicio, y puede ser utilizada para llenar la cisterna del retrete, fregar el suelo, lavar la ropa o regar el jardín. De esta forma el consumo de agua en los hogares se reduce, ya que el agua potable que ha entrado es reutilizada más veces antes de que se recoja en el sistema de alcantarillado y, a su vez, se evita gastar esfuerzos económicos y energéticos en depurar agua para conseguir una calidad superior a la que se requiere para el uso que se le va a dar.

4.1.1. La reutilización de aguas grises

Las aguas grises tienen su origen en la lavadora, el grifo del lavadero, el baño o la ducha, y la pica del lavabo. Se caracterizan por tener una alta carga de materia inorgánica (sales disueltas), alta turbidez, una cantidad de nutrientes y de patógenos bacterianos inferior a la de las aguas negras, y tener un color grisáceo y un olor menos desagradable que el de las anteriores. Los sólidos en suspensión que están presentes son, en su gran mayoría, pelo y pelusas que provienen del baño y del agua que se ha usado para lavar la ropa. Aunque el nivel de sólidos en suspensión es bajo, lo que indica que la mayoría de los contaminantes están disueltos.

El bajo nivel de contaminantes patógenos y nitrógeno es el motivo por el que se presta cada vez más atención a las aguas grises para su reutilización. Normalmente, el número de coliformes fecales en las aguas grises es bajo, a no ser que éstas hayan sido generadas del lavado de pañales, o bien de ropas contaminadas de heces o vómitos.

Sobre la reutilización de aguas grises, se debe tener presente que diferentes aplicaciones de reutilización requieren diferentes niveles de calidad del agua, y por consiguiente diferentes tipos de tratamiento. Se han inventado mecanismos de lo más ingeniosos para reutilizar las aguas grises, como puede ser la construcción del lavamanos directamente encima de la cisterna del lavabo (Fig. 4.1).





Fig. 4.1. Ingenios para el reciclaje de aguas grises
 [http://www.yourhome.gov.au/, 13 de mayo del 2010]

La imagen de la izquierda corresponde al diseño de lavabo + WC de la compañía australiana CAROMA. En la imagen del centro se presenta un diseño conceptual de este tipo de sistema de reciclaje, y en la imagen de la derecha se presenta el diseño W + W (Washbasin + Watercloset) de ROCA, diseño de Gabriele y Oscar Buratti que fue galardonado en el concurso Design Plus 2009 de la Feria ISH en Frankfurt.

Sin embargo, hay sistemas comercializados que son sustancialmente más sofisticados y permiten un mayor aprovechamiento de las aguas grises domésticas, como llenar las cisternas del lavabo con las aguas del lavabo y de la ducha/bañera, haciéndolas pasar primero por un sistema de tratamiento con tal de garantizar que el agua esté en condiciones óptimas para su reutilización. Se ha estimado en diversos estudios que la reutilización de aguas grises puede proporcionar ahorros de hasta un 30% del consumo total de agua en una vivienda.

4.1.2. La reutilización de aguas negras

Las aguas negras se describen como aquellas aguas residuales que provienen del inodoro y el bidet. Generalmente, están contaminadas por la orina y las heces humanas. Las aguas negras se caracterizan por su alto contenido en patógenos bacterianos, sus altas cargas en materia orgánica y nutrientes, su color oscuro y un olor muy ofensivo. Para las aguas generadas en el fregadero de la cocina o el lavavajillas existe cierta controversia entre distintos autores sobre su clasificación y utilidad posterior, aunque generalmente se engloban en el rango de las aguas negras.



El uso más generalizado que se le da a las aguas negras tratadas es el de la irrigación subterránea del jardín. Sin embargo, también pueden ser tratadas para usos que requieran una mayor calidad de agua, como llenar las cisternas del lavabo. Estos usos del agua tratada requerirán un sistema de tratamiento más avanzado y menos económico.

4.2. La recogida de aguas pluviales

Los tejados representan una parte importante de las grandes superficies de las ciudades, y por ello ofrecen una gran oportunidad para la recogida de aguas pluviales. El uso del agua de lluvia puede proporcionar agua para aquellos usos que no requieran agua potable, tal y como sucedía con el reciclaje de aguas negras y grises.

Las aguas pluviales pueden usarse para irrigación del jardín, así como para llenar la cisterna del retrete, o para lavar la ropa (usos no potables). Las aguas pluviales son aguas blandas (bajo contenido en minerales), lo que significa que no causan calcificaciones en los sistemas de bombeo y distribución de agua. Evitan calcificaciones en la lavadora y el WC, y la ropa queda más limpia con menos detergente. Generalmente, requieren un tratamiento más simple y menos costoso que las aguas residuales domésticas.

4.3. El saneamiento ecológico

Una de las ideas básicas del saneamiento ecológico es la reutilización de los nutrientes que actualmente echamos a perder mediante las aguas residuales domésticas. Los excrementos humanos contienen un gran número de nutrientes y oligoelementos que muy raramente son devueltos a las tierras de cultivo. Con el sistema de saneamiento convencional, estos nutrientes, que podrían servir como fertilizantes para los campos de cultivo, son o bien destruidos mediante un proceso de depuración, o bien devueltos al ciclo del agua, causando la eutrofización de lagos y ríos.

El saneamiento ecológico reconoce la excreta humana no como un residuo, sino como un recurso que se puede reutilizar, ya que puede ayudar a mantener la buena salud del suelo, así como ser un valioso nutriente para las plantas.

La tecnología que lleva a este cambio de paradigma es la del váter seco de compostaje, un WC que no utiliza agua para deshacerse de la excreta y las heces humanas, y que trata las heces mediante un proceso de compostaje para que éstas puedan ser reutilizadas como abono. Muchos de estos váteres secos cuentan también con un sistema separador de orina.



4.4. Elementos ahorradores

Hay ciertos elementos que permiten el ahorro de agua de una forma sencilla y eficaz. Los pilares de la nueva cultura del agua son reducir el consumo, reutilizar el agua y reciclarla. Sin embargo, la primera medida que se debe tomar es la de reducir el consumo, siempre por delante de las otras dos. Esto es debido a que es una forma eficaz de preservar el agua, a la par que sencilla y económica.

Estos elementos ahorradores se pueden dividir, principalmente, en cisternas para el inodoro y grifería. En el ANEXO B se presentan en detalle los elementos de ahorro de agua más importantes que actualmente existen en el mercado.



5. Marco normativo y legislativo

Para llevar a cabo la ejecución del proyecto, es imprescindible cumplir con las correspondientes Directivas, Ordenanzas, Leyes y Normas Técnicas que sean aplicables. En el ANEXO C se amplía la información aportada en este capítulo del proyecto.

5.1. Las Ordenanzas de ahorro de agua en Cataluña

Actualmente no existe ninguna Normativa a nivel estatal en referencia a los sistemas de reutilización de aguas grises y de recogida de aguas pluviales. Ni siquiera el Código Técnico de la Edificación hace referencia. Sin embargo, muchos ayuntamientos tienen Ordenanzas Municipales que apuestan por un uso eficiente y sostenible del agua, y dan unas directrices de uso de sistemas de reciclaje de aguas grises y recogida de pluviales. De esta forma, las Ordenanzas Municipales subsanan este vacío legal que deja la Norma española, y son una importante referencia para este proyecto.

En las Ordenanzas Municipales para el ahorro de agua vigentes en Cataluña se usan, básicamente, dos modelos de Ordenanza: el de la *Ordenanza de ahorro de agua de Sant Cugat del Vallés*, y el de la *Ordenanza Tipo para ahorro del agua* desarrollada por el Grupo de trabajo Nueva Cultura del Agua, de la Xarxa de ciutats i pobles cap a la sostenibilitat.

La intención de la *Ordenanza Tipo* es la de integrar el ahorro de agua en una normativa más general, que recoja los objetivos característicos de la edificación sostenible. Esta Ordenanza de ahorro de agua considera las diferentes formas de ahorro potenciales que los municipios pueden adoptar. No obstante, cada ayuntamiento, en función de sus características, tiene la posibilidad de escoger o adaptar, totalmente o en parte, las obligaciones o recomendaciones descritas en este documento. La *Ordenanza de Sant Cugat del Vallés* es el otro referente que han tomado diversos ayuntamientos para la confección de sus propias Ordenanzas de ahorro de agua.

5.2. Normativa aplicable al proyecto

El documento fundamental de normativa imprescindible para la realización del proyecto es el *Documento Básico de Salubridad* del Código Técnico de la Edificación. Este documento tiene por objeto establecer las reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de salubridad en los edificios. La correcta aplicación de este documento supone que se satisface el requisito básico de higiene, salud y protección del medio ambiente.



La exigencia básica *HS 4: Suministro de agua*, describe que los edificios dispondrán de medios adecuados para suministrar al equipamiento higiénico previsto agua apta para el consumo de forma sostenible, aportando caudales suficientes para su funcionamiento, sin alteración de las propiedades de aptitud para el consumo e impidiendo los posibles retornos que puedan contaminar la red, incorporando medios que permitan el ahorro y el control del agua [Código Técnico de la Edificación, 2009].

La exigencia básica *HS 5: Evacuación de aguas*, describe que los edificios dispondrán de medios adecuados para extraer las aguas residuales generadas en ellos de forma independiente o conjunta con las precipitaciones atmosféricas [Código Técnico de la Edificación, 2009]. También se emplea la exigencia básica *HE 4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*, del *Documento Básico Ahorro de energía*, en el que se establece la contribución mínima de energía solar térmica para la producción de ACS en edificios nuevos, y las bases reglamentarias para instalar sistemas solares térmicos en edificios.

En todos los documentos mencionados se citan las normas UNE, UNE-EN o UNE-EN ISO necesarias para la instalación de los sistemas necesarios para la realización del proyecto, que hablan de materiales, componentes, accesorios, etc.

5.3. Legislación aplicable al proyecto

La regulación española en materia de reutilización de agua para fines domésticos se expone en el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de reutilización de las aguas depuradas. El Gobierno establece unas condiciones básicas para la reutilización de las aguas, precisando la calidad exigible a las aguas depuradas según los usos previstos. Para el presente proyecto, únicamente interesan los criterios de agua de máxima calidad (usos urbanos), que se resumen en la Fig. 5.1.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES ¹	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
1.- USOS URBANOS					
CALIDAD 1.1: RESIDENCIAL ² a) Riego de jardines privados. ³ b) Descarga de aparatos sanitarios. ³	1 huevo/10 L	0 (UFC ⁴ /100 mL)	10 mg/L	2 UNT ⁵	OTROS CONTAMINANTES ⁶ contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas ⁷ deberá asegurarse el respeto de las NCAs. ⁸ <i>Legionella spp.</i> 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)
CALIDAD 1.2: SERVICIOS a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares). ⁹ b) Baldeo de calles. ⁹ c) Sistemas contra incendios. ⁹ d) Lavado industrial de vehículos. ⁹	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	

Fig. 5.1. Fragmento del Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre.



5.4. Estándares internacionales para la reutilización del agua

Actualmente, no hay unas pautas uniformes e internacionales para el control de la calidad de las aguas residuales recuperadas. La falta de unos estándares o pautas acerca de la reutilización de aguas grises dificulta su apropiada reutilización. En muchos casos, las pautas de reutilización de agua varían según el país. Hay muy pocos estándares que se centren particularmente en la reutilización de aguas grises. Las regulaciones y pautas para las aguas grises principalmente se centran en los riesgos de impacto ambiental y sobre la salud humana, y muy frecuentemente se establecen mediante autoridades locales [Li, Wichmann, Otterpohl, 2009].

Una característica que se distingue en la legislación española es que se ha introducido el control de la *Legionella*. La introducción del control de estos patógenos indica que, cada vez, los expertos son más reacios a controlar simplemente los clásicos indicadores de patógenos fecales. La última regulación española, que contempla un amplio rango de aplicaciones, es uno de las propuestas más interesantes en el desarrollo de unas regulaciones sobre la reutilización de agua elaboradas en Europa. En la regulación española, se proponen unos criterios muy estrictos para los usos residenciales, mientras que los estándares para reutilización urbana, irrigación y abastecimiento de aguas para uso recreativo, se acercan más a los estándares liberales de la WHO [Brissaud, 2008]. En el ANEXO C se amplía la información acerca de la búsqueda de unos estándares comunes sobre la reutilización del agua.





6. Características de las aguas reutilizables

En este apartado se quiere dar una breve explicación de las características físicas, químicas y biológicas más importantes de las aguas residuales domésticas (aguas grises y aguas negras, o bien mixtas), y de las aguas pluviales. En el ANEXO D se expone una extensa ampliación acerca de los parámetros que miden la calidad de las aguas, así como de gráficas y estudios de otros autores que determinan las características físico-químicas y biológicas de las aguas residuales domésticas.

6.1. Características de las aguas residuales domésticas

Las aguas residuales domésticas son la mezcla de las aguas grises y las aguas negras (váter, bidet y cocina). Hay sistemas que separan las aguas grises y las aguas negras para tratarlas por separado, pero otros reciclan directamente el conjunto de aguas residuales, sin hacer distinción entre aguas grises y negras. Lógicamente este efluente de aguas estará más contaminado que el de aguas grises, ya que contendrá una cantidad mucho más alta de patógenos, sólidos en suspensión, nutrientes y materia orgánica. La proporción de generación de aguas grises versus aguas negras en una vivienda es de un 60 – 70% de aguas grises contra un 30 – 40% de aguas negras [Friedler, Hadari, 2006].

6.2. Características de las aguas grises

La naturaleza química entre las aguas residuales y las aguas grises es muy diferente. Las aguas grises contienen microorganismos patógenos, incluyendo bacterias, protozoos, virus y parásitos en concentraciones suficientemente altas como para representar un riesgo para la salud. Esto hace que las aguas grises deban ser desinfectadas antes de ser reutilizadas, o bien dispuestas de manera que se impida su contacto con los seres humanos.

Hay dos tipos distintos de aguas grises. En primer lugar están las aguas grises del baño. Proviene de la bañera, la ducha y el lavamanos. Constituyen aproximadamente el 59% del total de las aguas grises generadas en la vivienda. Estas aguas están contaminadas con pelos, jabones, champús, tintes para el pelo, pasta de dientes, pelusas, grasa corporal, nutrientes, aceites y otros productos de limpieza. Pueden contener pequeñas cantidades de contaminación fecal (con sus patógenos asociados), proveniente del aseo corporal.

Por otro lado, se tienen las aguas grises del lavadero. Constituyen un 41% del volumen de aguas grises generadas en la vivienda. Estas aguas se contaminan por pelusas, aceites, grasas, detergentes para la ropa, productos químicos, jabones, nutrientes y otros componentes. Al igual que las anteriores, también pueden contener pequeñas cantidades de



contaminación fecal (y sus patógenos asociados), que provienen de ropas que puedan haber sido contaminadas.

Hay una gran variabilidad en la composición química y física de las aguas grises producidas en una vivienda, debido a factores como las fuentes de las que provienen las aguas, los hábitos individuales, los productos empleados (detergentes, champús, jabones, etc.).

La mayor dificultad para el tratamiento de las aguas grises es, precisamente, la gran variación de su composición. Los valores de DQO promedio pueden fluctuar desde 40 hasta 371 mg/l, dependiendo de la fuente de origen, y el ratio DQO:DBO es de 4:1 aproximadamente [Al-Jayyousi, 2003]. En la Fig. 6.1 se muestra una tabla de características de las aguas grises en comparación con las aguas mixtas, que serían la mezcla de aguas grises y aguas negras que dan lugar al total de aguas residuales domésticas generadas en un domicilio.

Parámetro	Unidades	Concentración	
		Aguas residuales domésticas	Aguas grises
DBO ₅	ppm	350	150
DQO	ppm	500	300
MES	ppm	300	90
Turbidez	NTU	245	75
Escherichia coli	ufc/100 ml	$5 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^3$

Tabla 6.1. Comparativa de la contaminación entre aguas mixtas y aguas grises
[Elaboración propia. Datos: <http://www.regeneraciondeaguas.com>, 16 de enero del 2010]

Todas las aguas grises tienen una gran cantidad de sales disueltas, como sodio, calcio, magnesio, potasio. A esto se le debe añadir la deficiencia de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. Estos valores bajos de materia orgánica biodegradable o el desequilibrio entre nutrientes limitan la eficacia del tratamiento biológico [Al-Jayyousi, 2003].

Se ha documentado que las aguas grises pueden contener al menos 105/100 ml de microorganismos potencialmente patógenos, como coliformes fecales. Por otro lado, los recuentos totales de coliformes y coliformes fecales en las aguas puede aumentar en gran medida con unas 48 h de almacenaje, independientemente de la fuente de origen [Rose et al., 1991].

Las aguas residuales provenientes del grifo de la cocina y del lavavajillas, estrictamente, deberían ser consideradas también como aguas grises. Sin embargo, estas aguas contienen una carga más alta de nutrientes y tienen una DBO₅ significativamente más alta que las aguas grises que provienen del resto de la casa. Esto se traduce en un incremento



del costo y de los requisitos de los sistemas de reciclaje de las aguas grises domésticas que pudieran ser instalados.

Por ello, las aguas que provienen del grifo de la cocina y del lavaplatos suelen ser incluidas como aguas negras, aunque algunos autores consideran que mezclarlas con el resto de aguas grises mejoraría la eficiencia del tratamiento biológico aeróbico por incrementar el contenido de nutrientes, ya que permite mantener un ratio DQO:N:P óptimo. En este sentido, existe cierta controversia acerca de la clasificación del flujo de agua residual proveniente de la cocina. También hay que tener en cuenta que debido a la presencia de materia orgánica, las aguas grises de la cocina están más contaminadas por coliformes.

En el ANEXO D se muestran diversas tablas que resumen las características físicas, químicas y biológicas basadas en diversos estudios sobre las aguas grises.

6.3. Características de las aguas pluviales

En general, las aguas pluviales están consideradas como un suministro seguro de agua, e incluso han sido estudiadas por su potencial uso como fuente de agua potable. Sin embargo, este recurso no está totalmente exento de riesgo para la salud. En general, la calidad del agua que se recoge directamente del tejado es aceptable para suplir usos domésticos que requieran agua no potable. Los contaminantes típicos del flujo de agua que proviene del tejado son materia orgánica, sólidos en suspensión, contaminantes fecales de origen animal (pájaros y otros) y algunos metales.

Factores como el tipo de material constructivo del tejado (que puede ser contaminante para las aguas), deposición atmosférica debido a periodos de sequía anterior (las deposiciones ensuciarían el agua) y condiciones ambientales colindantes (como polígonos industriales o gran afluencia de tránsito), son decisivos para determinar la concentración de contaminantes en el agua, incluyendo las concentraciones de metales pesados.

Particularmente, el material del tejado representa un problema cuando está constituido de metales pesados. Esta situación debe ser evitada con el uso de materiales adecuados para la recogida de aguas pluviales. Investigaciones recientes han demostrado que la exposición de los tejados a rayos UV, calor y sequedad, destruye muchas bacterias, mientras que el viento elimina algunos metales pesados acumulados de las deposiciones atmosféricas [Villareal, Dixon, 2005].

Las aguas pluviales usualmente no contienen contaminantes físicos ni químicos como pesticidas, plomo o arsénico. No tienen color, presentan pocas partículas en suspensión y son bajas en sales y dureza [Abdulla, Al-Shareef, 2009].



La Tabla 6.2 muestra datos acerca de la calidad de las aguas pluviales para un flujo fresco recién recogido del tejado, y uno que ha sido almacenado posteriormente.

Parámetro	Unidades	Concentración	
		Agua directamente recogida del tejado	Agua almacenada en un depósito
pH	-	5,2 - 7,9	6 - 8,2
DBO ₅	mg/l	7 - 24	3
DQO	mg/l	44 - 120	6 - 151
TOC	mg/l	6 - 13	-
Turbidez	NTU	10 - 56	1 - 23
SS	mg/l	3 - 281	0 - 19

Tabla 6.2. Parámetros típicos de las aguas pluviales
[Elaboración propia. Datos: Villareal, Dixon, 2005]

Las aguas pluviales normalmente presentan ausencia de contaminantes físicos y químicos como pesticidas, plomo, o arsénico, tienen una baja concentración de partículas en suspensión, y son bajas en sales disueltas y dureza. La calidad del efluente mejora dentro del tanque de almacenamiento. Los biofilms (comunidades de microorganismos que crecen en las paredes) adsorben los metales pesados, la materia orgánica y los patógenos del agua. Muchas bacterias se conglomeran en la superficie del agua, mientras que los metales pesados precipitan hacia el fondo del tanque. La calidad de las aguas pluviales almacenadas varían considerablemente desde su superficie hasta el punto de abastecimiento, situado cerca de la base del tanque, donde la calidad es significativamente mejor [Villareal, Dixon, 2005].

Para preservar la calidad del efluente de aguas pluviales, el tanque de almacenamiento debe limpiarse periódicamente. Las paredes interiores y el fondo del tanque deben fregarse, y se debe limpiar todo el tanque usando cloro para desinfectar, seguido de un aclarado con agua [Abdulla, Al-Shareef, 2009].

Las aguas pluviales recogidas en áreas transitadas, por vehículos o personas, presentan concentraciones de contaminantes más altas que las recogidas en los tejados. Esto es debido a la abrasión de los neumáticos de los vehículos, las pérdidas que gotean los vehículos (aceite de motor, líquido refrigerante, líquido hidráulico), emisiones de los motores, así como el polvo y los excrementos de perros y aves. En las aguas pluviales recogidas de superficies como carreteras o aparcamientos se pueden encontrar importantes concentraciones de cobre, zinc y plomo. Otros contaminantes que incluyen las aguas pluviales urbanas son sólidos en suspensión, materia orgánica, bacterias, hidrocarburos, metales, pesticidas, cloruros, basura y escombros [Nolde, 2006].



7. Tratamiento de aguas *in situ* en sistemas satélite

El paradigma convencional de depuración de agua es el de plantas de tratamiento centralizadas. La planta de tratamiento EDAR recoge todas las aguas residuales municipales, y las trata de forma centralizada. En el ámbito de la reutilización de agua surgen las plantas de tratamiento satélite y las plantas de tratamiento descentralizadas (Fig. 7.1).

