

Trabajo de Fin de Grado

**'Un uso eficiente del agua doméstica:
Tratamiento de las *aguas grises*'.**

Alumno: María Castro Montilla.

Grupo: 5.F1

Tutor: Jaime Navarro Casas.



Grado en Fundamentos de la Arquitectura

0_ ÍNDICE

1_ RESUMEN.....	Pág. 3
2_ INTRODUCCIÓN.	Pág. 4
2.1_ Motivación, relevancia y oportunidad del tema.....	Pág. 4
2.2_ Objetivos del estudio.....	Pág. 4
2.3_ Estado de la cuestión. (Contexto histórico).....	Pág. 4
2.4_ Delimitación del ámbito de estudio.....	Pág. 5
3_ DESARROLLO DE LOS CONTENIDOS.....	Pág. 6
3.1_ La reutilización del agua y su contexto histórico.....	Pág. 6
3.2_ El consumo de agua doméstica.....	Pág. 9
3.3_ Las aguas grises domésticas.....	Pág. 12
3.3.1_ Origen de aguas grises domésticas.....	Pág. 12
3.3.2_ Destino de aguas grises domésticas. Calidades y restricciones.....	Pág. 15
3.4_ Instalación de reciclaje de agua en la edificación. Procesos de tratamiento de las aguas grises.....	Pág. 19
3.4.1_ Tratamientos de regeneración de las aguas grises.....	Pág. 24
3.4.2_ Tratamientos de regeneración de las antiguas aguas grises.....	Pág. 29
3.4.3_ Desinfección de las aguas grises regeneradas.....	Pág. 35
3.5_ Influencia de los materiales de la instalación.....	Pág. 42
3.6_ Consideraciones espaciales.....	Pág. 45
3.7_ Aceptación social.....	Pág. 49
3.8_ Relación coste-beneficio.....	Pág. 50
3.9_ Otras aplicaciones de las aguas grises. Recuperación de energía.....	Pág. 54
3.9.1_ Energía térmica.....	Pág. 54
3.9.2_ Energía eléctrica.....	Pág. 56
4_ APLICACIÓN PRÁCTICA DEL TEMA.....	Pág. 58
4.1_ Desarrollo del caso práctico.....	Pág. 58

4.1.1_ Vivienda plurifamiliar.....	Pág. 58
4.1.2_ Bloque residencial urbano.....	Pág. 65
4.1.3_ Barrio residencial.....	Pág. 69
4.2_ Resultados.....	Pág. 71
5_ CONCLUSIONES.....	Pág. 72
6_ BIBLIOGRAFÍA.....	Pág. 73

1_ RESUMEN

El trabajo expuesto a continuación plantea la reutilización de las aguas grises como un método novedoso para conseguir un uso eficiente del agua en el ámbito doméstico, llevando consigo un ahorro del recurso para conseguir, por una parte, la reducción de los costes debido a un consumo menor del agua; y por otra, una reducción de la huella ecológica para contribuir a un progreso hacia una arquitectura más sostenible y solidaria con el medioambiente. Se desarrollarán conceptos que abarcan, desde la evolución del concepto de reutilización del agua a lo largo de la historia, hasta diferentes tecnologías de tratamiento del efluente residual, teniendo en cuenta su implantación en la realidad, lo que puede acarrear problemas de espacio así como de aceptación social.

2_ INTRODUCCIÓN

2.1_ Motivación, relevancia y oportunidad del tema.

Se trata de un tema de gran actualidad, debido a que cada vez se hace más necesaria la investigación de nuevas técnicas que reduzcan el impacto de la arquitectura en el medioambiente, para llegar a la configuración de un *edificio sostenible*. El aprovechamiento de un recurso tan necesario y escaso como es el agua, dándole una nueva vida para diversos usos, es una de las tantas medidas que podemos tomar para conseguir una sostenibilidad global.

A día de hoy no es un tema muy desarrollado, puesto que se está empezando a estudiar. Esto lo hace muy atractivo para líneas de investigación futuras.

2.2_ Objetivos del estudio.

- Conocer la evolución del concepto de reutilización del agua a lo largo de la historia y cuándo se plantea por primera vez el reciclaje de las aguas grises.
- Conocer las demandas de agua domésticas diarias y el volumen de agua gris que podemos aprovechar para ello.
- Clasificar los tipos de aguas residuales y características específicas de las aguas grises.
- Establecer posibles destinos del agua gris reciclada según la calidad del efluente regenerado.
- Descubrir procedimientos para el tratamiento de las aguas grises y la idoneidad de cada uno de ellos para su aplicación en la arquitectura.
- Definir qué materiales son adecuados en dichos procesos de tratamiento.
- Conocer cuáles son las necesidades espaciales que requiere la instalación.
- Comprobar la aceptación social que tiene este tipo de sistemas.
- Comprobar la rentabilidad o no del sistema a distintas escalas.
- Conocer otras aplicaciones de las aguas grises en lo referente a la recuperación de energía.