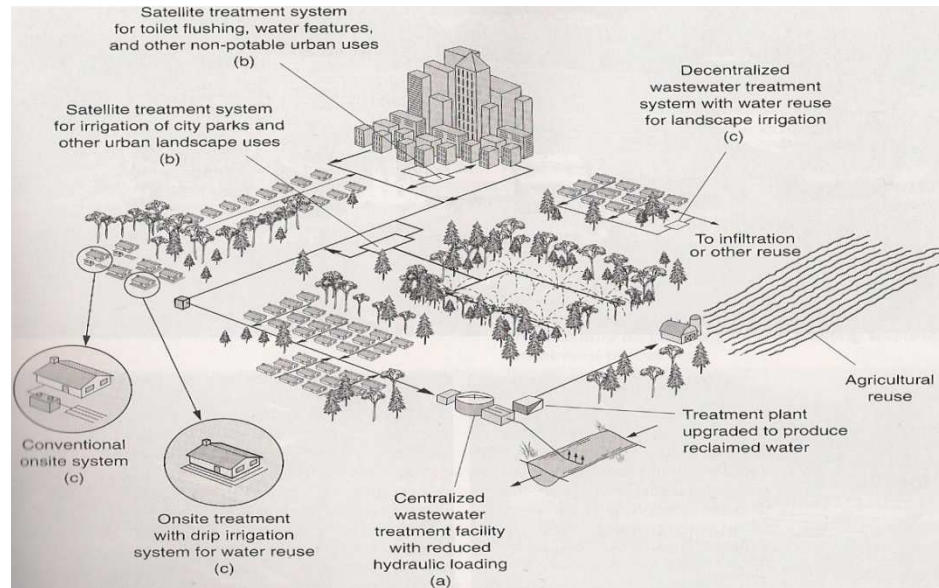


Fig. 7.1. Esquema explicativo de las plantas centralizadas, satélite y descentralizadas [Asano et al., 2007]

Ambas están pensadas para depurar el agua *in situ* para su posible reutilización inmediata. La diferencia entre ambas radica en que las plantas de tratamiento satélite están conectadas a la red de alcantarillado general, mientras que las plantas de tratamiento descentralizadas se utilizan en comunidades rurales aisladas que no tienen infraestructuras de drenaje hacia una EDAR, y no poseen un sistema de colección general. En el ámbito urbano, la reutilización de agua *in situ* se hace mediante plantas de tratamiento satélite. Utilizando sistemas satélite de tratamiento de agua, se puede implementar la reutilización local de agua, y las cargas hidráulicas en la red de colección general son reducidas. Se pueden utilizar en áreas metropolitanas desarrolladas para producir aguas recicladas para la descarga de los inodoros u otros usos no potables en apartamentos y edificios de oficinas, así como pueden general agua para proyectos de irrigación de áreas verdes urbanas [Asano et al., 2007]. El uso más extendido de los sistemas descentralizados, en cambio, es el de la irrigación de campos de cultivo.

Las tecnologías de tratamiento para la reutilización de aguas deben considerar primeramente las características biológicas de éstas, a fin de poner remedio a la inquietud



acerca de la salud pública por el uso de estas aguas para fines domésticos. El nivel de tratamiento provisto por las tecnologías de reutilización de aguas variará notablemente de acuerdo con la escala del sistema y el fin con el que se vayan a utilizar las aguas tratadas.

7.1. Clasificación convencional de tratamientos para aguas residuales

Antes de ver las tecnologías y los tratamientos que se utilizan para mejorar la calidad del agua *in situ*, conviene conocer la clasificación convencional de los distintos niveles de tratamiento que hay para el agua residual.

El tratamiento primario es un simple tratamiento físico, una separación de los elementos sólidos que contiene el agua. Su objetivo es la eliminación de los sólidos en suspensión y los materiales flotantes, y de una parte de la materia orgánica del agua.

El tratamiento secundario tiene como objetivo la eliminación de la materia orgánica biodegradable (en suspensión o disuelta), los sólidos en suspensión, los nutrientes (nitrógeno y fósforo) y la eliminación parcial de los microorganismos patógenos. Existen dos alternativas para el tratamiento secundario, los tratamientos químicos y los tratamientos biológicos. Los resultados de ambos son bastante similares en cuanto a los efectos, pero su mecanismo funcional es distinto. En el tratamiento químico se precisa la introducción de cantidades importantes de reactivos, un sistema de dosificación, y se necesita un equipo de personal cualificado que, de forma continua, tiene que modificar las dosificaciones para el correcto rendimiento del tratamiento. En cambio, en los sistemas biológicos, la formación de flóculos, con peso suficiente para poder separarse de la masa de agua, se logra gracias a la acción enzimática y metabólica de los microorganismos que están en el agua residual [Hernández Muñoz, 2001].

Por último, los tratamientos terciarios, o avanzados, mejoran la calidad del efluente de salida de un tratamiento secundario, mejorando la calidad del agua en sólidos en suspensión, reducción de materia orgánica y de nutrientes. La desinfección del agua se incluye en esta etapa del tratamiento.

En el ANEXO E se hace una comparación de cuál es el efecto de cada tipo de tratamiento en la mejora de la calidad de un efluente de agua tratado.



7.2. Alternativas para el tratamiento de aguas *in situ*

Las plantas satélite tratan el agua *in situ*, y están conectadas a la red de alcantarillado general, de manera que el exceso de agua y los residuos pueden ser eliminados por el sistema de drenaje que está conectado a una EDAR.

Muchos tipos diferentes de tecnologías de tratamiento pueden usarse en los sistemas satélite dependiendo del tipo de sistema satélite, la cantidad de agua regenerada que se debe producir, la calidad requerida en el agua regenerada, restricciones espaciales y compatibilidades con los sistemas de colección de las aguas residuales existentes.

Las siguientes tecnologías pueden ser utilizadas para el tratamiento de las aguas residuales domésticas (aguas grises y aguas negras), y algunos de ellos también se utilizan para tratar el efluente de aguas pluviales antes de su utilización para uso no potable. Las tecnologías de tratamiento *in situ* de aguas se pueden clasificar según la naturaleza del tratamiento. Así se dividen los tratamientos *in situ* en tratamientos físicos, tratamientos químicos, tratamientos biológicos y tratamientos de desinfección. En el ANEXO E se hace referencia a un estudio comparativo de diferentes tratamientos de aguas grises, elaborado por Li et al. (2009).

7.2.1. Tratamientos físicos

Los procesos físicos consiguen una substancial clarificación del agua, y además reducen la carga orgánica. Sin embargo, los procesos físicos no son suficientes para garantizar la reducción de materia orgánica, nutrientes, surfactantes y tensioactivos que puede presentar el agua residual doméstica. Por ello, los procesos físicos, por sí solos, no son recomendados para el tratamiento de las aguas grises y negras. Sin embargo, los procesos físicos como el filtro de arena o las membranas de filtración se pueden usar como postratamientos para propósitos de mejora del aspecto del agua.

El filtro de arena típico es una caja forrada de hormigón o de cloruro de polivinilo, llena de material arenoso. Estos filtros atrapan y absorben los contaminantes del agua residual cuando la hacemos pasar a través de ellos. Reducen también el número de microorganismos patógenos causantes de enfermedad que pueden estar presentes en el agua, pero no los elimina (es decir, no desinfectan).

El filtro de arena purifica el agua de tres formas. En primer lugar, las partículas se separan físicamente de las aguas que entran en el filtro por medio de la filtración. En la absorción química, los contaminantes se pegan a la superficie de la arena y al crecimiento biológico en la superficie de la arena. Y en la asimilación, los microbios aeróbicos consumen los



nutrientes de las aguas. En la Fig. 7.2 se puede ver una aplicación *in situ* con filtro de arena y desinfección UV, que recicla las aguas grises para el llenado de la cisterna del lavabo.

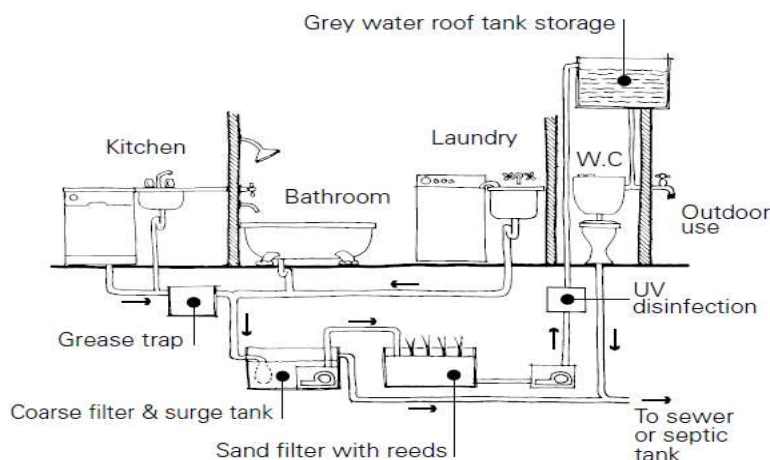


Fig. 7.2. Sistema de reciclaje de aguas grises con filtro de arena en una vivienda
[<http://www.yourhome.gov.au>, 13 de mayo de 2010]

Otro proceso físico empleado es la filtración por membranas. Las membranas usadas para la microfiltración tienen un tamaño de poro de $0,1 - 10 \mu\text{m}$. Estas membranas de microfiltración retienen todas las bacterias del efluente. Para la eliminación completa de los virus, se requiere la ultrafiltración. Los poros de las membranas de ultrafiltración pueden retirar de los fluidos partículas de $0,001 - 0,1 \mu\text{m}$. En la ultrafiltración, el efluente es conducido al sistema por baja presión, donde membranas especiales de alta resistencia lo reciben para liberarlo de materiales de alto peso molecular y sólidos suspendidos. La ultrafiltración mediante membranas presenta una reducción muy importante de la DBO del agua, del orden del 98% [Li, Wichmann, Otterpohl, 2009], así como de la cantidad de nutriente fósforo y nitrógeno, aunque proporciona una limitada reducción de los orgánicos disueltos. El aspecto del agua es excelente, libre de sólidos en suspensión, con un bajo grado de turbidez, y sin rastros de coliformes. Sin embargo, el gasto de energía y el ensuciamiento de la membrana son factores clave que limitan su uso por falta de viabilidad económica en muchos casos.

Por otro lado, los procesos de micro y ultrafiltración por membranas no son suficientes, por sí solos, para asegurar la calidad del agua que cumpla con los requisitos de salubridad para la reutilización del agua, ya que los residuos orgánicos restantes pueden provocar la proliferación de los patógenos en los sistemas de transporte y almacenamiento, así como limitar el efecto químico de la desinfección.



7.2.2. Los tratamientos químicos

En comparación con los procesos físicos, los procesos químicos ofrecen resultados más satisfactorios en cuanto a reducción de materia orgánica y turbidez del agua, pero todavía no es suficiente como para hacer un uso sin restricción del flujo de agua resultante. Procesos como la electrocoagulación seguida de una etapa de filtración y desinfección son suficientes para llegar a una calidad admisible para usos como la descarga de los inodoros, si el flujo de entrada no está excesivamente contaminado.

La electrocoagulación consiste en añadir a las aguas iones metálicos coagulantes mediante el uso de electrodos. Estos iones coagulan los contaminantes que hay en el agua, de modo similar a los coagulantes químicos como el alumbre o el cloruro férrico, permitiendo que los precipitados sean más fácilmente eliminados mediante sedimentación. Los procesos químicos pueden eliminar eficientemente los sólidos en suspensión, la materia orgánica y los surfactantes en flujos de aguas grises poco contaminados. Por lo tanto, no son adecuados para tratar aguas negras. En general, los procesos químicos son muy poco usuales en los sistemas satélite de tratamiento de aguas *in situ*.

7.2.3. Los tratamientos biológicos

El tratamiento biológico es la pieza central de los tratamientos de aguas residuales domésticas (aguas grises y aguas negras). Los procesos aeróbicos biológicos son capaces de conseguir una gran mejora de la turbidez y de la materia orgánica. La pobre eliminación de la materia orgánica y surfactantes hacen que los procesos anaeróbicos no sean adecuados para el tratamiento de las aguas grises, aunque se contaría con la ventaja de producir biogás. Después del proceso aeróbico, la mayoría de las sustancias orgánicas biodegradables son eliminadas y, consecuentemente, la proliferación de los microorganismos y los problemas de olor son evitados, haciendo el efluente más apto para poder ser almacenado por periodos más largos de tiempo. Sin embargo, se obtiene una escasa eliminación de microorganismos, sólidos en suspensión y turbidez, por lo que se requiere una etapa final de filtración y desinfección para conseguir una calidad que permite el uso urbano del agua tratada.

Los tratamientos biológicos suelen venir precedidos de una etapa física previa, como el uso de un tanque de sedimentación o una fosa séptica, para que se depositen los sólidos y se eliminen aceites y grasas. Los tratamientos más extendidos para plantas de tratamiento satélite son el Rotating Biological Contactor (RBC), el Sequencing Batch Reactor (SBR), y el Membrane Bioreactor (MBR).



7.2.3.1. Rotating Biological Contactor (RBC)

El RBC consiste en una serie de grandes discos paralelos, llamados biodiscos (Fig. 7.3), constituidos de poliestireno rígido atóxico, que rotan en torno un eje común, de manera que medio disco está sumergido en el líquido, mientras que el otro está expuesto al aire y se oxigena. Los discos se mueven muy lentamente (entre 1 y 2 min^{-1}) a través de las aguas residuales.

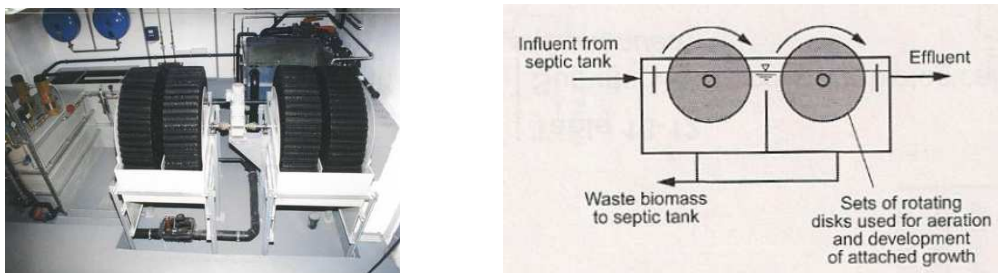


Fig. 7.3. Rotating Biological Contactor [Asano et al., 2007]

En unos 10 o 12 días, los microorganismos forman una flora bacteriana en la superficie de los discos. La comunidad de microorganismos absorbe directamente la mayor cantidad de materia orgánica durante la fase de inmersión en el agua residual, y el oxígeno necesario durante la fase de emersión. La capa de flora bacteriana que se adhiere a las placas, al alcanzar un espesor de unos 4 o 5 mm, se despega del biodisco en forma de copos fácilmente sedimentables.

Sus ventajas son la sencillez de gestión y mantenimiento, que sólo incluye tareas de limpieza periódica del depósito y los biodiscos, y de mantenimiento del motor. Por otro lado, el consumo de energía es muy bajo, y la eficiencia del tratamiento biológico es muy alta. Su inconveniente es que el tamaño y la compacidad del sistema lo hacen menos apto que el MBR y el SBR para alojarse en espacios reducidos. Esto representa una clara ventaja para los otros dos sistemas en las aplicaciones de plantas satélite de reciclaje *in situ* de aguas residuales domésticas. Sin embargo, el RBC también es una opción muy extendida, cuya eficacia ha sido constatada a lo largo de los años.

7.2.3.2. Sequencing Batch Reactor (SBR)

El SBR (Fig. 7.4) es una variación del proceso de lodos activados que minimiza requerimientos de espacio al realizar diversas etapas del tratamiento en un mismo depósito. En el SBR el agua residual es almacenada en un depósito pulmón, o en la cámara de aireación hasta que un volumen suficiente (*batch*) es recolectado, momento en el que el proceso empieza. El *batch* de agua residual es tratado por los microorganismos aeróbicos (lodos activados) y aireado durante el periodo de tratamiento. Después de que la reacción se complete, se detiene la aireación y la agitación, con lo que las bacterias floculadas y otras



partículas sólidas sedimentan. El estrato depurado se descarga de la cámara, y entra el siguiente *batch* de agua residual. El llenado, reacción, descarga es un ciclo que se repite continuamente.

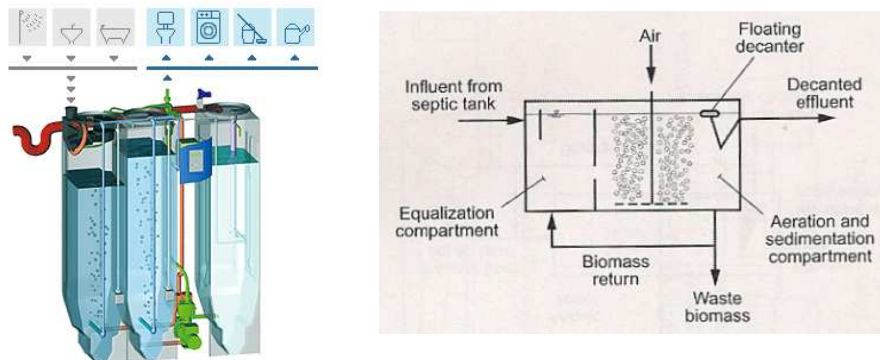


Fig. 7.4. Sequencing Batch Reactor

[Asano et al., 2007; <http://www.soliclima.com/>, 7 de marzo de 2010]

La principal ventaja es la compacidad del sistema, que permite hacer el tratamiento primario, el tratamiento biológico, y el tratamiento de desinfección, en un mismo tanque. Esto lo hace una opción compacta e idónea para un gran número de aplicaciones en plantas satélite de tratamiento. Sus inconvenientes son que requieren válvulas adicionales, bombas, y controles adicionales comparados con otros sistemas. El tiempo de residencia hidráulico es de unas 8 – 14h para la depuración de las aguas.

7.2.3.3. Membrane Bioreactor (MBR)

El MBR combina el tratamiento biológico con un sistema de membranas (en el rango de la ultrafiltración), para reducir la cantidad de materia orgánica del agua y eliminar los sólidos en suspensión. Las membranas sustituyen la sedimentación y la filtración, para separar la biomasa del agua tratada. Combinando el reactor biológico con un sistema de filtración por membranas, se reducen los requerimientos de espacio y se reducen los costes de tratamiento.

El MBR se considera como una tecnología innovadora en el ámbito del tratamiento de aguas grises debido a la estabilidad del proceso y su eficacia para eliminar patógenos. Los MBR están empezando a ser considerados como una alternativa muy atractiva para los edificios urbanos de viviendas. El agua tratada por la membrana tiene muy poca turbidez. Los sistemas de membrana consumen más energía, ya que suelen trabajar a presiones que superan los 2,0 bar [Al-Jayyousi, 2003].

Los MBR son particularmente adecuados para las aplicaciones satélite por su compacidad y su capacidad para ubicarse en espacios pequeños. Las ventajas del MBR son que las instalaciones ocupan menos espacio, se obtiene un efluente de agua de mucha calidad, se



reduce la producción de lodos y es un sistema de fácil manejo. Sin embargo, presentan problemas en el mantenimiento y la limpieza de las membranas. El ensuciamiento de la membrana incrementa además su resistencia hidráulica, con la demanda extra de energía por parte del sistema que eso conlleva. El pretratamiento siempre es requerido para prevenir la colmatación de los poros de la membrana. Otro inconveniente del MBR es su elevado precio, que lo hace económicamente inviable para pequeñas comunidades de vecinos.

La Fig. 7.5 muestra un diagrama de flujo con el típico proceso de tratamiento *in situ* de aguas residuales domésticas en un sistema satélite, usando la tecnología MBR. Se observa un pretratamiento de filtración, y un postratamiento de desinfección UV.

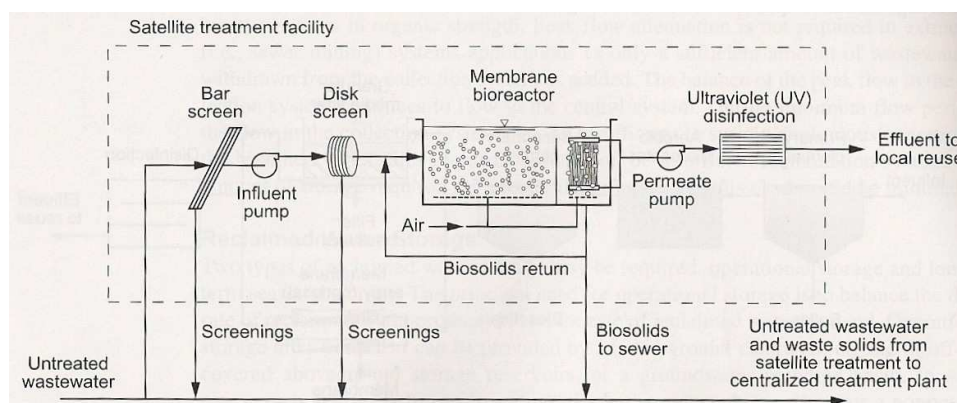


Fig. 7.5. Planta satélite basada en la tecnología MBR [Asano et al., 2007]

7.2.4. Los tratamientos de desinfección

El agua tiene una serie de enfermedades asociadas a patógenos que puede contener, incluyendo bacterias, protozoos y virus (ver ANEXO D). Si las aguas no han sido desinfectadas antes de ser almacenadas, y se ha reducido de esta forma el crecimiento patógeno, durante el almacenamiento el número de patógenos crecerá significativamente. Esta situación puede ser inhibida por el uso de un tanque sellado de color oscuro, que previene que la luz natural y el oxígeno lleguen a entrar en contacto con las aguas. El oxígeno y la luz natural promueven el crecimiento de microorganismos aeróbicos y de organismos fotosintéticos como algas que crecen y se reproducen.

Si la desinfección no tiene lugar antes del almacenamiento, también hay riesgo de crear un estado anaeróbico en las aguas y, de ese modo, se incrementan los niveles de contaminación. Sin embargo, si hay un constante movimiento de flujo de agua (aprovisionamiento y descarga) esto podría ser evitado.

En cualquier caso, si las aguas tratadas van a ser usadas para llenar la cisterna del retrete, o bien para el lavadero, se requiere un sistema de desinfección sobredimensionado, ya que el número de patógenos aumentaría muy significativamente durante el almacenamiento.



La desinfección se puede conseguir mediante el uso de cloro, el ozono, o la luz ultravioleta. La forma más común, y a la vez el método más simple, para la desinfección es la cloración, usualmente obtenida por el uso del hipoclorito de sodio, en unas pastillas parecidas a las que se usan para desinfectar el agua de las piscinas. El ozono es otro método de desinfección química, típicamente generado *in situ* usando un dispositivo que aplica una diferencia de potencial de alto voltaje en el aire, y de ésta forma se disuelve el aire ozonizado a través del agua tratada. Finalmente, la desinfección usando luz UV está consiguiendo una popularidad creciente, y no necesita de sustancias químicas. En el ANEXO E se amplía la información acerca de cada uno de los tratamientos de desinfección.

7.3. Casos de estudio

Los sistemas satélite pueden tratar las aguas grises para su posterior reutilización, pero también pueden combinar la reutilización de aguas grises con la recogida de aguas de lluvia para complementar los usos de agua de servicio. En otros casos, el agua regenerada no sólo estará compuesta por las aguas grises, sino que también procederá de los váteres, lavavajillas y bidets (aguas negras). Existe una gran variedad de opciones de diseño para las plantas satélite. En este apartado se repasan algunos casos de estudio de plantas satélites reales, que pueden servir de referencia para el sistema satélite de reciclaje de aguas grises y recuperación de aguas pluviales que se instalará en el edificio AINOS.

El primer caso de estudio es el estudio descrito por el Departamento de Química de la Universidad de Islas Baleares, *Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel*, acerca de la instalación de un sistema combinado para un hotel en Mallorca. El aparthotel tiene 83 habitaciones (63 de ellas con cocina), distribuidas en 9 plantas. El sistema de reciclaje de aguas grises para la descarga del inodoro se basa en filtración, sedimentación y desinfección mediante el uso de hipoclorito de sodio como agente desinfectante. Con la instalación del sistema se ahorraron 5,2 m³/día que fueron reusados, lo que representaba un 23% del consumo total de agua del hotel. La dosis de hipoclorito fue de 75 mg/l de cloro, con un tiempo de residencia inferior a 48 h. Bajo estas condiciones, la concentración de cloro residual en el agua de la cisterna de los inodoros fue de 1 mg/l, y no se encontraron bacterias coliformes [March, Gual, Orozco, 2004].

Las aguas grises se recogieron de las bañeras y del lavamanos. El tratamiento consiste en una etapa de filtración mediante un filtro de nylon tipo calcetín (0,3 mm de malla y 1 m² de superficie de filtración), una etapa de sedimentación, y la desinfección mediante hipoclorito de sodio. El agua tratada se almacena en un depósito (4,5 m³) a nivel del suelo, y desde ahí se eleva a un depósito que está en la terraza del edificio mediante una bomba. Este depósito está interconectado a otros 6 depósitos (volumen total de los depósitos de la terraza 4 m³), y puede ser alimentado por agua potable en caso de que fuera necesario.



Desde estos depósitos se lleva el agua a la cisterna de los inodoros de las habitaciones mediante gravedad. El consumo promedio por descarga es de 6 L.

Los usuarios del hotel del estudio tenían un consumo de agua de 146 L/p-d, de los cuales 36 L eran usados en la descarga del inodoro, lo que representa una disminución en el consumo de agua del orden del 23%. Estos valores incluyen la renovación de agua de la piscina del hotel que es de unos 1,25 m³/d. El consumo total promedio de descarga de los inodoros era de 5,2 m³/d. El tiempo de residencia calculado fue de 38 h, que está por debajo de las 48 h máximas que puede estar almacenada el agua desinfectada por hipoclorito de sodio para asegurar su desinfección. Por ello, las cisternas de retretes de habitaciones que no estaban ocupadas eran descargadas al menos una vez al día.

En cuanto a la inversión inicial del proyecto se calcularon 17.000 €, 12.000 € de los cuales eran la instalación de fontanería. El período de retorno se calculó en 14 años, con unos ahorros de agua de 1,09 €/m³. Los costes de mantenimiento se separan en 0,33 €/m³ de energía y sustancias químicas, y 0,42 €/m³ de mano de obra (revisiones).

Fiedler y Hadari (2006) estudian la factibilidad económica de dos sistemas de tratamiento de aguas grises en edificios urbanos, en su artículo *Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings*, para la revista *Desalination*. El sistema se basa en la recolección de las aguas grises de cada vivienda, para ser tratadas de forma conjunta. Posteriormente, el agua tratada es bombeada hacia un tanque de almacenamiento que se sitúa en la terraza del edificio. Desde ahí, el agua se descarga por gravedad a las cisternas de los WC de cada piso (Fig. 7.6).

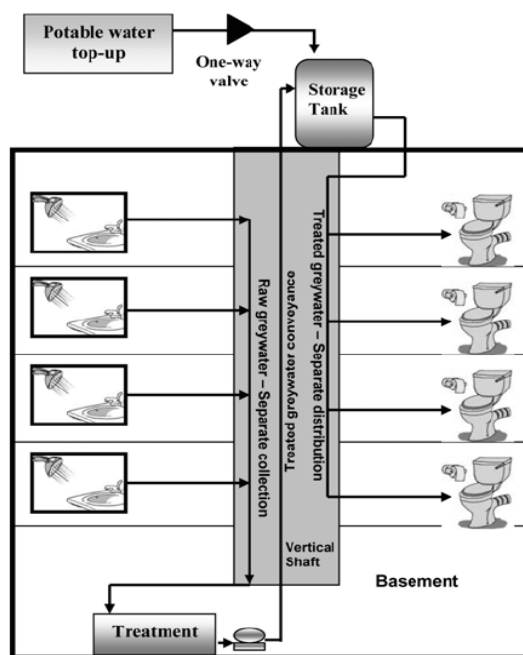


Fig. 7.6. Esquema conceptual de la instalación de aguas grises [Friedler, Hadari, 2006]



Las cañerías laterales recogen las aguas grises del baño, la ducha y el lavamanos, y la centralizan en un colector vertical. En los edificios residenciales el baño y los WC suelen estar situados cerca de los colectores con tal de reducir costes.

Cualquier escasez de agua tratada que se dé en el tanque de almacenamiento es suplida por agua potable del suministro, mediante una válvula antirretorno. Por otra parte, cualquier exceso es descargado al colector de aguas negras del edificio, que va directamente a la alcantarilla. Los sistemas de tratamiento estudiados por Friedler y Hadari, fueron uno basado en la tecnología RBC, y otro basado en la tecnología MBR. En la Fig. 7.7 se puede ver una explicación esquemática del sistema para ambos casos.

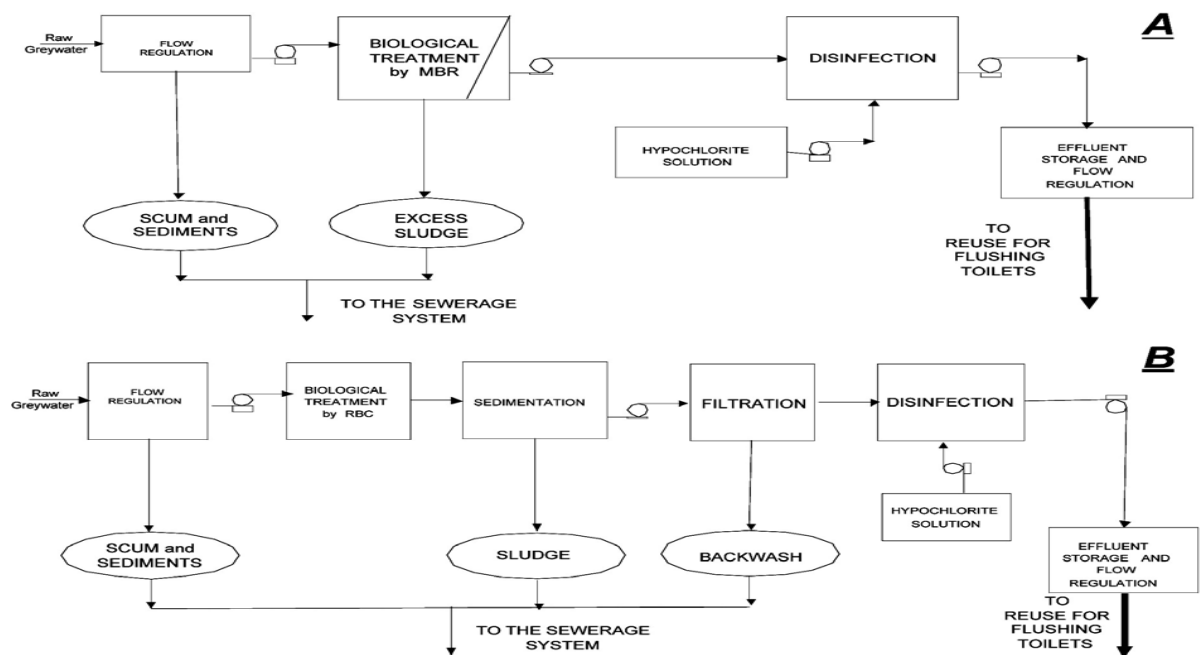


Fig. 7.7. Esquema de los sistemas de tratamiento RBC y MBR [Friedler, Hadari, 2006]

A pesar de que muchas entidades y organizaciones, así como publicaciones científicas, no recomiendan el uso *indoor* de las aguas negras, incluso después de tratamiento y desinfección, lo cierto es que hay numerosas empresas que comercializan dispositivos para el uso de las aguas negras tratadas en el interior de la vivienda (empresas como REMOSA, EQUARIS o TOTAGUA). Sin embargo, los usos más extendidos de las aguas negras tratadas son los que se dan fuera de la vivienda, como pueden ser el lavado del coche o el riego del jardín.

Encontramos un ejemplo de esta tendencia a reciclar íntegramente el agua residual de un edificio en el Solaire Building, en Nueva York. El Solaire es un edificio que contiene 293 apartamentos de alquiler, ubicado en el Battery Park City en el sudoeste de Manhattan. El edificio fue diseñado para ahorrar un 50% de agua potable con respecto a un edificio de su misma escala.



Se puede ver en la Fig. 7.8 un diagrama de flujo del proceso. Los elementos son un depósito aireado de entrada, una primera etapa para la eliminación de partículas de gran tamaño (*trash trap*), un MBR de tres etapas (depósito anóxico, digestión aeróbica, membranas de ultrafiltración), desinfección con ozono y luz ultravioleta, y tanque de almacenamiento del agua tratada. Los usos del agua tratada son la torre de refrigeración y la descarga de los inodoros y urinarios.

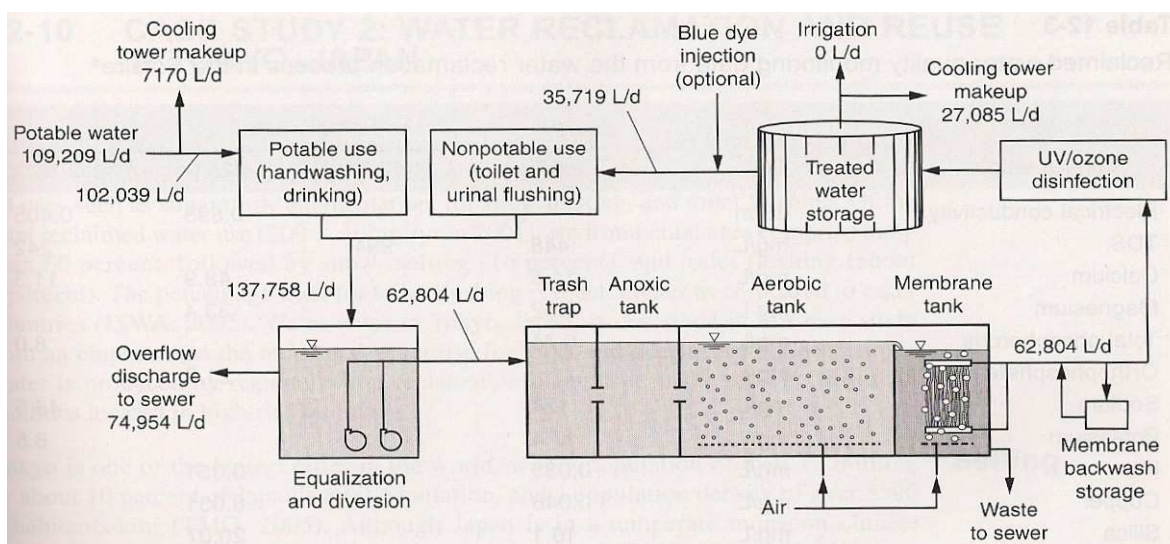


Fig. 7.8. Diagrama de flujo del sistema satélite del Solaire Building, Nueva York [Asano et al., 2007]

Otros sistemas aprovechan las aguas pluviales para usos como irrigación o relleno de las cisternas del inodoro, sin mezclar éstas con aguas residuales domésticas. Es el caso del estudio realizado en Berlín por Erwin Nolde (2006), para un sistema de recogida de aguas pluviales que abastecía 80 apartamentos (un total de unos 200 habitantes), con agua para el riego del jardín y usos no potables. En su estudio se afirma que con un simple tratamiento similar al que reciben las aguas residuales domésticas (tratamiento biológico y desinfección UV), se puede reaprovechar el agua de lluvia recogida de superficies transitadas (y por tanto más contaminadas), sin riesgo higiénico ni pérdida de confort por parte del usuario [Nolde, 2006].

El primer flujo de agua que se produce al principio de una tormenta, es el que contiene una mayor carga de contaminantes. La principal causa es la acumulación de contaminantes y suciedad en los tejados y terrazas, producida por la deposición atmosférica durante los periodos de sequía. Por ello es a veces recomendable instalar un dispositivo para desviar este primer flujo fuera del sistema de colección. Eliminar el primer flujo de aguas pluviales recogidas puede ser una buena medida para mejorar la calidad del agua almacenada en el depósito (Fig. 7.9).



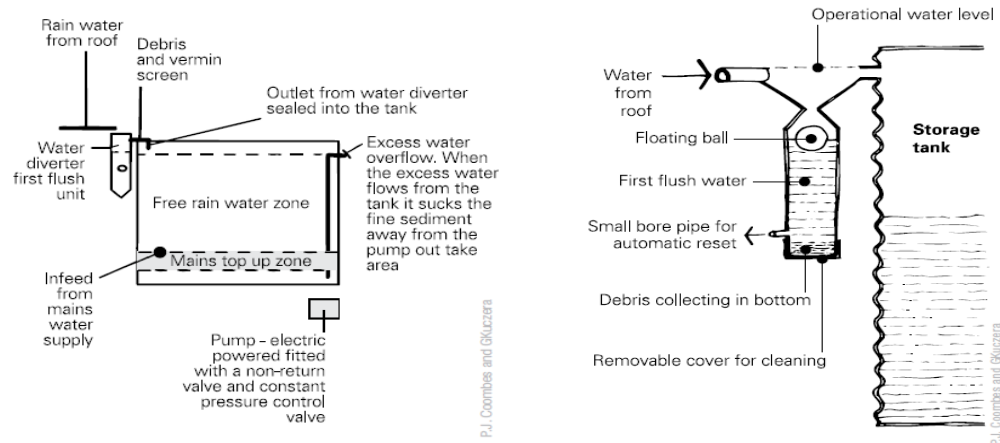


Fig. 7.9. Sistema de desviación del primer flujo de agua
[http://www.yourhome.gov.au/, 13 de mayo de 2010]

La mezcla de aguas grises con agua de lluvia es una práctica viable, pero el agua de lluvia es en general de una alta calidad (DQO < 200 mg/l), y la naturaleza estocástica de las lluvias implica la necesidad de una gran capacidad de almacenaje. En cambio, las aguas grises tienen una carga mucho más alta de contaminantes, pero como ventaja tienen un patrón de producción mucho más regular, por lo que son mucho más sencillas de reutilizar. Un ejemplo de sistema combinado de aguas grises y pluviales lo encontramos en el Inkerman D'LUX Development. Consiste en un bloque de 236 apartamentos que se construyó en Inkerman Street (Melbourne). Se instaló un sistema de reciclaje de aguas grises combinado con recogida de aguas pluviales para reutilizarla en la descarga del inodoro y para el riego del jardín. En la Fig. 7.10 se puede observar una explicación esquemática de la instalación.

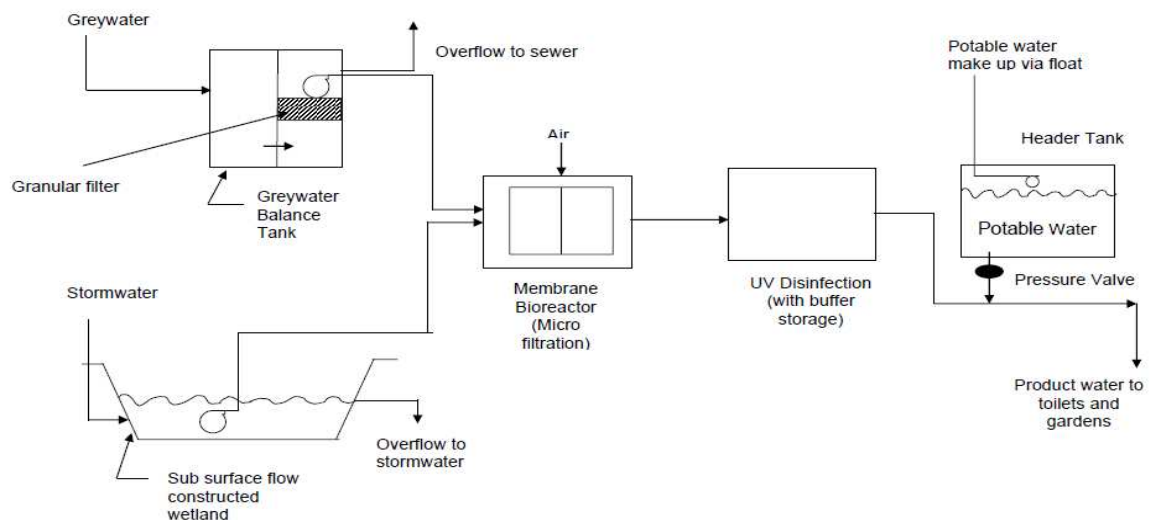


Fig. 7.10. Esquema de la instalación en el Inkerman D'LUX Development [Goddard, 2006]



El sistema se probó cuando sólo se habían construido 107 apartamentos. El sistema de reciclaje de aguas grises instalado recoge las aguas de 100 apartamentos y las almacena en un tanque con derivación hacia el alcantarillado, donde los lodos se depositan en el fondo. Dentro hay un filtro granular para atrapar las pelusas. Tanto el agua de lluvia como las aguas grises, tras este primer tratamiento, se bombean a un bioreactor de membrana, equipado con membranas KUBOTA (empresa COPA MBR TECHNOLOGY) con una anchura nominal de poro de 0,4 μ . Una vez tratada en el bioreactor, el agua se desinfecta mediante una lámpara UV y se almacena en un depósito, que también podrá ser alimentado por agua potable. De este depósito se aprovecha el agua para la descarga del inodoro y el riego del jardín.



8. El *dry toilet* o váter seco

8.1. Concepto del *dry toilet*

El concepto de sanitario seco se basa en la idea de que la mejor manera de depurar el agua es no contaminándola desde un principio. Un váter seco (Fig. 8.1) es un váter que no utiliza agua para la evacuación de orina y excrementos y, por lo tanto, no se conecta a la red de aguas residuales. Usar agua potable como vehículo de transporte para los excrementos humanos, acarrea numerosos problemas como el tener que mantener grandes instalaciones de tuberías y colectores, generación de malos olores, o coste de mantenimiento de las instalaciones depuradoras. La utilización de este tipo de sanitarios tiene como finalidad manejar los excrementos humanos para su disposición final como fertilizantes de jardines o huertos. De este modo se puede, además, ahorrar una gran cantidad de agua, dinero y energía.



Fig. 8.1. Sanitario seco [http://www.composttoilet.eu, 5 de enero de 2010]

El principal factor en contra de esta tecnología radica en que la mayoría de la gente no conoce este método, y puede dar la sensación que es poco higiénico. Es muy común tener la imagen de que saneamiento sin agua es sinónimo de país subdesarrollado. Sin embargo, esta creencia no es cierta, ya que este tipo de sanitarios pueden ser desde un agujero en la tierra, hasta sofisticados váteres comercializados desde hace años en muchos países del mundo.

Para comprender el gran ahorro de agua y energía que puede suponer este tipo de váteres se debe pensar en las grandes dificultades que supone tener que volver a depurar esa agua. Tirar de la cisterna es cómodo y efectivo, pero trae el problema de mezclar agua limpia con residuos, que luego deberán de volver a ser separados en una estación depuradora antes de ser arrojados al mar o a un río. La base del váter seco es separar en el origen, para que de esta manera no se tenga que volver a depurar el agua, sea en una planta de tratamiento centralizada o de tipo satélite, como las que se han visto anteriormente.



8.2. Funcionamiento del *dry toilet*

Se explica el funcionamiento del váter seco de compostaje clásico (Fig. 8.2), que es aquel que necesita de obra para su instalación, y se suele instalar en viviendas aisladas. Las heces van a parar a una cámara de compostaje, situada directamente bajo el váter. Es habitual que los *dry toilet* cuenten con dos cámaras de compostaje, como mínimo. Cuando una está llena, se hace a un lado para que continúe el proceso de compostaje, y se pone la segunda cámara bajo el váter para seguir recolectando los residuos. Cuando es el momento de cambiar las dos cámaras de nuevo, el contenido de la primera cámara debe estar preparado. Entonces se debe recoger el abono resultante, y se usa en el jardín o bien se entierra, y de esta manera la cámara queda vacía y puede volver a ser utilizada.

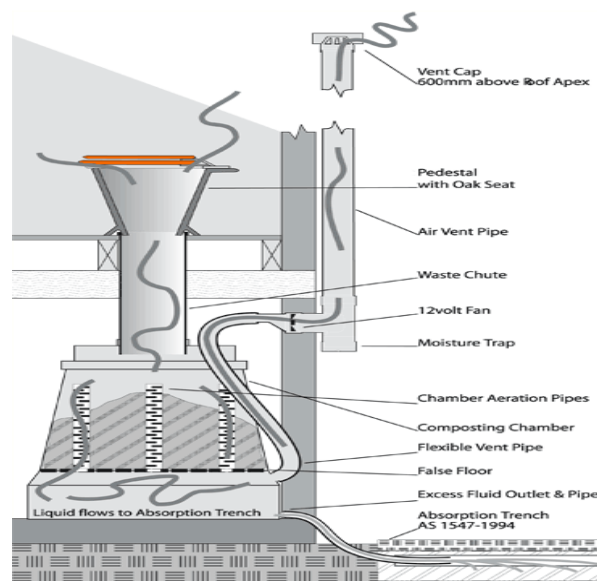


Fig. 8.2. Funcionamiento del Váter Seco

[<http://www.nature-loo.com.au/>, 7 de abril de 2010]

Suelen contar con un ventilador, que asegura que el flujo de aire vaya hacia abajo a través del pedestal cerámico que conecta el váter con la cámara de compostaje. De esta manera el olor nunca entra al cuarto de baño. Además, la cara interna del pedestal está hecha de un material distinto al del váter convencional, que hace resbalar la suciedad hacia la cámara, y la corriente de aire ayudará a cumplir esta función.

El 90% de los excrementos es agua, por lo que el 10% restante se convierte en abono orgánico limpio y seco. En el interior de la cámara se produce una descomposición aeróbica. Los principales productos resultantes serán el dióxido de carbono y el vapor de agua, en contraste con la descomposición anaeróbica que se da en las fosas sépticas, que generan productos muy olorosos, como el sulfuro de hidrógeno, o muy inflamables, como el metano.



Éste es el porqué mucha gente piensa, equivocadamente, que este tipo de tratamiento de la excreta humana es oloroso y sucio.

El buen compostaje se consigue asegurando correctos niveles de humedad, oxígeno y temperatura. Todos los váteres secos deberían contar con un sistema de drenaje para remover el exceso de líquidos de los sólidos, y proporcionar la cantidad adecuada de oxígeno. El contenido de humedad en la pila de compostaje es muy importante. Por debajo del 40% la materia orgánica tiende a resecarse y a no descomponerse rápidamente. Por encima del 60% no hay suficiente aire, y el proceso se podría convertir en una descomposición anaeróbica. El contenido ideal de oxígeno está en torno a un 50%.

La mayor causa de olor en los baños secos se debe a la orina. La separación del residuo líquido y el residuo sólido por su desplazamiento a través de un suelo perforado dentro de la cámara reduce el contenido de humedad y previene la descomposición anaeróbica. En las unidades compactas, como se estudia en el siguiente apartado, se usa un calefactor y un ventilador para evaporar el exceso de líquido.

El uso de una sustancia seca es habitual para absorber los líquidos. También funciona como un recubrimiento para evitar atraer a moscas y otros insectos. Existen diferentes tipos de sustancia seca en el mercado, y además pueden ser mezcladas con otros productos, por ejemplo: hojas, serrín, pajitas rastrilladas de los jardines. Se deposita la mezcla en el fondo del contenedor para proporcionar suficiente aire, para empezar el proceso de fermentación y para evitar los problemas de olores.

Mantener el váter limpio y fresco es sencillo. Frecuentemente, se debe fregar la taza con un cepillo del baño, tal y cómo se suele hacer con los váteres convencionales de descarga. Al hacerlo se usa un detergente biodegradable diluido, dejándolo unos instantes para que haga efecto. También se venden encimas que aceleran el proceso de descomposición, y producen buen olor. Si hay problemas de moscas, o insectos, se pueden utilizar insecticidas como el pyretrine, que también favorece al proceso de compostaje.

8.3. Clasificación del *dry toilet*

Váter seco es, en realidad, un nombre genérico que se le da a una serie de váteres que tienen dos características en común: funcionan sin agua y no se conectan a la red de saneamiento. Sin embargo, existen una gran cantidad de modelos, que van desde váteres que tienen partes dentro de la casa y partes fuera (por lo que necesitan obras para su instalación), hasta otros modelos compactos que se compran listos para su funcionamiento sin ser necesaria ninguna instalación adicional.



8.3.1. Modelos comerciales

8.3.1.1. El *dry toilet* de compostaje clásico

Es un modelo de váter seco en el que la materia orgánica fermenta en un contenedor y el producto final obtenido se puede utilizar como abono. Los contenedores son grandes, así que se deben tener varios para usar. En cuanto uno se llena, se cambia por otro vacío. Mientras el nuevo contenedor se llena con el uso del váter, se seguirá realizando el proceso de compostaje de la materia orgánica en el interior del que ya estaba lleno. Generalmente, la orina se separa para ser utilizada como fertilizante. Su instalación requiere obra.

8.3.1.2. El *dry toilet* eléctrico

Necesitan energía eléctrica para tratar el excremento. Son unidades compactas, que completan el proceso de compostaje *in situ*. Una vez finalizado, el humus se recoge de la bandeja en la base de la unidad. Ocupan poco espacio, y se instalan directamente sobre el suelo. Uno de los inconvenientes es que, normalmente, los baños eléctricos necesitan más mantenimiento. Los váteres eléctricos pueden hacer fermentar, empaquetar o congelar los residuos. Los primeros secan los residuos mediante el uso de calefacción eléctrica. Los váteres secos que empaquetan tienen un sistema para que las heces vayan directas a una bolsa, que puede ser de material biodegradable, y de este modo se puede compostar el excremento si se depositan las bolsas en un compostero. Cuando se congelan los excrementos (temperaturas del orden de -15°C), se vacía el material helado a un depósito para su compostaje.

8.3.1.3. El *dry toilet* químico

Son pequeños en dimensiones y, normalmente, se utilizan en casos especiales o de uso temporal. Se pueden usar en barcos, trenes, autobuses, y otros medios de transporte de largo recorrido. Los productos químicos se añaden al contenedor para deshacer las heces y el papel, a la vez que eliminan los coliformes fecales. Los residuos no se fermentarán, y deben depositarse en un lugar adecuado a este propósito.

8.3.2. El *dry toilet* casero

Son las conocidas letrinas. Consiste en cavar un agujero, y el excremento se deposita directamente. Este método produce malos olores, y es potencialmente dañino para las aguas subterráneas. Sin embargo, es posible construir váteres secos caseros que sean higiénicos, separando la orina y usando una ventilación adecuada. Este tipo de lavabos únicamente pueden construirse en viviendas aisladas.



8.4. La separación de orina

La orina es un aditivo bueno para un compost de jardín, ya que tiene mucho nitrógeno, y al añadirla acelera la actividad del compost. En la orina hay muchas más las sustancias nutritivas que en el excremento. Posee oligoelementos y es una sustancia nutritiva perfecta para las plantas. Además, la orina es casi aséptica. Por eso es posible utilizarla sin ningún el tratamiento especial.

Hay modelos de váteres, tanto secos como convencionales, que separan la orina desde el inodoro, almacenándola en un recipiente y evitando de este modo su contacto con el excremento (Fig. 8.3). En estos váteres la orina se descarga separadamente a través del orificio delantero, mientras que las heces fecales lo hacen por el orificio posterior. Separar la orina es muy importante, ya que es aséptica, puede ser usada como fertilizante y, al ser separada, facilita el proceso de deshidratación del resto de materia orgánica si se usa *dry toilet*.



Fig. 8.3. Váter con sistema de separación de orina
[<http://www.nature-loo.com.au/>, 7 de abril de 2010]

Como posibles inconvenientes que plantea este sistema, se tiene, en primer lugar, la posibilidad de que las heces de un niño pudieran caer en el orificio delantero de la taza. Esto implicaría remover las heces manualmente, lo que es desagradable para el usuario y antihigiénico. Otro problema es el uso de este sistema en un váter de descarga convencional. El agua de la descarga puede diluir la orina, lo que dificultaría su almacenamiento, requiriendo más espacio en el depósito.





9. Discusión de alternativas y elección del sistema

En este apartado del proyecto se discuten y eligen los diferentes sistemas que se instalan en el edificio AINOS. En primer lugar, se discuten varias alternativas propuestas para mejorar la eficiencia de agua en el edificio. En segundo lugar, se discutirá el mejor sistema para producir ACS en el edificio, minimizando el consumo energético.

9.1. Selección de alternativas de los sistemas de mejora de la eficiencia de agua

Con el objetivo de llegar a una solución óptima para el ahorro de agua en el edificio AINOS, que incremente la eficiencia en el consumo de agua, cumpla la normativa técnica y la legislación vigente, reduzca en la medida de lo posible el impacto ambiental (teniendo en cuenta factores como el ahorro energético), minimice los costes y permita el tiempo de retorno de la inversión más corto, se realiza una comparación de las alternativas que se han descrito en los apartados anteriores para la mejora de la eficiencia en el consumo de agua de los edificios.

Los factores a considerar para la elección del sistema son:

- Características químicas, físicas y biológicas del efluente de entrada (aguas grises, aguas grises junto con aguas negras, etc.). Requerimientos del efluente de salida. Características químicas, físicas y biológicas. Tipo de aplicación del agua reutilizada.
- Antecedentes. Es más seguro utilizar sistemas que cuenten con experiencia pasada en similares aplicaciones, y se haya demostrado su viabilidad técnica y efectividad.
- Requerimientos operativos y de mantenimiento. Se debe evaluar qué partes del sistema necesitarán un reemplazo frecuente, la vida útil de los componentes, los sistemas de control automático y los operarios que se necesitarán para controlar el proceso. Costes asociados al mantenimiento.
- Requerimientos energéticos. La depuración de agua tiene unos requerimientos energéticos asociados. Grupos de presión, bombas, sistemas de control y telemetría.
- Consideraciones económicas. Inversión inicial, coste de mantenimiento del sistema.
- Viabilidad de instalación en un espacio reducido. Compacidad de la solución. Tamaño de los tanques. Control del olor despedido por el proceso. Emisiones de ruido.



- Estricto cumplimiento de las Ordenanzas Municipales para el ahorro de agua en el contexto de Cataluña, normativa técnica aplicable al proyecto y legislación, en concreto el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de reutilización de las aguas depuradas. Se han usado los criterios más restrictivos de las Ordenanzas para el ahorro de agua de Sant Cugat del Vallés, y del Grupo de Trabajo Nueva Cultura del Agua, perteneciente a la Xarxa de ciutats i pobles cap a la sostenibilitat, de la Diputació de Barcelona.

A continuación se presentan cinco alternativas basadas en las tecnologías y los casos de estudio que se han visto a lo largo del proyecto. Se dan referencias de casas comerciales y, posteriormente, se discute la elección de la mejor alternativa.

9.1.1. *Dry toilet* + Reciclaje de aguas grises

La primera opción que se contempla es el uso de un *dry toilet* combinado con el reciclaje de aguas grises. Es la opción propuesta por AQUATRON, una empresa sueca que fue fundada en 1992 con el fin de explotar la patente del AQUATRON SEPARATOR (concedida en 1986). El AQUATRON (Fig. 9.1) consiste en un sistema híbrido entre váter seco de compostaje y váter de descarga convencional, que se complementa con un sistema para reciclaje de aguas grises. El sistema aprovecha la fuerza centrífuga del flujo de agua y la gravedad.

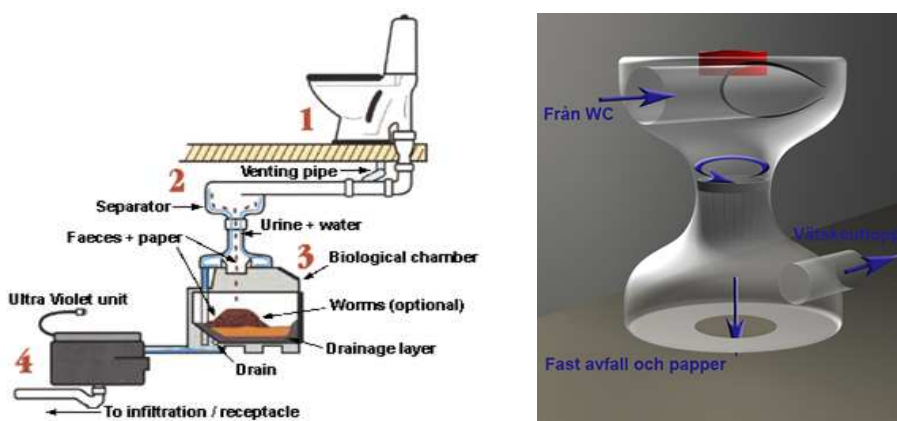


Fig. 9.1. Diseño del AQUATRON SEPARATOR [<http://www.aquatron.se/>, 13 de marzo de 2010]

Cuando se tira de la cadena, el contenido de la taza del váter es transportado hacia el AQUATRON SEPARATOR, donde aproximadamente un 98% de la fracción del líquido es separada usando el momento del flujo de agua, su fuerza centrífuga y la propia gravedad. La parte sólida irá a una cámara de compostaje. Una vez esté llena de abono, ésta se puede retirar con la ayuda de una pequeña pala.



El líquido que se ha separado se lleva a una unidad de UV donde será expuesto a luz ultravioleta, con lo que se desinfecta matando a bacterias y virus. En acuerdo con SITAC (Swedish Institute for Technical Approval in Construction) este líquido puede ser usado como aguas grises tratadas, lo cual quiere decir que puede ser reutilizada para irrigación, o bien ser almacenada en un depósito para su uso doméstico en aplicaciones que no requieran agua potable.

Sería prudente tener reservas acerca de esta patente, ya que las aguas que recicla no son grises, sino negras, y pueden estar contaminadas de coliformes fecales, altas cantidad de nutrientes y materia orgánica. No se utiliza un tratamiento primario de sedimentación o filtración, ni un SBR o MBR, que serían opciones de tratamiento adecuadas para el reciclaje de aguas negras. En España las normativas de calidad del agua reciclada son mucho más exigentes, y este sistema no sería viable dentro del marco jurídico y legislativo.

9.1.2. *Dry toilet* + Reciclaje de aguas pluviales

El uso de un *dry toilet* eléctrico junto con el reciclaje de aguas grises para usos no potables que no sean la descarga de las cisternas de los inodoros (ya que el *dry toilet* no requiere el uso de agua para evacuar las heces), es una opción que se puede contemplar en un edificio plurifamiliar de viviendas, ya que el *dry toilet* eléctrico no necesita obra, al contrario que el clásico *dry toilet* de compostaje. El agua de lluvia se podría emplear para usos como el riego del jardín o plantas de interior, lavado de ropa o limpieza.

Sin embargo, se ha decidido prescindir de la solución innovadora del *dry toilet* para el edificio AINOS de Barcelona. Si bien el váter seco ofrece un gran número de ventajas, tal y como se ha expuesto anteriormente, se descarta su uso por las siguientes razones:

- Las Ordenanzas de ahorro de agua en Cataluña que sirven de referencia para este proyecto exigen la instalación de un sistema de reciclaje de aguas grises, cuya agua regenerada tendrá la utilidad exclusiva de llenar la cisterna de los inodoros de descarga. El cambio de paradigma de sistema de saneamiento haría este artículo de la Ordenanza absurdo, ya que al no necesitar agua para evacuar los residuos no se necesitaría un sistema de reciclaje de aguas grises o, en todo caso, las aguas grises deberían servir para otros usos como lavar la ropa, o fregar el suelo, que las actuales Ordenanzas prohíben de forma explícita.
- El uso del producto de compostaje como abono, y de la orina como fertilizantes, pierde su utilidad en el contexto urbano de la ciudad de Barcelona. Se deberían diseñar sistemas de recogida y transporte de residuos que permitieran usar la excreta humana generada en la ciudad en los campos de cultivo, parques y jardines.



Esto complica la utilización del saneamiento seco en un núcleo urbano, ya que la evacuación de los residuos presenta un problema.

- En España no existe legislación, ni Norma Técnica, que regule la utilización del váter seco. Es una práctica mayoritariamente extendida en viviendas aisladas, que necesita de más años de evolución para tomarse como una alternativa normalizada.
- La mala percepción del público general frente a este tipo de saneamiento impediría el éxito comercial del proyecto. Se necesitan campañas de divulgación que ayuden a los usuarios a asimilar este cambio de paradigma en el sistema de saneamiento.

9.1.3. Reciclaje de aguas negras + aguas grises en el mismo tanque

En casos de estudio presentados anteriormente, las aguas residuales domésticas (grises y negras) son regeneradas mediante tecnología MBR para el relleno de las cisternas del lavabo y los aparatos de aire acondicionado, como sucede en el Solaire Building de Nueva York. Las aguas pluviales se pueden mezclar con las aguas residuales antes de entrar en la depuradora para obtener un volumen mayor de agua regenerada, como en el caso del Inkerman D'LUX Development de Melbourne.

Este sistema cuenta con la ventaja de no tener que hacer una red separativa para las aguas grises, y el agua regenerada puede tener un uso *indoor* como el de llenar las cisternas del inodoro. Además, el volumen de agua regenerada es mayor. En España, la empresa REMOSA comercializa el dispositivo ROXPLUS (Fig. 9.2), pensado para reciclar las aguas grises y las aguas negras en un mismo sistema de reciclaje, y dar a las aguas regeneradas el uso de riego de jardín y de llenado de las cisternas del retrete. La empresa certifica que la calidad de las aguas regeneradas cumple con el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, que establece el régimen jurídico de reutilización de las aguas depuradas.

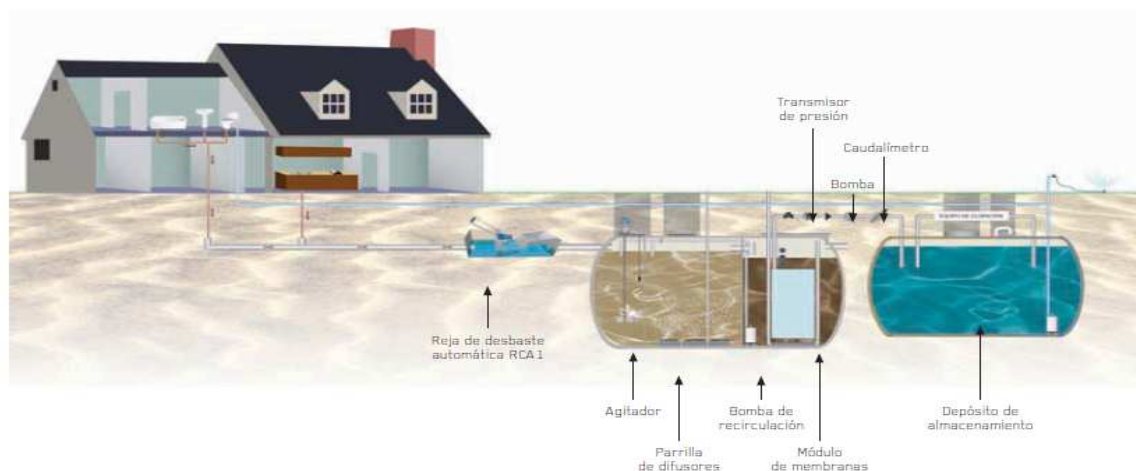


Fig. 9.2. Dispositivo ROXPLUS [<http://www.regeneraciondeaguas.com/>, 16 de enero de 2010]



Otras empresas como TOTAGUA, distribuyen sistemas como el ECOCICLE MBR, pero que da una calidad de las aguas regeneradas peor, que únicamente podría ser reutilizada con fines de riego del jardín. También cumple el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, pero el nivel de tratamiento es inferior al del ROXPLUS, y por ello la calidad de las aguas es peor y tiene un uso más restringido. En la Fig. 9.3 se muestra el uso de distintos dispositivos de la gama ECOCLICE de TOTAGUA, entre los que se puede ver el que el ECOCICLE MBR usa aguas negras y las regenera para el riego del jardín. Este dispositivo se descarta directamente, ya que es apropiado para viviendas aisladas no bloques de edificios urbanos,

MODELOS ECOCICLE	ecocicle	ecocicle plus	ecocicle MBR	
PROCEDENCIA DE LAS AGUAS (lts./hab./día)	 5 L 75 L	 75 L 5 L + L	 75 L 5 L 24 L 20 L 22 L 54 L	
REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS	 +	 +		
	 75 L	 5 L	 24 L	 20 L
	 65 L	 22 L	 + L	 + L
	Agua de la bañera	Agua del lavamanos	Agua de la lavadora	Agua del lavavajillas
	Agua del inodoro	Agua de limpieza o otros usos asimilables	Agua para riego	Agua pluvial. Volumen de agua en función de la pluviometría de la zona.

Fig. 9.3. Usos de la gama de ECOCLICE [<http://www.totagua.com/>, 23 de mayo de 2010]

La empresa estadounidense EQUARIS, propone una solución muy similar al ROXPLUS de REMOSA, con su sistema EQUARIS BMRC (Fig. 9.4), cuyas prestaciones son muy similares a las de ROXPLUS.

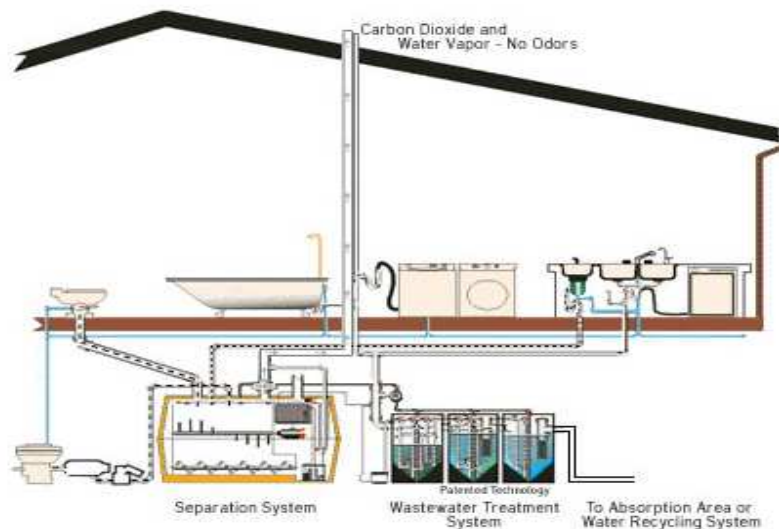


Fig. 9.4. Sistema EQUARIS BMRC [<http://www.equaris.com/>, 15 de enero de 2011]



La experiencia internacional deja un amplio margen de aplicaciones y de fuentes para las aguas regeneradas. Sin embargo, tanto la Ordenanza Municipal para el ahorro de agua de Sant Cugat del Vallés, como la *Ordenanza Tipo* de la Xarxa de ciutats i pobles cap a la sostenibilitat, máximos referentes en el ámbito de Ordenanzas Municipales para ahorro de agua en Cataluña, exigen unos usos del agua regenerada mucho más restrictivos.

Respectivamente, en el artículo 10 y 9 de cada Ordenanza (ver ANEXO C) se especifica que el sistema de reciclaje de agua grises debe estar exclusivamente destinado a reutilizar aguas de duchas y bañeras con el objetivo de llenar las cisternas de los inodoros. Se prohíbe explícitamente la captación de agua de cocinas, bidets, lavadoras, lavavajillas y cualquier tipo de aguas que puedan contener grasa, aceite, detergente, productos químicos, contaminantes, o un número elevado de agentes infecciosos y/o restos fecales. De este modo, aunque la alternativa que se presenta en este apartado se considera excelente desde el punto de vista de la mejora de eficiencia en agua, se descarta debido al incumplimiento de la normativa. También se debe pensar que un sistema que sea capaz de regenerar las aguas negras será mucho más caro que un sistema destinado a tratar únicamente aguas grises y/o pluviales.

9.1.4. Reciclaje de aguas grises + aguas pluviales en el mismo tanque

El uso de las aguas grises y las aguas pluviales en el mismo tanque es una alternativa muy atractiva y muy utilizada alrededor del mundo. Existen en España empresas que comercializan estos dispositivos, y que cumplen con el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre. Un ejemplo de ellos es el dispositivo ECOCLICLE PLUS (Fig. 9.5), desarrollado y distribuido por la empresa catalana TOTAGUA, que combina el reciclaje de aguas grises y de aguas pluviales en un mismo tanque, para uso del agua en cisternas del inodoro y riego.



Fig. 9.5. Dispositivo ECOCLICLE PLUS [<http://www.totagua.com/>, 23 de mayo de 2010]

El GEP WME-15 es otro sistema que combina el reciclaje de aguas grises con la recogida de aguas pluviales en un mismo depósito, y la usa para rellenar la cisterna del retrete, la lavadora y la limpieza (Fig. 9.6).



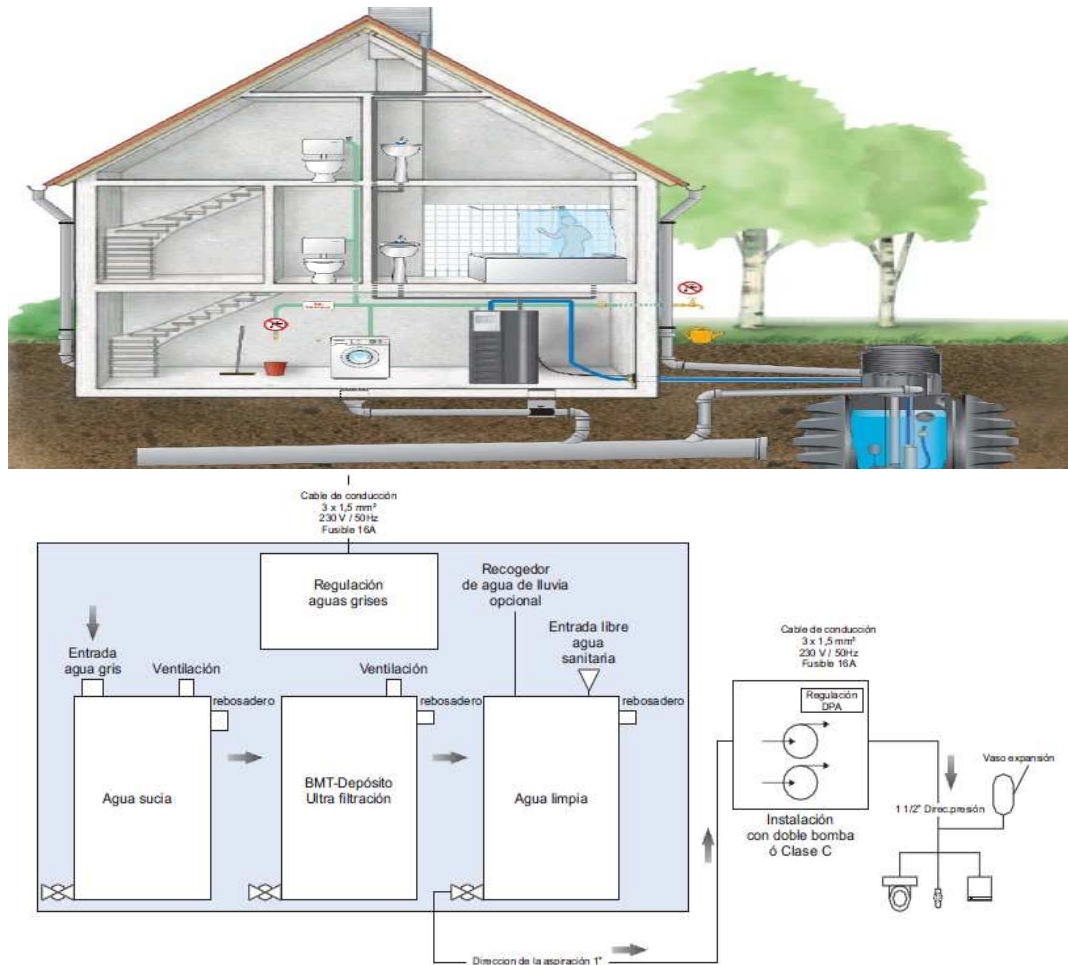


Fig. 9.6. Dispositivo GEP WME-15 [<http://www.smssolar.es/>, 14 de enero de 2011]

Según la experiencia internacional, las aguas grises pueden ser regeneradas para su uso *indoor*, con aplicaciones como el relleno de las cisternas del inodoro o la limpieza del hogar. También se han visto casos en las que se pueden utilizar para llenar la lavadora o hacer la colada sin riesgo alguno para la salud si el sistema de tratamiento es el adecuado.

Por otro lado, las aguas grises pueden proceder, no únicamente del lavamanos y de la ducha/bañera. Hay muchos autores y referencias que apoyan el reciclaje de las aguas grises de la lavandería (lavadora y grifo del lavadero), y también las de la cocina tras un pretratamiento separador de grasas. Sin embargo, muchas investigaciones previas indican que las aguas grises de la cocina están altamente contaminadas y contienen un gran número de sustancias indeseables (como aceites de cocina). Además, estas aguas sólo representan un 5% del consumo promedio de agua doméstica, por lo que su uso es despreciable y no recomendado [Christova-Boala, Edenb, McFarlane, 1995].

En el marco jurídico y normativo de Cataluña, instalar un sistema de reciclaje de aguas grises que utilice las aguas regeneradas para otro uso que no sea llenar la cisterna del váter, o que aprovechen agua de fuentes distintas del lavamanos o la ducha/bañera, estaría



incumpliendo las Ordenanzas Municipales para el ahorro de agua. El sistema que se propone con el GEP WME-15 quedaría descartado por este motivo.

En cambio, el ECOCICLE PLUS cumple las Ordenanzas catalanas, ya que está permitido mezclar las aguas pluviales con las aguas grises regeneradas del lavamanos y la ducha/bañera. Esto puede ayudar a cubrir la demanda de agua para el llenado de la cisterna del inodoro en caso de que las aguas grises regeneradas no sean suficientes para cumplir con el cometido. Sin embargo, se desestima esta posibilidad debido a que en el edificio AINOS se ha estimado una cantidad de aguas grises generada suficientemente abundante para abastecer las cisternas de los inodoros.

9.1.5. Reciclaje de aguas grises + aguas pluviales por separado

La última alternativa que se propone es dar un uso separado a las aguas grises regeneradas y a las aguas pluviales. Para ello se presentan una serie de dispositivos que pueden ser tenidos en cuenta para abordar la solución al problema técnico que trata este proyecto. Todos los sistemas presentados en este apartado cumplen con el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, según certifican las empresas distribuidoras.

Para el reciclaje de aguas grises se presenta como primera opción el dispositivo GREM (Fig. 9.7), de REMOSA. Las particularidades de este sistema son el uso de la tecnología MBR para la mejora de calidad del agua, y la cloración para su desinfección.

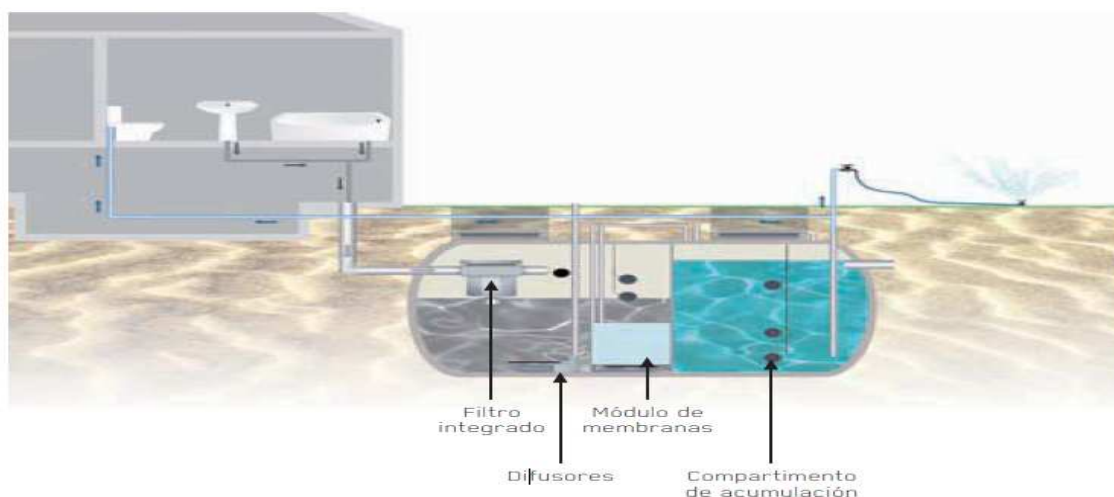


Fig. 9.7. Dispositivo GREM [<http://www.regeneraciondeaguas.com/>, 16 de enero de 2010]

La empresa TOTAGUA ofrece dos alternativas para el reciclaje de aguas grises (sin mezclarlas con aguas negras ni aguas pluviales). Por un lado se tiene el ECOCICLE 80 (Fig. 9.8), un SBR con desinfección UV, que recoge las aguas de la ducha/bañera y del lavamanos, y las usa para el riego y el relleno de las cisternas del inodoro.





Fig. 9.8. Usos del dispositivo ECOCICLE 80 [<http://www.totagua.com/>, 23 de mayo de 2010]

Otro dispositivo comercializado por la empresa TOTAGUA es el ECOCICLE 146 (Fig. 9.9). Es un SBR con un funcionamiento muy similar al del ECOCICLE 80, pero el nivel de tratamiento de las aguas es mayor, ya que permite depurar no sólo aguas de la ducha/bañera y del lavabo, sino también las aguas grises que proceden de la limpieza y de la lavadora. El inconveniente es que su precio es bastante mayor.



Fig. 9.9. Usos del dispositivo ECOCICLE 146 [<http://www.totagua.com/>, 23 de mayo de 2010]

Por las necesidades de consumo de agua del edificio AINOS, se ha considerado que el diseño más eficiente sea el que trata por separado aguas grises y aguas pluviales. A las aguas grises regeneradas se les daría el uso de rellenar las cisternas del inodoro, y las aguas pluviales estarán destinadas a abastecer la lavandería comunitaria.

Para discernir qué dispositivo es el más adecuado para el reciclaje de aguas grises (GREM, ECOCICLE 80 o ECOCICLE 146), se debe usar como criterio la tecnología empleada por cada uno de ellos, y seguir teniendo en cuenta el marco normativo y legislativo.

El ECOCICLE 146 queda inmediatamente descartado por no cumplir las Ordenanzas Municipales catalanas (aunque sí que cumple el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre), ya que está diseñado para reutilizar agua de la lavadora, el lavavajillas y la limpieza del hogar para rellenar las cisternas del inodoro. Usar el ECOCICLE 146 sería sobredimensionar el sistema y encarecer el coste del proyecto sin obtener beneficio alguno, ya que únicamente podría depurar las aguas del lavabo y de la ducha/bañera para cumplir la normativa.



Para elegir entre el ECOCICLE 80 (SBR con desinfección UV)) y el GREM (MBR con desinfección por cloración) se hace incidencia en la tecnología de depuración que usa cada uno de los dispositivos.

El MBR es la única tecnología capaz de conseguir una eliminación satisfactoria de sustancias orgánicas, surfactantes y microorganismos sin una posterior etapa de filtración y desinfección (aunque muchos distribuidores añaden una posterior etapa de desinfección con UV o cloración). Por ello el MBR aparece como una atractiva solución para el reciclaje de aguas grises, particularmente en edificios de viviendas urbanos. El MBR produce una alta calidad del efluente, con una concentración muy baja de los sólidos en suspensión.

Sus desventajas son que requiere una etapa de pretratamiento para evitar daños y/o colmatación de las membranas, tiene un gran consumo de energía y el mantenimiento del sistema es caro (reemplazo de las membranas). Además requiere una elevada inversión inicial.

Sin embargo, el SBR se nos presenta como la alternativa ideal para el edificio AINOS, ya que ofrece las prestaciones del MBR en cuanto a compacidad de la solución, proporciona una calidad del efluente que cumple el Real Decreto 1620/2007 para la reutilización de las aguas depuradas y resulta más económico que el MBR, tanto por su mantenimiento y su uso de la energía eléctrica, como por su inversión inicial. Por ello, el dispositivo seleccionado para el reciclaje de aguas grises en el edificio AINOS es el ECOCICLE 80.

9.1.6. Alternativas para el sistema de aguas pluviales

La primera consideración que se debe tener en cuenta es la de colocar el depósito de recogida de aguas pluviales en la parte superior del edificio o en la planta baja. La ventaja de colocarlo en la terraza es que el agua podría llegar a los puntos de consumo por gravedad, sin la necesidad de uso de ningún tipo de grupo de presión. Sin embargo, se considera más atractiva la opción de colocar el depósito en la sala de máquinas compartida con el sistema de reciclaje de aguas grises. Al estar la lavandería comunitaria colindante a la sala de máquinas, la bomba que se requerirá para bombear las aguas pluviales será de bajas prestaciones y un precio económico. Además, se ha considerado el ubicar el sistema de reciclaje de aguas grises y de recogida de aguas pluviales en la misma sala una alternativa estética, compacta y que cumple rigurosamente la normativa.

Sobre las alternativas para el diseño del sistema separativo de reutilización de aguas pluviales se han contemplado varios fabricantes. Uno de los modelos que más ha llamado la atención es el diseño de los tanques modulares HOG por su originalidad y compacidad.



Conceptualmente, se considera una excelente elección para la aplicación que queremos dar a las aguas pluviales, pero el inconveniente es que la capacidad máxima de estos depósitos es de 7.500 L, en el caso del F-LINE, y 10.000 L en el caso del BLUE LINE. Esto hace que se descarte la opción de este modelo debido a que la capacidad de almacenaje sería insuficiente.

Se elige el depósito comercializado por la empresa REMOSA, DRP 20.000 FE, debido a la necesidad de las grandes dimensiones del depósito. El volumen del tanque es de 20.000 litros, y tiene forma cilíndrica, con unas medidas de 5.140 mm de longitud por 2.350 mm de diámetro. Lleva incorporado un filtro exterior, que se instala justamente antes de la entrada al depósito de aguas pluviales, apropiado para la escorrentía de agua pluvial recogida de tejados con una superficie máxima de 350 m². El filtro evita la entrada al depósito de partículas superiores a 0,55 mm, quedando retenidas en una canasta de acero inoxidable. El filtro es fácilmente accesible, y la cesta se puede extraer fácilmente para vaciar el contenido de sólidos acumulados.

Hay depósitos que llevan incorporados el filtro, o también se pueden conseguir filtros incorporados a las bajantes. No obstante, estas soluciones son recomendadas para áreas de captación de aguas de lluvia más reducidas, siendo la opción de filtro de cesta exterior la opción más utilizada en caso de depósitos de gran capacidad. Después de la filtración inicial, el agua de lluvia entra en el depósito, donde las partículas en suspensión e impurezas que hayan podido pasar el filtro quedarán sedimentadas en el fondo del depósito.

El depósito viene equipado con una electroválvula que permite la entrada de agua de la red en caso de que el depósito no tenga el nivel mínimo de llenado, y también cuenta con un rebosadero para desviar el exceso de acumulación de agua hacia la red de alcantarillado.

El depósito es de superficie, ya que se colocará en el mismo cuarto que la depuradora de aguas grises. El agua se extraerá del depósito mediante una bomba multicelular horizontal BLOCH H81, exterior al depósito, con un dispositivo de succión incorporado que impedirá la entrada de partículas en suspensión no decantadas en la bomba.

El depósito está hecho de PE (polietileno), cuyo uso para la fabricación de estos depósitos está ampliamente extendido. La superficie lisa del PE, que hace que la suciedad no se quede adherida. Además, la nula segregación del material hace que sea un material idóneo para este propósito. Debido a su nula toxicidad es un material que habitualmente se usa para el envasado de alimentos. Además, cuenta con la ventaja de que es un material reciclable y su fabricación es menos contaminante que de depósitos fabricados con otros materiales aplicables, como el PRFV. Aunque el PRFV es también un material ampliamente usado para este tipo de depósitos.



Se complementa la filtración y sedimentación con la desinfección mediante lámpara UV a la salida del depósito, ya que el agua tendrá una aplicación (limpieza y lavado de ropa) que implica contacto con el ser humano (Fig. 9.12). La demanda de agua para la lavandería comunitaria del edificio AINOS es de 1,32 m³/día, por lo bastará con la instalación de una lámpara para pequeños y medianos caudales. Se elige el producto *Esterilizador ultravioleta UV-16* de la tienda on-line BLB DEPURADORAS. Se trata de una lámpara de 16 W de potencia que puede tratar hasta 0,6 m³/h.



Fig. 9.12. Cesta de filtrado y lámpara de desinfección UV
[<http://www.depuradoras.es/>, 10 de junio del 2010]

9.2. Selección de alternativas para el sistema de generación de ACS por energía solar

El funcionamiento de un captador es muy simple. Cualquier cuerpo expuesto al Sol recibe un flujo energético, lo que provoca un incremento de temperatura. Esto hace que el cuerpo calentado emita energía a su alrededor, en forma de radiación. Si se refrigera el captador haciéndole pasar un fluido por su interior, parte de la energía captada se transmite al fluido como energía útil. El resto de energía se pierde en forma de radiación hacia el ambiente. El fluido de trabajo suele ser una mezcla de agua con anticongelante e inhibidores de la corrosión.

Sin embargo, hay diversos tipos de captadores solares, se pueden interconectar entre sí de distinta manera, y pueden abastecer al edificio de ACS con distintas disposiciones. El objetivo de éste apartado es el de seleccionar las mejores alternativas para la generación de ACS en el edificio AINOS.

9.2.1. Selección del tipo de captador solar

El tipo de captador solar depende de la utilización que se le quiera dar al sistema. Las aplicaciones solares a bajas temperaturas (inferiores a 80°), como climatización de piscinas o producción de ACS, utilizan captadores de placa plana, con o sin cubierta vidriada, en función de la aplicación.

La utilización de captadores solares térmicos de concentración se restringe a los campos de la investigación, la industria y la generación de electricidad, debido a que es una tecnología



que requiere complejos sistemas de seguimiento y grandes superficies para ubicarlos. En el ámbito doméstico no son justificables, ya que generan fluidos a temperaturas superiores a 200°C.

Los captadores solares sin cubierta constan de un conjunto de tubos de caucho o polipropileno. Son muy económicos y fáciles de instalar, ya que presentan configuraciones flexibles que permiten colocarlos en cualquier superficie. Al no tener vidrio, tienen muy buen rendimiento óptico, pero en contrapartida pierden mucho calor cuando la temperatura exterior es baja o la velocidad del viento es elevada. Generalmente, se emplean para climatizar piscinas.

Los captadores solares de tubos de vacío son un conjunto de tubos cilíndricos formados por un material que absorbe el calor, situados sobre un asentamiento reflector y envueltos de un cilindro de vidrio transparente. Entre el material que absorbe el calor y el cilindro de vidrio se hace el vacío, lo que evita pérdidas por convección y conducción. Una de las características de este tipo de captadores es la posibilidad de inclinar individualmente cada tubo. Esta característica es bastante útil en ubicaciones que, por requisitos del edificio, sea necesario montar los captadores desorientados hacia el sur.

El captador solar plano con cubierta vidriada es el más empleado en nuestro país para instalaciones de ACS, ya que tiene una buena relación coste/efectividad en nuestro clima. Entre los proveedores, se ha escogido el fabricante VAILLANT, ya que comercializa sistemas de alta calidad a un precio razonable.

9.2.2. Selección del tipo de conexión entre captadores

En cuanto a definir y montar el campo solar, se debe hacer una distribución de captadores por grupos. Estas agrupación estarán formadas por unidades del mismo modelo, con una distribución lo más uniforme posible. Los captadores se pueden agrupar en serie o en paralelo. También se pueden configurar combinando ambas agrupaciones, lo que da lugar a los llamados circuitos mixtos.

En la conexión en serie, la salida del primer captador se conecta directamente con la entrada del siguiente, y así consecutivamente. Esto hace que la temperatura del fluido en la entrada de cada captador sea superior a la del captador precedente. El inconveniente es que el rendimiento de los captadores va disminuyendo proporcionalmente al aumento de la temperatura de trabajo. El Código Técnico de la Edificación (*HE 4*, Apartado 3.3.2.2) restringe esta configuración con un máximo de 6 a 10 m² de captadores conectados en serie, según la zona climática. El caudal total del grupo de captadores será igual al caudal individual de un solo captador, y la pérdida de carga total será el resultado de la suma de todas las pérdidas de carga en cada captador.



La conexión en paralelo consiste en que tanto la entrada como la salida de los captadores están conectadas a los puntos de entrada y salida de agua comunes al resto de captadores. La temperatura del fluido de entrada es la misma para todos los captadores, de manera que en la salida del grupo se obtiene la temperatura como si se trabajara con el salto térmico de un solo captador. Todos los captadores trabajan en el mismo punto de la curva de rendimiento. Esta configuración es la más habitual en instalaciones solares térmicas para aplicaciones de baja temperatura. El caudal total del grupo será la suma de los caudales parciales en cada captador, mientras que la pérdida de carga total será la equivalente a la de un solo captador.

9.2.3. Selección del tipo de instalación de ACS

La primera alternativa que se considera es la instalación con acumulador para cada vivienda. Este tipo de instalación con acumulación descentralizada consiste en que el campo de captadores es común para todas las viviendas, pero cada vivienda dispone de su acumulador y de su sistema de energía de soporte. El control de los dispositivos de la instalación se realiza mediante una válvula de tres vías en cada acumulador (Fig. 9.13).

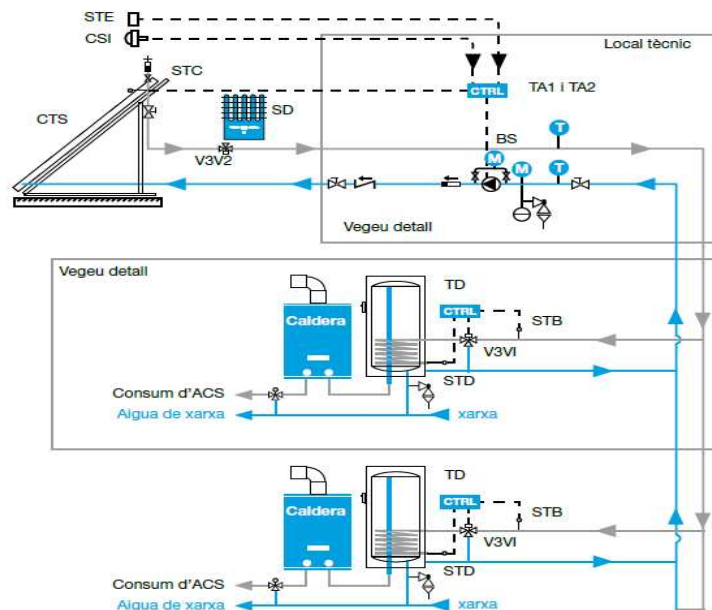


Fig. 9.13. Instalación con acumulador para cada vivienda [Mundet, Carnero, Roca, 2009]

Se ha desestimado esta alternativa debido a la complejidad del circuito primario, que estaría construido de tuberías de acero inoxidable. El número de acumuladores que se debería instalar sería muy alto, y en conjunto encarecería mucho el precio del sistema de ACS del edificio AINOS.



La segunda alternativa que se considera es la instalación con acumulador centralizado de circuito cerrado e intercambiador de calor en cada vivienda. Este tipo de instalación todas las viviendas disponen de un campo de captadores y acumulación común, pero la energía solar se distribuye mediante intercambiadores de calor propios de cada vivienda. El control de la instalación se realiza mediante válvulas de dos vías en cada intercambiador (Fig. 9.14).

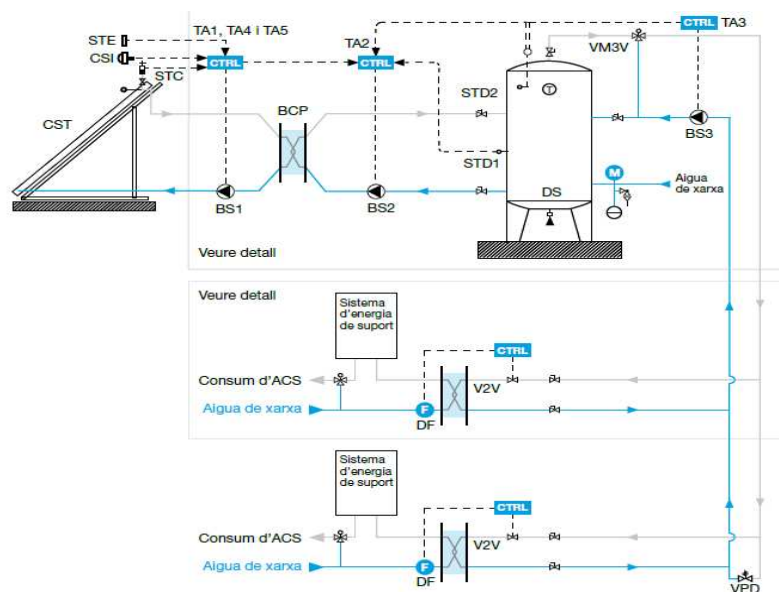


Fig. 9.14. Instalación con acumulador centralizado e intercambiador en cada vivienda
[Mundet, Carnero, Roca, 2009]

Se descarta esta opción debido a la complejidad de la instalación, que deberá contar con un intercambiador de calor en cada vivienda. Debido a la falta de espacio (se debe recordar que se trata de un edificio de dimensiones muy reducidas) se ha considerado una alternativa que no es viable técnicamente.

La tercera alternativa, es la instalación con acumulación centralizada con contador de agua en cada vivienda. Con esta alternativa todas las viviendas compartirán un único campo de captadores y un sistema de acumulación, pero dispondrán en cada vivienda de un contador de agua caliente y de un sistema de energía de soporte.

El fluido que circula por el circuito primario transmite el calor al ACS del circuito secundario mediante el intercambiador de calor (BCP). La recirculación del ACS de consumo del acumulador (DS) hacia los circuitos de cada vivienda se realiza mediante la bomba de recirculación del circuito secundario de distribución (BS3), siempre y cuando el control (TA3) determine que el acumulador dispone de la suficiente temperatura de servicio. El retorno del circuito de viviendas entra por la parte baja del acumulador solar (DS), a la vez que se hace recircular por una válvula mezcladora de tres vías (VM3V) para regular y limitar la



temperatura de impulsión que hay que distribuir a las viviendas, así como para evitar pérdidas térmicas significativas. Una vez el fluido está en la entrada de los diferentes circuitos de cada vivienda, cuando haya consumo de ACS se producirá un flujo directo de agua hacia el sistema auxiliar de soporte de la vivienda correspondiente. Este consumo individual quedará registrado en el contador de agua de cada vivienda. Cuando se para el consumo de ACS, se corta la circulación de todo el ramal de la vivienda (Fig. 9.15).

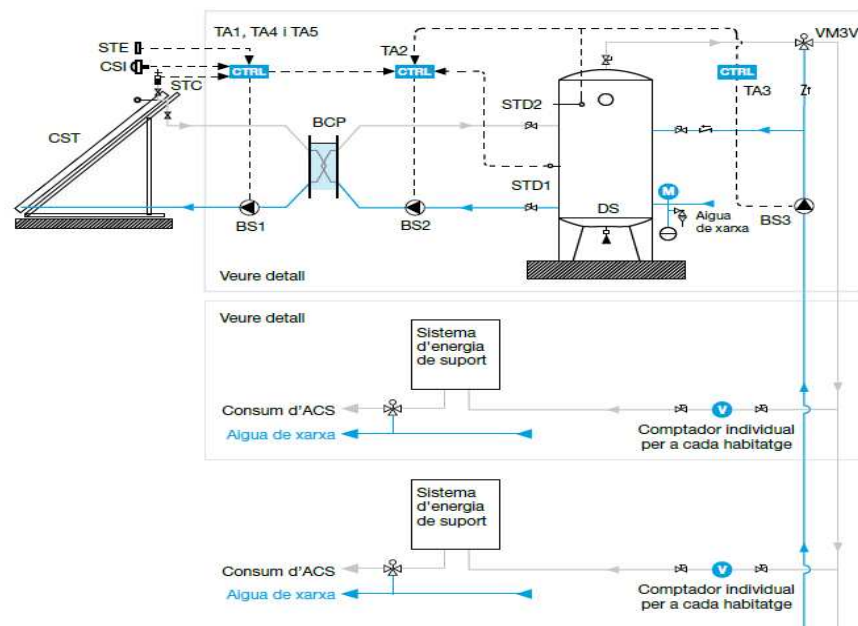


Fig. 9.15. Instalación con acumulación centralizada con contador de agua en cada vivienda [Mundet, Carero, Roca, 2009]

Se ha considerado esta alternativa como la más adecuada para el edificio AINOS, debido a los siguientes motivos:

- Permite llevar la cuenta del ACS que gasta cada vecino gracias a tener instalado un contador específico para el agua caliente sanitaria en cada vivienda.
- Se circuito primario de acero inoxidable es mucho más corto que en las otras dos alternativas, y el sistema requiere muchos menos acumuladores y/o intercambiadores de calor. Esto lo hace económicamente mucho más viable. Además, de éste modo se evitan más pérdidas de calor en los elementos del sistema.

La elección del sistema de energía de soporte no presenta problemas, ya que es evidente que deberá ser un aparato de reducidas dimensiones que pueda ser instalado en el interior de cada una de las 24 viviendas del edificio AINOS. Un calentador instantáneo a gas estanco instalado en la cocina, ya que las viviendas no tienen lavadero, parece *a priori* la alternativa más factible. Lo único que se debe intentar es elegir el dispositivo más



económico. Se ha realizado un estudio de mercado, comparando precios de distintos proveedores, y se ha elegido el calentador JUNKERS, del grupo BOSCH.

El caudal instantáneo de ACS a suministrar es de 14,4 l/min a cada vivienda. Se elige el JUNKERS termostático estanco modelo WRS 400 T, que está preparado para ofrecer un caudal de 16 l/min, a un precio de 447,53 € cada calentador.

En cambio, el modelo de caldera estanca de VAILLANT de 17 l/min, el TURBOMAG ES 17-2/0 E, con unas características técnicas parecidas, asciende a un total de 880 €. Se ha elegido el modelo JUNKERS de BOSCH por la calidad de la marca, la compacidad de la solución de caldera estanca y su precio asequible.



10. Descripción en detalle del sistema

Se describen en detalle los elementos y sistemas del proyecto de mejora de eficiencia en el consumo de agua, reciclaje de aguas grises, aprovechamiento de aguas pluviales, generación de ACS por energía solar y telegestión de contadores del edificio AINOS de Barcelona.

10.1. Diseño conceptual del sistema

Las aguas grises se recogen exclusivamente de los lavamanos y las duchas/bañeras, tal y como establecen las Ordenanzas Municipales que aplican en el proyecto. Su uso es exclusivo para llenar la cisterna de los inodoros. Las aguas pluviales recogidas abastecerán la lavandería comunitaria. Los dos sistemas serán complementados por agua potable de la red en caso de que fuera necesario. El ACS se genera mediante un sistema de captadores solares, y se almacena en un depósito acumulador situado en la planta baja del edificio. Se complementa con la instalación de calentadores instantáneos de agua a gas estancos en la cocina de cada piso.

En la Fig. 10.1 se expone el diseño conceptual del sistema de suministro y evacuación de aguas en el edificio AINOS, con instalación de sistema de aprovechamiento de aguas grises y de aguas pluviales, y generación de ACS mediante colectores solares.

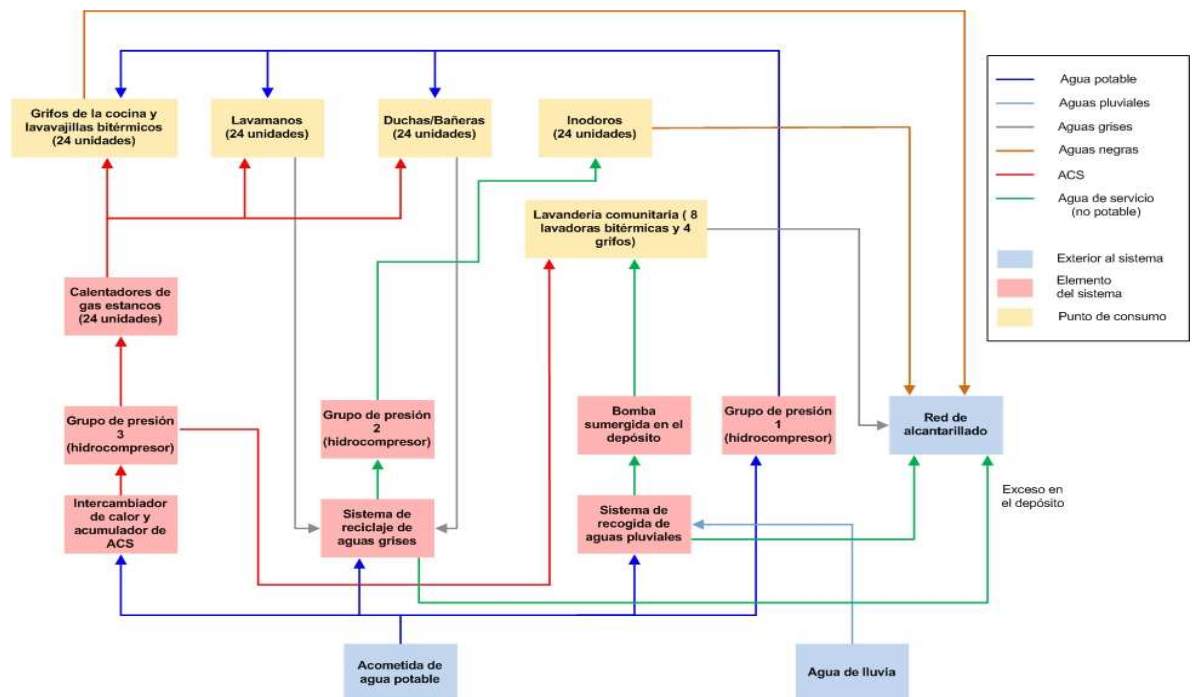


Fig. 10.1. Esquema explicativo del diseño conceptual del sistema [Elaboración propia]



10.2. Elementos de ahorro de agua

La *Ordenanza de Sant Cugat* obliga la instalación de economizadores de agua que, para una presión de $2,5 \text{ kg/cm}^2$, tengan un caudal máximo de 8 L/min en grifos y de 10 L/min en duchas. Los WC deben tener limitada la descarga en 6 L.

Se instalan ecoduchas en todas las duchas/bañeras del edificio. Del mismo modo, se instalan aireadores en todos los grifos, con tal de reducir el consumo de agua. Los váteres de descarga se instalan con cisterna de doble pulsador. La descarga total será de 6 litros, y la descarga parcial (para evacuar la orina) de 3 litros, en lugar de los 9 litros convencionales. Se han elegido aparatos sanitarios ROCA, debido a su diseño estético y funcional, y a la gran calidad de la marca. En el ANEXO I se exponen en detalle sus características técnicas y su precio.

10.3. Electrodomésticos

Según el *HE 4* del *DB HE* del Código Técnico de la Edificación (2009), en los edificios en los que sea de aplicación la contribución mínima de energía solar para la producción de ACS, se deberán instalar lavadoras y lavavajillas bitérmicos, con toma de agua caliente y de agua fría. De esta forma, tanto los 24 lavavajillas como las 8 lavadoras, pueden obtener agua caliente de una fuente externa, en este caso del acumulador de ACS que aprovecha la energía solar térmica. La utilización de estos electrodomésticos puede reducir en gran medida el consumo energético de un edificio, ya que el uso de electricidad para calentar el agua es mucho menos eficiente que el uso de energía solar o gas natural. Su inconveniente es que son más caros que los electrodomésticos convencionales. Sin embargo, pueden ahorrar costes, ya que la potencia a contratar a la compañía eléctrica podría ser menos al usar este tipo de electrodomésticos, y el consumo eléctrico también se verá reducido.

En el caso de las lavadoras, se observa que serán abastecidas con agua fría no potable proveniente del depósito de recogida de aguas pluviales, y con ACS sí potable. Esto no representa ningún problema, ni riesgo de contaminación de la red de abastecimiento de agua potable. Basta sencillamente con instalar una válvula antirretorno entre el acumulador de ACS y la derivación a la lavandería. Se han elegido electrodomésticos de la marca comercial SIEMENS.



10.4. Cálculo del sistema de tratamiento de aguas grises

Como se ha comentado en el anterior apartado, se escoge la depuradora de aguas grises ECOCICLE 80 – 50 (Fig. 10.2), distribuida por la empresa de Tarragona TOTAGUA. La gama ECOCICLE 80 está diseñada para reciclar las aguas de los lavamanos y las bañeras/duchas.



Fig. 10.2. Depuradora de aguas grises ECOCICLE 80 – 50
[<http://www.totagua.com/>, 23 de mayo del 2010]

El ECOCICLE 80 – 50 se basa en la tecnología SBR (Sequential Batch Reactor), que se ha considerado la más indicada para aplicar en el sistema de reciclaje de aguas grises del edificio AINOS. Su diseño es compacto, e incluye todas las etapas del tratamiento de aguas grises en un único depósito.

El dimensionamiento del sistema se ha hecho según catálogo comercial del fabricante (ver ANEXO I), y se ha pedido un presupuesto a la empresa. El equipo está dimensionado para tratar un caudal de entrada de 4.000 litros/día (que provienen de los 80 L/p-d que se estiman de generación de aguas grises en el lavamanos y en la ducha/bañera, por los 50 habitantes para los que está dimensionado el equipo). En el edificio AINOS se estiman 56 habitantes, pero el sistema está sobredimensionado, ya que la generación de aguas grises real diaria que se estima (según datos de consumo de agua en Barcelona) es de 2074,07 litros/día de agua de ducha/bañera y 314,16 litros/día de aguas grises del lavamanos.

La empresa TOTAGUA estima que un total del 10% de las aguas grises de entrada se pierden en concepto de limpieza de filtros y purgas de lodos, lo que sobre el caudal máximo serían unos 400 litros de agua no recuperada.

El ECOCICLE 80 – 50 ocupa un volumen 10.000 litros, y consta de tres cámaras. En la primera cámara, de un volumen de 4.000 litros, se produce la etapa de desengrase y desarenado. En esta etapa se separan por la parte superior los aceites y las grasas, y por la partes inferior las arenas y los lodos, debido a las diferencias de densidad con el agua. Se realiza una purga automática para eliminar aceites, grasas, arenas y lodos. Antes de entrar en esta primera cámara, el efluente de agua ya ha pasado por un filtro que separa las partículas de mayor tamaño.



En la segunda cámara, de 2.000 litros de capacidad, se produce la etapa de degradación biológica y decantación (Fig. 10.3). Se produce la descomposición de la materia orgánica gracias a la aportación de aire y la proliferación de microorganismos aerobios. Por último, la tercera etapa de almacenaje y desinfección, se produce en un tanque de 4.000 litros. El agua queda esterilizada al pasar por un filtro de rayos UV que elimina bacterias, virus y protozoos.



Fig. 10.3. Vista interior de las cámaras del ECOCICLE 80 – 50
[<http://www.totagua.com/>, 23 de mayo del 2010]

Esta etapa incluye también la entrada de agua potable, para mantener el nivel del agua en la cámara en caso de falta de entrada de agua depurada. En la tercera cámara también se realiza la cloración del agua, para mantener su esterilidad hasta su uso final, y también se realiza la coloración del agua, ya que la normativa exige que las aguas no potables para uso doméstico (llenar la cisterna del inodoro) deberán tener un color distinto al del agua potable, que indica que el agua ha sido regenerada.

En caso de generar más aguas de la que podríamos tratar para reutilizarla, esta saldría por el rebosadero a la red de alcantarillado. En el caso de no generar la suficiente agua para reutilizar, el sistema se alimentará de la red de agua potable mediante una electroválvula de flotador.

La calidad del agua clara producida cumple los requisitos higiénicos y microbiológicos de la normativa RD 1620/2007. Las dimensiones del equipo son un volumen cilíndrico de 10.000 litros, con 3.504 mm de longitud y 2.000 mm de diámetro.



10.5. Cálculo del sistema de recogida de aguas pluviales

Para el dimensionamiento del depósito se utiliza la fórmula propuesta por la empresa ESPA INNOVATIVE WATER SOLUTIONS [<http://www.espagroup.com>, 7 de junio de 2010], que permite el diseño del tamaño de la cisterna de recogida de aguas pluviales, de manera que su volumen útil V_U se encuentre en una proporción equilibrada entre la cantidad de agua pluvial recogida y la necesidad de agua de servicio.

La Ec.10.1 permite el cálculo del área de recogida eficiente de agua pluvial.

$$A_{eff} = A \cdot e \quad (\text{Ec.10.1})$$

- A_{eff} : Área eficiente de recogida [m^2]
- A: Área de recogida [m^2]
- e: Coeficiente de rendimiento

El coeficiente de rendimiento se estima en un 0,8 (pérdidas del 20% sobre la pluviometría anual). Como se explica en el apartado 4.3 del presente proyecto, estas pérdidas se deben a la textura del material del que está construido la superficie de captación, la evaporación, la pendiente del tejado, la orientación de las áreas de recolección, el efecto del viento, las pérdidas ocurridas en las canalizaciones o los depósitos, y otras ineficiencias en el proceso de colección [Abdulla, Al-Shareff, 2009]. Aplicar este coeficiente de pérdidas al área de superficie de recogida define un área de recogida eficiente, que permite hacer una aproximación más real del volumen de agua recogido. Puesto que la superficie de recogida es de $259,06 \text{ m}^2$ (terrace superior), el área eficiente de recogida es de $207,25 \text{ m}^2$.

La Ec.10.2 permite el cálculo de LRA (lluvia recuperada anualmente).

$$LRA = A_{eff} \cdot H_a \cdot \eta_f \cdot \frac{1}{1000} \quad (\text{Ec.10.2})$$

- LRA: Lluvia recuperada anualmente [$\text{m}^3/\text{año}$]
- A_{eff} : Área eficiente de recogida [m^2]
- H_a : Media anual de precipitación [$\text{mm}/\text{año}$]
- η_f : Rendimiento del filtro hidráulico

Tomando el dato de una media de lluvia anual en Barcelona de $651,6 \text{ mm}/\text{año}$ (ver ANEXO A), y considerando un η_f de 90%, que es el que corresponde a un filtro en buen estado, se obtiene que el valor de LRA es de $121,54 \text{ m}^3/\text{año}$.

La NDT (necesidad de agua pluvial anual), se estima en el apartado 4.2.2 del presente proyecto, como $481,86 \text{ m}^3/\text{año}$. Esta es el agua que se estima que se necesita para la lavandería comunitaria, en los 4 grifos y las 8 lavadoras bitérmicas. El agua de los grifos no



será potable, y servirá para usos como la limpieza, regar las plantas de interior y hacer la colada.

La Ec. 10.3 es para el cálculo del volumen útil del depósito de recogida de aguas pluviales. El volumen de la cisterna debe ser capaz de alojar el agua necesaria para cubrir la demanda y, si ésta es demasiado grande, únicamente debe ser capaz de recoger el agua de lluvia. De ahí que se utilice el mínimo de LRA y NDT. Se sobredimensiona el sistema un 5%.

$$V_U = \left(\min(LRA, NDT) + \min(LRA, NDT) \cdot \frac{5}{100} \right) \cdot C_D \quad (\text{Ec. 10.3})$$

- V_U : Volumen útil de la cisterna [m^3]
 LRA: Lluvia recuperada anualmente [m^3]
 NDT: Necesidad de agua pluvial anual [m^3]
 C_D : Constante de acumulación

La constante de acumulación C_D es un parámetro adimensional que sirve para conferir a la ecuación la naturaleza estocástica de las precipitaciones. Multiplicando por C_D se reducen las dimensiones del depósito, ya que el agua pluvial que se recoge en un año no cae toda a la vez, si no que lo hace progresivamente, y a medida que se va acumulando también se va consumiendo. El valor de C_D para Barcelona es de 0,143, tal y como se puede consultar en la Tabla 4.6 del apartado 4.3 del presente proyecto. El valor de C_D es muy bajo para las provincias húmedas, donde las precipitaciones están menos espaciadas en el tiempo, y se necesita un volumen de reserva menor (por ejemplo, para Santander $C_D=0,088$), y más alto para las provincias áridas (para Sevilla $C_D=0,159$).

De esta forma, V_U es 18,25 m^3 . Elegimos un depósito de capacidad inmediatamente superior de cualquier catálogo comercial. Como se ha visto en el apartado anterior, se elige el depósito comercializado por la empresa REMOSA, DRP 20.000 FE (ver ANEXO I). El volumen del tanque es de 20.000 litros, y tiene forma cilíndrica, con unas medidas de 5.140 mm de longitud por 2.350 mm de diámetro. Lleva incorporado un filtro exterior, y la desinfección se realiza con una lámpara UV de 16 W.

El agua de lluvia se recoge de la terraza superior 259,06 m^2 , no transitable por los vecinos, y también destinada para la instalación de captadores solares que generen el ACS. La terraza hace pendiente hacia 4 sumideros con calderetas sifónicas de PVC con aditivos a base de bióxido de titanio, protección para UVA y una rejilla de PP, que harán una primera filtración de los sólidos más grandes. La instalación de este tipo de caldereta sifónica requiere el uso de tela asfáltica para prevenir filtraciones de agua indeseables. Para la terraza inferior, de 137,82 m^2 , se necesitan 3 sumideros. El cálculo del número de sumideros necesarios se ha estimado siguiendo la norma HS 5 del Código Técnico de la Edificación, que se expone en el ANEXO G.



10.6. Cálculo del sistema de generación de ACS

Se emplea un sistema solar térmico para la generación de ACS. La instalación elegida para el edificio AINOS es la instalación con acumulación centralizada con contadores de agua en cada vivienda, como se ha determinado en el apartado anterior. Con este sistema, todas las viviendas comparten un único campo de captadores y sistema de acumulación, pero disponen en cada vivienda de un contador de ACS y de un sistema de energía de soporte.

No es viable la instalación de un equipo termosifón de circulación natural, ya que el acumulador estará a un nivel inferior que los captadores. Con esta configuración, el agua más caliente ya está en el punto más alto (los captadores), y se deberá instalar una bomba para forzar la circulación del fluido. Se utilizan captadores verticales, ya que presentan generalmente un rendimiento mejor.

En los equipos de circulación forzada se debe controlar la bomba de manera que sólo impulsen el agua en los momentos en los que pueda haber ganancia energética (es decir que la temperatura del fluido de los captadores sea superior a la del acumulador). El aparato encargado de hacer esta valoración es el termostato diferencial que, continuamente, compara las temperaturas del captador y del acumulador, conectando o desconectando la bomba en función de qué temperatura sea superior. A menudo, el sistema es más complejo, y puede llegar a controlar diferentes usos y usuarios, activar sistemas de soporte o adquirir datos, con lo que pasa a llamarse control solar.

La demanda energética media anual del edificio AINOS para generar ACS es de 86,93 KWh/día, y el consumo de ACS es de 1.568 litros/día (ver ANEXO F). Según el *Decret d'ecoeficiència*, se establece una aportación mínima de energía solar térmica para producir ACS del 50%, con lo que la energía solar para calentar ACS será de 43,47 KWh/día. Por otro lado, la radiación solar media anual es de 4,04 KWh/m²·día.

Para el captador solar, se escoge el modelo VFK 145 V, del fabricante VAILLANT (ver ANEXO I). Según los datos del fabricante, para el modelo elegido, el rendimiento óptico es de 0,79. Las pérdidas térmicas del captador son de 2,414 W/m²·°C. Según los cálculos, cada captador VAILLANT VFK 145 V de 2,35 m² aprovecha 4,77 KWh/día.

La energía generada por el captador será la multiplicación de la energía potencialmente aprovechable por el rendimiento del captador y su área, que es 2,35 m². Sin embargo, de la energía absorbida por el captador, sólo se podrá usar una parte, ya que se van a producir pérdidas de calor a través de las paredes del acumulador, las cañerías, las válvulas y la resta del circuito hidráulico. Empíricamente se han valorado estas pérdidas en un 10 – 15%.



Según los cálculos anteriores, se deben instalar un número total de 10 captadores, por lo que la superficie total de captación será de 23,5 m².

El ACS se almacena en un depósito acumulador situado en la planta baja del edificio. Se complementa con la instalación de calentadores instantáneos de agua a gas estancos en la cocina de cada piso. El circuito primario del sistema solar térmico se encarga de transportar el fluido de trabajo que se ha calentado en los captadores solares al acumulador, donde cederá la energía al ACS mediante un intercambiador de calor. Se elige como material para las tuberías del circuito primario el acero inoxidable, ya que es un material resistente a la corrosión, y capaz de aguantar las altas temperaturas del fluido de trabajo, que pueden llegar a alcanzar los 150°C.

En el circuito secundario, la incorporación de la instalación solar no ofrece ninguna modificación respecto a los materiales empleados en las instalaciones de ACS que emplean fuentes energéticas convencionales. Es conveniente la instalación de aislantes térmicos en todo el sistema y en las cañerías, para minimizar pérdidas de energía calorífica.

El material de fabricación escogido para el acumulador es el acero inoxidable, y su superficie estará cubierta por un aislante térmico. Se elige un volumen de acumulador de 65 l por m² de captador solar, que cumple las todas normativas vigentes. Redondeando, se necesitará un acumulador de 1.500 litros. Se elige un acumulador de acero inoxidable VIH 1500 X del fabricante VAILLANT, con capacidad de 1.500 l, y unas dimensiones de un diámetro exterior de 1.360 mm y 1.850 mm de altura (ver ANEXO I).

El vaso de expansión es un depósito que compensa las variaciones de volumen y presión que se producen en el circuito primario cuando el fluido de trabajo aumenta o disminuye de temperatura. Cuando el fluido aumenta de temperatura se dilata, y llena el vaso de expansión. Cuando la temperatura del fluido desciende, sale del vaso de expansión para volver al circuito.

Según el Código Técnico de la Edificación, en instalaciones superiores a 20 m² es obligatorio instalar un contador de calorías, que servirá para controlar que las instalaciones cumplen con las previsiones de tipo energético del diseño. Consta de un contador volumétrico, dos sondas de temperatura (una en la línea de agua caliente y la otra en la fría) y una unidad de procesamiento de los datos. La temperatura de ACS en los puntos de consumo debe estar comprendida entre 50°C y 65°C [Código Técnico de la Edificación, 2009].

Como sistema de energía de soporte se decide instalar un calentador instantáneo de gas natural estanco en la cocina de cada vivienda. Con este tipo de calentadores, el fluido de trabajo recibe el aporte de calor por la acción directa de la llama sobre un serpentín por cuyo



interior circula el agua. El agua se calienta en el mismo momento que es demandada. Los calentadores estancos no tienen problema para ponerse en el interior de la cocina, pero necesitan un tubo para la salida de gases al exterior, y otro de entrada de aire.

Se instala un calentador JUNKERS para dar soporte independiente de ACS en cada vivienda. El caudal simultáneo calculado para el tramo M'L' de la instalación de ACS (el que corresponde a una vivienda individual, ver PLANO 13) es de Q_s 0,24 l/s, o lo que es lo mismo, 14,4 l/min. Se instala un JUNKERS termostático estanco modelo WRS 400 T, que está preparado para ofrecer un caudal de 16 l/min. Las dimensiones del calentador son 755 mm de alto, 460 mm de ancho y 220 mm de fondo.

En el ANEXO F se explica en detalle todo lo referente al cálculo de la instalación de ACS con captadores solares, incluyendo el dimensionado de la superficie de captación y número de captadores necesarios, así como el volumen del depósito de acumulación. El método usado ha sido el propuesto por el Institut Català de l'Energia.

10.7. Las salas de máquinas

El aljibe de agua potable, el sistema de tratamiento de aguas grises, el depósito de almacenamiento de aguas pluviales y los elementos de presión que les corresponden (Grupo de Presión 1, Grupo de Presión 3 y Bomba horizontal) se ubican en una sala de máquinas construida para este propósito. Al hallarse los depósitos en una sala de máquinas, el agua se mantendrá a una temperatura constante, lo que tiene un efecto muy positivo para su calidad y su conservación, al contrario de lo que sucedería si el depósito estuviera instalado en el exterior. Esto es debido a que el calentamiento que produce la radiación solar favorece el crecimiento de hongos y bacterias que empobrecen la calidad del agua.

Sin embargo, la desventaja de no instalar los depósitos en la parte alta del edificio, es que de esta manera no se requeriría la instalación de grupos de presión, ya que el agua ya cuenta con la energía potencial suficiente para llegar a todas las partes de la casa. No obstante, si se hubiera elegido esta opción, habría sido muy importante elegir un depósito que no comprometiera la resistencia del tejado. El acceso a la sala se producirá desde la zona común del edificio, estando restringido al personal autorizado. La sala de máquinas dispone de desagüe a la red general de saneamiento del edificio, así como un grifo o toma de suministro de agua, tal y como se establece en el Código Técnico de la Edificación.

El acumulador de ACS, y su correspondiente Grupo de Presión 2, se instalan en una sala de máquinas adyacente, ya que la normativa establece que el acumulador de ACS debe ubicarse en un local exclusivo, que no esté compartido con otros equipos de tratamiento de agua. La sala de máquinas donde se ubica el acumulador está dotada de un desagüe, y dispone de suficiente espacio para favorecer el mantenimiento y limpieza de los equipos. En



el ANEXO N se presentan los planos de la instalación y se puede ver gráficamente cómo se ha distribuido el espacio para la instalación de los sistemas.

10.8. Instalación de fontanería y saneamiento

La instalación de fontanería y saneamiento consta, además de los elementos comunes en cualquier bloque de edificios convencional, de una red de tuberías separativas para el agua regenerada. Se requerirá la instalación de un doble circuito separativo, que no cruce el agua potable del agua de servicio que ha sido recuperada a partir de las aguas pluviales o aguas grises tratadas. No habrá interconexión entre la red de tuberías para el agua potable y el agua regenerada. De esta manera, las tuberías que suministran aguas grises regeneradas a los inodoros, y aguas pluviales a la lavandería, serán independientes de la red de abastecimiento de agua potable.

El dimensionado de la instalación de fontanería y saneamiento se detalla en el ANEXO G. En el anexo se exponen las siguientes cuestiones, que han quedado excluidas de la memoria debido a la extensión que ocupa el dimensionado de la instalación y a su naturaleza de tipo numérico:

- Elección de materiales para la instalación de fontanería y saneamiento.
- Dimensionamiento de la instalación de fontanería.
- Dimensionamiento de la instalación de saneamiento.
- Cálculo de los grupos de presión.

Se sigue la metodología expuesta en el Código Técnico de la Edificación para el dimensionado de instalaciones de suministro de agua y de evacuación de aguas residuales domésticas. Se ha dimensionado el diámetro de tuberías necesario para cada tramo de la red, así como las pérdidas de carga en cada tramo de la red de suministro de agua, dato imprescindible para calcular los grupos hidrocompresores y bombas que deban ser instalados.

Para entender los cálculos que se presentan en el ANEXO G, se deben consultar los planos en A3 que se han elaborado de la instalación, en el ANEXO N. Se han elaborado unos esquemas unifilares (PLANO 9 – PLANO 16) que representan las redes de fontanería y saneamiento del edificio AINOS en 2D. En cada uno de estos esquemas se especifica la longitud en metros de cada tramo de tubería, así como la cantidad de codos, válvulas, contadores y otros accesorios de la instalación. En resto de planos (PLANO 1 – PLANO 8)



aportan una idea gráfica del edificio AINOS y de cómo se ha diseñado la red de suministro y evacuación de agua.

En el presupuesto detallado, ANEXO H, se pueden ver en detalle los accesorios y los tramos de tubo, con su longitud y diámetro, empleados para la instalación. En el ANEXO I hay un resumen de los catálogos comerciales que se han usado para la instalación, y en el ANEXO J hay una clasificación de las tuberías y los accesorios por planos, que resulta muy útil cuando para calcular qué parte del presupuesto de fontanería y saneamiento corresponde únicamente a los equipos de reciclaje y reutilización de agua.

Esto permite calcular el periodo de retorno de la inversión, y el porcentaje de dinero que vale la instalación de un sistema de reciclaje de aguas grises y recogida de aguas pluviales en la inversión inicial de una instalación completa en un edificio de nueva construcción.

10.9. Sistema de control

Para gestionar los sistemas de tratamiento de aguas residuales apropiadamente, es necesario el control del proceso. A causa del incremento del número y la complejidad de los sistemas de tratamiento, el control automatizado de los sistemas se ha convertido en un componente clave en los sistemas de tratamiento de aguas *in situ*. El sistema de control es necesario para controlar bombas, alarmas, y otros procesos de la instalación. Se deben controlar los niveles de líquido en los depósitos, los ciclos de encendido y apagado de las bombas, el estado de la lámpara UV, etc. [Asano et al, 2003].

El sistema se controla mediante tres elementos básicos: los medidores, que aportan los datos necesarios; un control electrónico, que procesa dichos datos y obtiene unos resultados en forma de órdenes y, por último, los actuadores, que son los encargados de ejecutar estas órdenes. El control electrónico escogido es un PLC.

Muchos fabricantes de sistemas de tratamiento de agua *in situ* proveen de controles básicos de sistemas de alarma para avisar de posibles disfunciones del sistema. El control remoto usando sistemas de telemetría se está volviendo cada vez más factible. Por ejemplo, hay empresas que instalan los sistemas de tal forma que envíen al centro de control el estado del sistema (incluida la calidad del agua regenerada) y todos los registros de las alarmas mediante comunicación GPRS. Si hay alguna anomalía, la empresa envía a un operario para que solucione el problema de forma manual. Tras la reparación, el sistema vuelve a control automático.



10.10. Contadores del consumo de agua

La instalación de una red centralizada de generación de ACS, y del sistema de reciclaje de aguas grises y reutilización de aguas pluviales, hace que la instalación de una batería centralizada de contadores divisionarios convencional no sea aplicable en el edificio AINOS.

Cada vivienda necesitará 3 contadores. Un contador para el agua fría potable, otro contador para el agua de servicio (grises), y otro contador para el ACS. Cada vivienda tiene su propio armario ubicado cerca de la puerta de entrada, al que se puede acceder desde el pasillo.

Para facilitar la lectura de los múltiples contadores y modernizar el sistema, se instala un sistema de telegestión de contadores. El sistema escogido es el *iFlow*, comercializado por la empresa COHISA [<http://www.cohisa.com/>, 13 de octubre de 2010]. Se trata de un sistema de lectura remota y automática de contadores que facilita la facturación, proporciona estadísticas de consumo, detecta fugas en el sistema, entre otras ventajas.

El sistema está formado por una infraestructura de comunicación inalámbrica, unos módulos de lectura y un servidor web. La infraestructura de comunicación entre contadores y concentradores se basa en la tecnología *Zigbee*. La red *Zigbee* está formada por los módulos de lectura que se acoplan a cada contador, que forman un sistema de nodos que se comunican unos con otros. La información fluye en el sistema de manera automática hasta llegar al concentrador.

Los módulos de lectura están alimentados por una batería con una autonomía de 10 años realizando lecturas diarias. Son adaptables a distintos tipos, modelos y marcas de contadores. Cada concentrador puede gestionar redes de hasta 70 contadores. Los concentradores toman los datos de los módulos de lectura a unas horas dadas, de manera cíclica y con un período fácilmente parametrizable. Dicha información se transmite entre concentradores hasta llegar a la estación base, punto final de la red.

Por último, la estación base está formada por un módulo concentrador que integra un modem GPRS que envía información directamente al servidor. El servidor web hace la función de almacenamiento intermedio de datos. Desde el servidor se puede visualizar el histórico de las lecturas de los contadores, consumos llamativos, fugas, y otros indicadores de interés.

En el ANEXO I se especifican características técnicas del sistema de telegestión de contadores.



11. Consideraciones económicas

En los apartados anteriores del presente proyecto ha quedado demostrada la viabilidad técnica de la instalación de un sistema de reciclaje de aguas grises y de reutilización de aguas pluviales para el edificio AINOS. En el presente apartado se demuestra la viabilidad económica del proyecto, dando detalles como la inversión inicial o el periodo de retorno.

11.1. Presupuesto del proyecto

La realización del presente proyecto ha requerido varios desplazamientos que incluyen visitas a bibliotecas en busca de documentación técnica, al Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya en busca de normativa y legislación aplicable al proyecto y varias reuniones con los supervisores del proyecto para hacer seguimiento y recibir orientación. Se han estimado un total de 30 viajes (contando idas y vueltas al domicilio del autor del proyecto).

Las horas de ingeniería son las estimadas para un proyecto de estas características, 540 h, a un precio de 40 €/h. Por otro lado, también se cuenta el coste de presentar el proyecto en su formato reglamentario, siendo necesaria la compra de cartuchos de tinta para la impresora, hojas DIN A3 y A4, CDs para su entrega en formato electrónico, así como el coste de encuadernación (Tabla 11.1).

Presupuesto del proyecto	Cantidad	Precio [€/u] (I.V.A incluido)	Precio [€] (I.V.A incluido)
Transporte (T-10 1 Zona)	3	8,25	24,75
Cartucho tinta B/N 300 XL HP F4200	1	32,75	32,75
Cartucho tinta Color 300 XL HP F4200	1	38,25	38,25
Hojas A4	400	0,05	20,00
Impresión planos A3	16	0,8	12,80
CD - R	5	1,5	7,50
Encuadernación y etiquetas	1	30	30,00
Horas de ingeniería	540	40	21.600,00
TOTAL			21.766,05

Tabla 11.1. Presupuesto del proyecto [Elaboración propia]



11.2. Presupuesto total de la ejecución del proyecto

Se muestra el presupuesto total de la ejecución del proyecto (Tabla 11.2). El presupuesto se ha dividido en 10 partidas presupuestarias, que se especifican en detalle en el ANEXO H. El presupuesto total abarca el total de la instalación de fontanería y saneamiento (incluyendo grifería, aparatos sanitarios, electrodomésticos, sistema de ACS, grupos de presión, sistemas de reciclaje y reutilización de agua, telegestión de contadores y mano de obra). En apartados posteriores se presentará el presupuesto de los sistemas de reciclaje de aguas, y se compararán los costes y los beneficios económicos de instalar o no estos sistemas en un edificio de nueva construcción.

Partida presupuestaria	Precio [€] (I.V.A incluido)
Presupuesto de elementos en la instalación general (Grifería, aparatos sanitarios y electrodomésticos)	77.147,28
Sistemas de reciclaje y reutilización del agua	21.819,44
Grupos de presión	5.077,00
Sistema de generación de ACS por energía solar	19.557,00
Sistema telemático de contadores	10.531,59
Tuberías necesarias para la instalación de fontanería	5.059,17
Tuberías necesarias para la instalación de saneamiento	3.499,99
Accesorios necesarios para la instalación de fontanería	11.003,97
Accesorios necesarios para la instalación de saneamiento	1.950,17
Mano de obra y recursos humanos para la ejecución del proyecto	8.400,00
TOTAL	164.045,61

Tabla 11.2. Presupuesto general de la instalación [Elaboración propia]

El total del presupuesto del proyecto y la ejecución del proyecto suma un total de 185.811,66 €.

11.3. Presupuesto específico de los sistemas de reciclaje

El presupuesto total era el presupuesto de toda la instalación de fontanería y saneamiento, incluyendo grifería, electrodomésticos y aparatos sanitarios. Sin embargo, el objetivo del presente apartado es el estudio de viabilidad económica de los sistemas de reciclaje y reutilización de agua, en contraste con una instalación que no los tuviera.



Se ha tenido en cuenta, para calcular la diferencia entre la instalación de doble circulación, la impulsión de aguas grises por el edificio y por las viviendas, así como la colección de aguas grises (ya que sino discurrirían por los bajantes de aguas negras, no sería separativa). El saneamiento de aguas pluviales no se ha contado en este presupuesto específico, ya que se deben evacuar igual, aunque fueran a la alcantarilla en lugar de al depósito de almacenamiento. En el ANEXO J se presenta un desglose del coste de las tuberías de fontanería y saneamiento, y de sus accesorios, clasificado por planos, lo que ha sido de mucha ayuda para separar la parte del presupuesto que es intrínseca a los sistemas de reciclaje de agua (Tabla 11.3).

Gastos directos de los sistemas de ahorro de agua	Precio [€] (I.V.A incluido)
Sistema de reciclaje de aguas grises	13.990,00
Sistema de reciclaje de aguas pluviales	7.829,44
Grupos de presión 3 + Bomba horizontal	1.497,00
Tuberías adicionales para la fontanería	604,47
Tuberías adicionales para el saneamiento	1.047,44
Accesorios adicionales para la fontanería (contadores incluidos)	2.680,69
Accesorios adicionales para el saneamiento	577,76
TOTAL	28.226,80

Tabla 11.3. Presupuesto de los sistemas de ahorro de agua [Elaboración propia]

Los gastos directos de la instalación de estos sistemas son de 28.226,80 €, lo que representa un 15,2% del precio de la instalación total de fontanería y saneamiento, que suma el total de 185.811,66 €.

11.4. Ahorros y costes

El objetivo principal de los sistemas instalados es el ahorro de agua, mediante la reutilización de parte de las aguas residuales domésticas para usos que no requieran agua potable. Además de la mejora de la sostenibilidad del edificio y de la gestión del agua en la ciudad de Barcelona, la instalación de estos sistemas va a tener un efecto sobre la factura del agua.

Se ha calculado que el ahorro de agua producido por la instalación de los sistemas de reutilización es de 809,74 m³/año. Este ahorro se desglosa en 688,24 m³/año ahorrados



gracias al sistema de reciclaje de aguas grises, y 121,5 m³/año ahorrados gracias al sistema de recogida de aguas pluviales (Fig. 11.1).

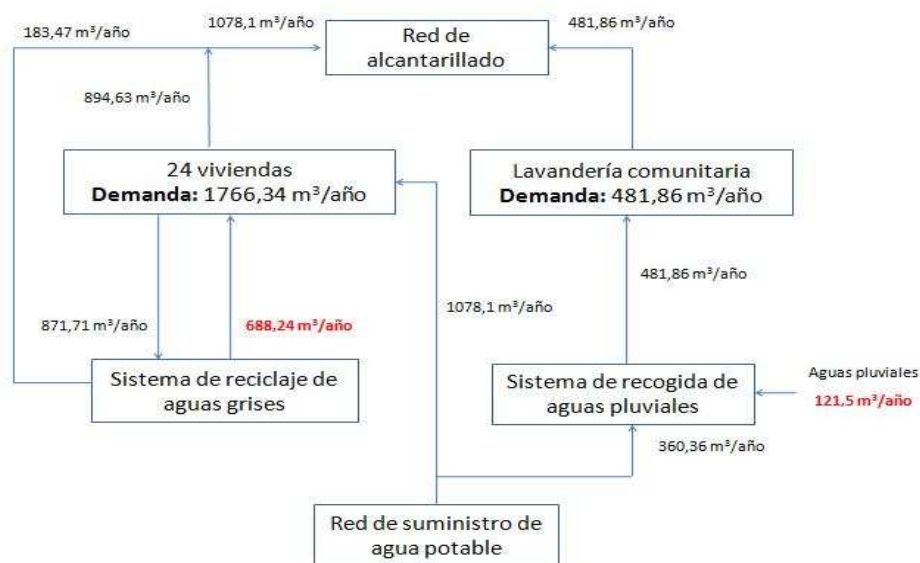


Fig. 11.1. Esquema explicativo del ahorro de agua en el edificio AINOS [Elaboración propia]

Sobre el consumo de 2.248,2 m³/año totales en el edificio AINOS, esto supone un ahorro del 36,02% de agua potable proveniente de la red, lo que se ajusta a las previsiones que se habían estimado con los casos de estudio.

El coste anual del consumo de agua en el edificio AINOS sin sistemas de reciclaje es de 2.547,84 €, y con sistemas de reciclaje de 1.451,52 €. Se ha estimado un ahorro anual de 1.096,32 € para el primer año, gracias a la reducción del consumo de agua (ver ANEXO L).

Por otro lado, el coste de la electricidad consumida por la Bomba H81 (aguas pluviales), y el Grupo H2H 80 T (aguas grises) se ha valorado en 1.314 KWh/año, lo que supone un coste de 191,9 € anuales. El coste de mantenimiento el primer año se ha previsto de 800 € (ver ANEXO L).

11.5. Periodo de retorno de la inversión

Para el cálculo del período de retorno de la inversión se ha previsto un escenario futuro en que el precio del agua sube un 6% anual, el de la electricidad un 7% anual, y el del mantenimiento un 2% anual (ver ANEXO L).

El período de retorno de la inversión (Fig. 11.2) es de 28 años. A los 30 años habremos obtenido unos beneficios de 7.829,84 €, para el edificio AINOS (326,24 € de ahorro para



cada vivienda). En el ANEXO M se presenta de forma detallada el flujo de caja acumulado, el ahorro acumulado y el coste acumulado, año por año.

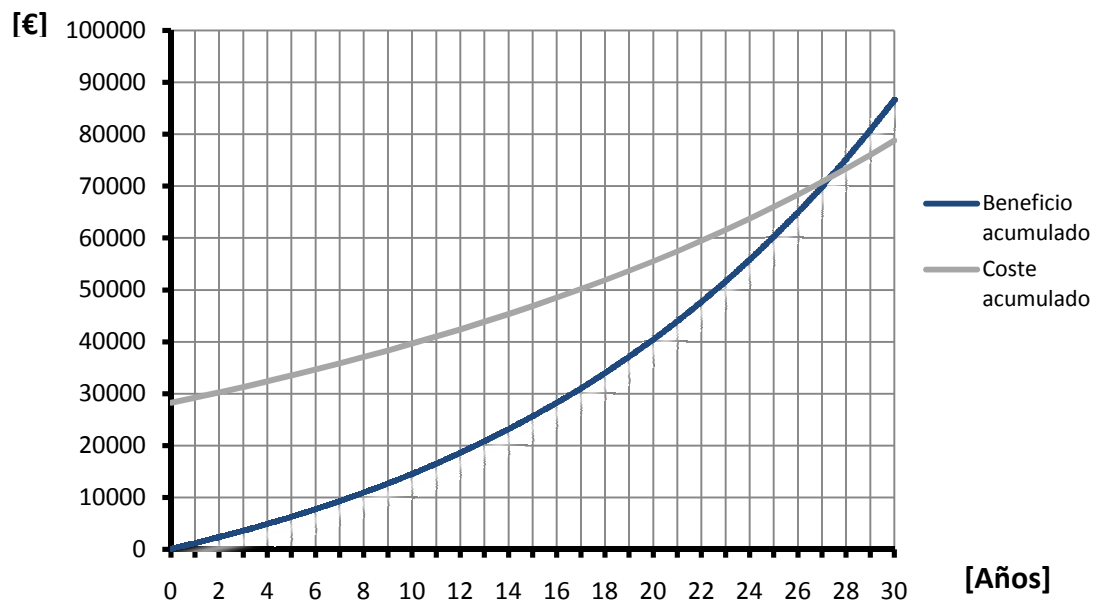


Fig. 11.2. Gráfica del periodo de retorno de la inversión [Elaboración propia]

Aunque el periodo de retorno no es suficientemente corto para que el proyecto se considere económicamente viable, la decisión de instalar estos sistemas debe estar inducida por sus beneficios medioambientales en el ámbito de la conservación de los recursos de agua. Además, el uso de estos sistemas refinará la tecnología, con lo que la eficiencia de estos será cada vez mayor. La apuesta por un modelo de gestión de agua descentralizado es la mejor opción para alcanzar el desarrollo sostenible en el ámbito de la gestión de agua en grandes ciudades.

Una buena medida para mejorar el beneficio económico de la instalación de estos sistemas sería que la Administración ofreciera incentivos económicos a los ciudadanos que instalaran estos sistemas en sus edificios, o bien que la compañía del agua premiara el consumo bajo y penalizara el alto de una forma más rigurosa.





12. Impacto del proyecto

12.1. Aceptación social del proyecto

Como se ha visto, los sistemas de reutilización de agua son caros, y tienen un periodo de retorno largo de la inversión. Requieren mantenimiento, y gastan energía. No se considera que la gente pueda sentir rechazo a reutilizar el agua de su vecino, debido a que los fabricantes aseguran la salubridad del agua tratada, sin riesgo para la salud, además de que se hacen controles periódicos de la calidad del agua tratada. Por otro lado, a las aguas grises tratadas no se les dará otro uso en el interior de la vivienda que la descarga de las cisternas del inodoro.

Uno de los problemas que presentan estos sistemas es el de su largo periodo de retorno de la inversión. Esto puede crear resistencia al consumidor individual. Sin embargo, la instalación de estos sistemas tiene grandes beneficios a escala regional y nacional en cuanto a la utilización de los recursos hídricos. Por tanto, una buena medida que podrían tomar las autoridades locales o nacionales sería dar subsidios o incentivos por m³ de agua reutilizada, o reducir los impuestos de propiedad en los edificios que cuenten con este tipo de sistemas.

Cabe considerar que si la práctica de la reutilización de aguas grises y pluviales se extiende, los costes económicos de estos sistemas obviamente decrecerían, haciéndolos más asequibles a todo tipo de consumidores.

12.2. Evaluación del impacto ambiental

El primer factor a considerar para el impacto ambiental es el que tiene la elaboración y ejecución del propio proyecto. Para realizarlo se ha gastado papel, energía eléctrica (ordenador e impresora), y se ha utilizado el transporte público para los diversos desplazamientos que ha requerido.

Para la instalación de fontanería y saneamiento se ha procurado utilizar materiales que sean reciclables al final de su uso de vida, y se ha desechado el uso de materiales contaminantes en su etapa de fabricación como el PVC. Otro factor a tener en cuenta son las emisiones de CO₂ producidas por los vehículos de transporte de los sistemas de reciclaje de agua y otros elementos de la instalación, al transportarlos al edificio AINOS.

Los controles electrónicos para mantener los niveles de agua y hacer trabajar a las bombas pueden tener un impacto ambiental. Se estima que por cada kWh generado se emiten 510 g



de CO₂ a la atmósfera en las plantas de generación eléctrica [http://www.responsabilidad.net, 15 de diciembre de 2010]. Antes se ha calculado que el gasto energético del sistema será de unos 1.314 kWh/año, por lo que se generarán indirectamente unas emisiones de 670,14 kg CO₂/año por el uso de estos sistemas.

El uso de un sistema para calentar ACS por energía solar nos permite ahorrar una media diaria de energía de 43,47 kWh/día, por lo que se evita emitir 22,17 Kg CO₂ a la atmósfera cada día. Por otro lado, el uso de electrodomésticos bitérmicos reduce el consumo energético del edificio, aprovechando también el sol como fuente de energía para la lavadora y el lavavajillas.

La normalización de aplicación de sistemas de ahorro de agua como los descritos en el presente proyecto lograría, sin lugar a dudas, que Barcelona redujese el consumo de agua a menos de 100 litros por persona y día, considerado un objetivo a alcanzar para el diseño de una ciudad más sostenible.

El beneficio que proporciona el uso de estos sistemas es la conservación de los recursos naturales de agua y de los ecosistemas. También contribuyen a que haya un menor gasto de energía en el transporte y el tratamiento de agua. Además, se usan menos productos químicos para el tratamiento de agua en las plantas centralizadas. Si se genera menos agua residual, la carga en los sistemas de alcantarillado y las plantas de tratamiento de aguas residuales será inferior, con la subsiguiente reducción de costes.

Por otro lado, aunque es el consumidor individual el que va a ver reducida directamente su factura del agua, los costes de tratamiento, transporte y distribución de agua para consumo humano corren a cargo del público en general. Por ello estos *stakeholders* también van a tener beneficios indirectos.

Sin embargo, nos encontramos con el problema de que podrían existir dificultades en las plantas de tratamiento al variar las concentraciones de los contaminantes del agua (las cargas de contaminantes biodegradables decrecerían, mientras que las cargas de contaminantes no-biodegradables serían constantes, lo que dificultaría el tratamiento biológico).

Haciendo una valoración global de estos sistemas, se recomienda su uso ya que sus beneficios ambientales son mucho mayores que sus inconvenientes.

12.3. Perspectivas de futuro

Se considera que los sistemas de reciclaje de aguas grises y de recogida de aguas pluviales se irán extendiendo debido a la proliferación de Ordenanzas Municipales en municipios



catalanes que obligan a la instalación de estos sistemas en los edificios de nueva construcción. Por otro lado, no se prevé una extensión importante de la tecnología del *dry toilet* en España a corto y medio plazo.

En cuanto a la tarificación, para mejorar la eficiencia en el consumo de agua de los municipios, la empresa responsable del abastecimiento de agua debe poner tarifas progresivas, atendiendo al número de usuarios de agua en las viviendas, con un umbral básico entre unos 110 y 130 L/p-d, que sancionen el derroche y premien el ahorro. Por encima de este nivel, deberían fijarse unos costes que penalizasen la ineficiencia y el derroche. También existen sistemas tarifarios temporales o estacionales que tienen la ventaja principal de reducir la demanda incrementando los precios en periodos estivales o de sequía.

Otra medida para mejorar la eficiencia del consumo de agua sería realizar una inversión en el mantenimiento y la renovación de las redes de distribución. El ratio de eficiencia conseguido debería ser del orden del 85% [Xarxa de ciutats i pobles cap a la sostenibilitat, 2005].

Se deberían realizar campañas educativas permanentes que informaran a la población de los beneficios ambientales, sociales e individuales de instalar tecnologías eficientes en el uso del agua y desarrollar hábitos ahorradores y otras medidas que permitan agilizar la difusión de las tecnologías de ahorro entre los diferentes usuarios, así como campañas de sensibilización dirigidas a mejorar la calidad del vertido.

Además de instalar los elementos de ahorro, para mejorar la eficiencia de agua no hay que olvidar las buenas prácticas:

- Ducharse en lugar de bañarse: Una ducha significa un consumo de agua de 30 a 80 litros, mientras que bañarse puede comportar un gasto de 200 a 300 litros.
- Poner la lavadora consume de 60 a 90 litros de agua. Optimizar su uso llenando bien la lavadora, y seleccionando el programa adecuado para el tipo de colada.
- Respecto al uso de los grifos, se deben cerrar mientras el usuario se enjabona las manos, se seca la cara, se limpia los dientes, etc.
- Usar el lavavajillas comporta un gasto de entre 18 y 30 litros de agua. Se debe llenar bien el lavavajillas antes de utilizarlo.

Se considera que la concienciación de la población puede ser uno de los factores clave para liderar a nuestra sociedad hacia el éxito en materia de eficiencia en el consumo de los recursos hídricos.





Conclusiones

En el presente proyecto se han expuesto las tecnologías de ahorro de agua más importantes que existen actualmente. Se ha estudiado la viabilidad e idoneidad de su implantación en un edificio de viviendas estándar de la ciudad de Barcelona. Como estándar se ha elegido un sofisticado modelo de edificio pensado para gente joven, ya que se ha creído que podría ser un modelo que marque el patrón de una nueva tendencia arquitectónica.

La solución escogida consta de un sistema de reciclaje de aguas grises y de recogida de aguas pluviales, que se combina con elementos de ahorro en grifería y descarga de inodoros, electrodomésticos ahorradores, y el uso de energía solar para generar agua caliente sanitaria.

Para mejorar en mayor medida la eficiencia en agua de los edificios de Barcelona, se propone una modificación de las Ordenanzas Municipales que se han desarrollado los últimos años en Cataluña, ya que resultan demasiado restrictivas en cuanto a los sistemas de reciclaje de aguas grises (no dejan reutilizar aguas grises de la lavandería, y restringen su uso posterior exclusivamente a la descarga de los inodoros). Además, prohíben la recogida de aguas pluviales en terrazas transitadas por personas, práctica que se realiza con éxito en otros países, y que permitiría recoger y aprovechar un mayor volumen de agua con la misma pluviometría anual.

Acerca del *dry toilet* se propone mantenerse a la espera de que se introduzca más en el mercado nacional, y aparezcan normativas y legislaciones que regulen su uso. Se cree fundamental realizar campañas de comunicación para la aceptación social del producto. Sin embargo, en el ámbito tecnológico, no existe motivo alguno que pudiera poner en compromiso el uso del *dry toilet* eléctrico en los edificios de Barcelona, aunque la evacuación de los residuos sería una inconveniencia para los usuarios. Por eso, se sigue creyendo que la alternativa de cisternas de descarga (con sistema de aguas grises), es más indicada para un edificio de viviendas multifamiliar en el casco urbano.

Los datos de consumo de agua en Barcelona, de 110 L/p-d, la sitúan en el sexto puesto del ranking de ciudades europeas relacionadas con el ahorro de agua. La normalización de aplicación de sistemas de ahorro de agua como los descritos en el presente proyecto lograría, sin lugar a dudas, que Barcelona redujese el consumo de agua a menos de 100 litros por persona y día, considerado un objetivo a alcanzar para el diseño de una ciudad más sostenible.





Agradecimientos

Quiero agradecer a mi tutor, el profesor Joaquim Lloveras, el haberme dado la idea para realizar este proyecto, ya que en el momento en que me entrevisté con él yo desconocía la existencia de los sistemas de reciclaje de aguas grises, el saneamiento ecológico con *dry toilet* y el aprovechamiento de agua de lluvia en grandes ciudades. Haber realizado este proyecto me ha permitido profundizar mis conocimientos en el ámbito de la arquitectura sostenible, tomar consciencia del problema de la escasez y la gestión del agua, y aprender cómo la innovación tecnológica puede conseguir satisfacer las necesidades de nuestra sociedad, a la par que permite un desarrollo sostenible que preserve el medio ambiente y los recursos para generaciones futuras.

A lo largo de todo el proyecto, el profesor Joaquim Lloveras me ha orientado y ha atendido siempre a mis dudas. Incluso en períodos en los que yo no lograba avanzar en el proyecto (y los ha habido ya que, además de compaginar mis estudios con la vida laboral, he vivido un año especialmente duro a nivel personal), ha sido él mismo quién se ha puesto en contacto conmigo para preguntarme qué tal llevaba el proyecto, o me enviaba noticias y artículos que me pudieran ayudar en su desarrollo. Por otro lado, siempre ha estado disponible, receptivo, y estoy seguro de que me ha ayudado en todo lo que ha podido. Por todo ello quiero darle mi más sincero agradecimiento, ya que, una vez realizado el proyecto, sé que no hubiera podido tener un tutor mejor.

También quiero darle las gracias al profesor Josep Maria Nacenta, que aceptó ser el ponente de mi proyecto de final de carrera, debido a que el profesor Joaquim Lloveras, a pesar de ser profesor del centro de estudios, se tomó un año sabático durante el curso académico en el que realicé gran parte del presente proyecto.

Por último, quiero agradecer al centro de estudios ETSEIB haberme formado como ingeniero y como persona a lo largo de estos últimos años. Puedo decir que han sido una época de mi vida muy enriquecedora a todos los niveles.





Bibliografía

Referencias bibliográficas

ABDULLA, F. A., AL-SHAREEF, A. W. *Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan*. Desalination 243, 2009, p. 195 – 207.

ABN PIPES. *Empresa distribuidora de tuberías para fontanería y saneamiento*. [<http://www.abnpipesystems.com/>, 26 de junio de 2010]

AJUNTAMENT DE SANT CUGAT. *Ordenança Municipal per a l'estalvi d'aigua*. Sant Cugat del Vallés, 2002.

AL-JAYYOUSI, O. R. *Greywater reuse: towards sustainable water management*, Desalination 156, 2003, p. 181 – 192.

AQUATRON INTERNATIONAL AB. *Empresa sueca de váter seco de compostaje*. [<http://www.aquatron.se>, 13 de marzo de 2010]

ASANO, T., BURTON, F., LEVERENZ, H., TSUCHIHASHI, R., TCHOBANOGLOUS, G. *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*. Metcalf & Eddy. Editorial McGraw-Hill. New York, 2007.

AYUNTAMIENTO DE BARCELONA. *Consumo en la ciudad y consejos para ahorrar agua*. [<http://w3.bcn.es>, 15 de mayo de 2010]

BIOLET. *Empresa que comercializa váter seco*. [<http://www.composttoilet.eu/>, 5 de enero de 2010]

BOMBAS BLOCH. *Empresa que comercializa bombas, hidrocompresores y grupos de presión*. [<http://www.bombasbloch.com/>, 25 de mayo del 2010]

BRISSAUD, F. *Criteria for water recycling and reuse in the Mediterranean countries*. Desalination 218, 2008, p. 24 – 33.

CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. *Documento Básico HS 4: Suministro de agua; Documento Básico HS 5: Evacuación de aguas; Documento Básico HE4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*. 2009.

COHISA. *Empresa de contadores, baterías, válvulas y accesorios para la distribución y el control del agua*. [<http://www.cohisa.com/>, 13 de octubre de 2010]



COMEVAL. *Empresa de válvulas y dispositivos de control de fluidos.* [<http://www.comeval.es/>, 11 de junio de 2010]

CHRISTOVA-BOALA, D., EDENB, R. E., MCFARLANE, S. *An investigation into greywater reuse for urban residential properties.* Desalination 106, 1995, p. 391 – 397.

E3ILLUMINATION. *Empresa de servicios energéticos en iluminación.* [<http://e3illumination.com/>, 22 de enero de 2011]

EL MUNDO. *Periódico.* [<http://www.elmundo.es/>, 22 de enero de 2011]

EQUARIS. *Empresa estadounidense de tratamiento de aguas residuales.* [<http://www.equaris.com/>, 15 de enero de 2011]

ESPA. *Empresa de mejora de eficiencia en agua y energía.* [<http://www.espagroup.com/>, 7 de junio de 2010]

FILTEC. *Tienda de depuradoras on-line.* [<http://depuradoras.es/>, 10 de junio de 2010]

FRIEDLER, E., HADARI, M. *Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings.* Desalination 190, 2006, p. 221 – 234.

GENERALITAT DE CATALUNYA. *Concurs per a joves arquitectes 2003.* Barcelona, 2003.

GODDARD, M. *Urban greywater reuse at the D'LUX Development.* Desalination 188, 2006, p. 135 – 140.

HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Depuración y desinfección de aguas residuales.* Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (UPM). Colección Senior. Madrid, 2001.

HOG. *Empresa australiana de tanques para aprovechamiento de las aguas pluviales.* [<http://rainwaterhog.com/>, 14 de septiembre de 2010]

INSTALACIONES SABATER. *Empresa dedicada al mantenimiento de instalaciones industriales y domésticas.* [<http://www.instalsabater.com/>, 11 de junio de 2010]

INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL AGUA. *El precio del recibo del agua en la Comunitat aumenta un 27% en cinco años.* [<http://www.ita.upv.es/>, 10 de noviembre de 2010]

IPC BLOG. *Blog que trata temas relacionados con el IPC.* [<http://www.ipcblog.es/>, 22 de enero de 2011]

JUNKERS. *Empresa de calentadores instantáneos a gas.* [<http://www.junkers.com/>, 18 de mayo del 2010]



LI, F., WICHMANN, K., OTTERPOHL, R. *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses*. Science of the Total Environment 407, 2009, p. 3439 – 3449.

MARCADIFERENCIA. *Venta de productos para la protección del medio ambiente*. [http://www.marcadiferencia.com/, 20 de mayo de 2010]

MARCH, J. G., GUAL, M., OROZCO, F. *Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain)*. Desalination 164, 2004, p. 241 – 247.

METEOCAT. *Servicio meteorológico de Cataluña*. [http://www.meteo.cat, 14 de mayo del 2010]

MULTICAPAS. *Empresa distribuidora de tuberías para fontanería y saneamiento*. [http://www.multicapas.com/, 21 de junio del 2010]

MULTISHOWER. *Tienda de elementos ahorradores de agua*. [http://www.multishower.org, 15 de junio de 2010]

MUNDET, A., CARNERO, P., ROCA, J. F. *Energía solar tèrmica (Col·lecció Quadern pràctic 3)*. Generalitat de Catalunya, Institut Català de l'Energia, 2009.

NATURE LOO. *Empresa australiana de váter seco de compostaje*. [http://www.nature-loo.com.au/, 7 de abril de 2010]

NOLDE, E. *Possibilities of rainwater utilisation in densely populated areas including precipitation runoffs from traffic surfaces*. Desalination 215, 2006, p. 1 – 11.

OCU. *Organización de consumidores y usuarios*. [http://www.ocu.org/, 22 de enero de 2011]

PUBLIME. *Tienda de señales y adhesivos de seguridad e información*. [http://www.publime.es/, 10 de junio del 2010]

REMOSA. *Empresa nacional de distribución e instalación de sistemas de reciclaje de aguas grises*. [http://www.regeneraciondeaguas.com/, 16 de enero de 2010]

RESPONSARBOLIDAD. *Campaña de la empresa agroforestal Maderas Nobles de la Sierra de Segura, S.A.* [http://www.responsarbolidad.net, 15 de diciembre de 2010]

RITE. *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*. Real Decreto 1027/2007. 2007.



ROCA. *Empresa de sanitarios, duchas, cocinas y baños*. [<http://www.roca.com.es/>, 17 de mayo del 2010]

ROGUI. *Empresa de instalaciones de saneamiento*. [<http://www.rogui.com/>, 7 de julio de 2010]

ROSE, J.B., SUN, G.S., GERBA, C. P., SINGLAIR, N.A. *Microbial quality and persistence of enteric pathogens in greywater from various household sources*, 1991.

SIEMENS. *Empresa de electrónica de consumo y electrodomésticos*. [<http://www.siemens-home.es>, 14 de mayo del 2010]

SKYWATERCOMPANY. *Empresa que vende sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales*. [<http://www.skywatercompany.com/>, 14 de septiembre de 2010]

SMS. *Empresa Suministros y Montajes Solares*. [<http://www.smssolar.es/>, 14 de enero de 2011]

SOLICLIMA ENERGÍA SOLAR. *Empresa nacional de mejora de la eficiencia energética y de consumo de agua en el hogar*. [http://www.soliclima.com/reciclaje_aguas.html, 7 de marzo de 2010]

TODOENSALUDNATURAL. *Eco-tienda*. [<http://www.todoensaludnatural.com/>, 20 de mayo del 2010]

TOTAGUA. *Empresa nacional de reciclaje de aguas residuales y recogida de aguas pluviales*. [<http://www.totagua.com/>, 23 de mayo de 2010]

VAILLANT. *Empresa de sistemas de calentamiento de agua doméstica sanitaria*. [<http://www.vaillant.es/>, 11 de junio de 2010]

VILLARREAL, E. L., DIXON, A. *Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden*. *Building and Environment* 40, 2005, p. 1174 – 1184.

WILTSHIRE, M., *Greywater Reuse in Urban Areas*. University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying, 2005.

XARXA DE CIUTATS I POBLES CAP A LA SOSTENIBILITAT. GRUP DE TREBALL NOVA CULTURA DE L'AIGUA. *Ordenança Tipus per a l'estalvi d'aigua*. Diputació de Barcelona. Barcelona, 2005.



XARXA DE CIUTATS I POBLES CAP A LA SOSTENIBILITAT. *Revista Sostenible*. Diputació de Barcelona. [<http://www.sostenible.cat/>, 13 de noviembre del 2009]

XARXA DE CIUTATS I POBLES CAP A LA SOSTENIBILITAT. GRUP DE TREBALL NOVA CULTURA DE L'AIGUA. *Informe: seguiment de la implantació d'Ordenances Municipals sobre l'estalvi d'aigua*. Diputació de Barcelona. Barcelona, 2009.

YOURHOME. *Your Home Technical Manual Desing for lifestyle and the future*. [<http://www.yourhome.gov.au>, 13 de mayo del 2010]

Bibliografía complementaria

CHILTON, J. C., MAIDMENT, G. G., MARRIOTT, D., FRANCIS, A., TOBIAS, G. *Case study of a rainwater recovery system in a comercial building with a large roof*. *Urban Water* 1, 1999, p. 345 – 354.

ERIKSSON, E., ANDERSEN, H. R., MADSEN, T. S., LEDIN, A. *Greywater pollution variability and loadings*. *Ecological engineering* 35, 2009, p. 661 – 669.

ERIKSSON, E., AUFFARTH, K., HENZE, M., LEDIN, A. *Characteristics of grey wastewater*. *Urban Water* 4, 2002, p. 85 – 104.

FEWKES, A. *The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system*. *Building and Environment* 34, 1999, p. 765 – 772.

FRIEDLER, E., GILBOA, Y. *UV disinfection of RBC-treated light greywater effluent: Kinetics, survival and regrowth of selected microorganisms*. *Water Research* 42, 2008, p. 1043 – 1050.

GHISI, E., FERREIRA, D. F. *Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil*. *Building and Environment* 42, 2007, p. 2512 – 2522.

NOLDE, E. *Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings – over ten years experience in Berlin*. *Urban Water* 1, 1999, p. 275 – 284.

RADCLIFFE, J. *Water recycling in Australia*. Victoria: The Australian Academy of Technological Sciences and Engineering, 2003.

ROSSI, L., LIENERT, J., LARSEN, T. A. *Real-life efficiency of urine source separation*. *Journal of Environmental Management* 90, 2009, p. 1909 – 1917.