2.3_ Estado de la cuestión.

La mayor parte de la bibliografía disponible desarrolla el tema desde el punto de vista de la ingeniería y la química, incluyendo análisis exhaustivos de la composición del agua gris y citando posibles tratamientos sin explicar cómo funcionan, simplemente demostrando su efectividad en la eliminación de sustancias patógenas. Se denota cierta ausencia de aspectos más propiamente arquitectónicos, como la definición del sistema, la espacialidad requerida en la instalación o el coste de dichos tratamientos y su aceptabilidad social. Por tanto, podemos afirmar que no es un tema muy desarrollado en el ámbito de la arquitectura en

comparación con otras ramas científicas, hecho que es preocupante, dada la aplicación final del sistema. Únicamente se ha encontrado un libro escrito por un profesor de la Universidad de Arquitectura de Navarra que explica los procesos de tratamiento de una manera clara que hace entender cómo funcionan. El resto de bibliografía es una ampliación de los conocimientos pero no son suficientes para entender el tema por sí solas.

2.4_ Delimitación del ámbito de estudio.

De todas las aplicaciones que puede tener la reutilización de las aguas grises, nos centraremos en el ámbito residencial, y dentro de éste, en su aplicación en zonas urbanas.

3_ DESARROLLO DE LOS CONTENIDOS

3.1_ La reutilización del agua residual y su contexto histórico.

Palma Carazo (2003) define los siguientes objetivos de la reutilización del agua:¹

- a) Disminuir la contaminación de los cauces de agua, mediante la desaparición de cualquier vertido, tratado o no.
- b) Suplir un defecto de recurso para un uso particular, como el riego de grandes superficies verdes.
- c) Permitir cierto ahorro de recurso, especialmente el de gran calidad ecológica, que podría utilizarse en otros usos que lo demanden (descentralización en función de la calidad demandada).

Puesto que la reutilización del agua es un tema que se está empezando a desarrollar en la actualidad, no existe todavía una normativa que recoja las condiciones específicas de reutilización de efluentes. Únicamente encontramos algunas referencias legales que mencionan indirectamente el tema. El marco referencial más importante se encuentra en la Ley del Agua (LA).¹

Los primeros indicios que se tienen de la reutilización de aguas residuales provienen de su aplicación para el riego de terrenos. Por ejemplo, los sistemas de regadío en la civilización minoica en el año 2.000 a.C., donde las aguas residuales de la ciudad de Jerusalén se conducían hasta un estanque donde eran sometidas a una sedimentación y posteriormente se redirigían para el riego de huertas periféricas.

En Levante encontramos circuitos de acequias y canales de época romana y sobretudo árabe que permitían que las aguas residuales urbanas llegaran hasta los regadíos de extrarradio.

Durante los siglos XVI-XVII, era frecuente recoger las aguas residuales domésticas de la nobleza castellana para el riego de los campos adyacentes.

En el siglo XIX aparecen las primeras redes modernas de alcantarillado en Europa y Norteamérica. De esta forma, las aguas residuales urbanas eran reconducidas hasta ser vertidas en terrenos utilizados para el cultivo agrícola, constituyendo las denominadas *sewage farms* (<<huertas donde acaba el agua de alcantarilla>>).

En el siglo XX se han desarrollado algunos proyectos de reutilización directa, aunque el destino ha sido casi siempre el riego agrícola, sector que consume la mayor parte del recurso mundial, además de no precisar de una gran calidad ecológica. En la actualidad, existen ejemplos aislados donde el campesinado manipula la red de saneamiento urbano para utilizarlas en el regadío.¹

Hoy en día, una gran proporción de la población mundial se enfrenta a una situación de escasez de agua. El Informe sobre el Desarrollo Humano (2006) estimó que, en 2025, más de 3 mil millones de personas estarían viviendo sin la cantidad suficiente de agua diaria, y esta cifra aumentaría más de 5 mil millones en 2050.²

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 33, 38, 39.

²Jing Sun, Shihu Hu, Keshab Raj Sharma, Heriberto Bustamante, Zhiguo Yuan, *Impact of reduced water consumption on sulfide and methane production in rising main sewers*, Journal of Environmental Management 154 (2015) 307-315, p. 1

La reutilización de aguas residuales urbanas es una alternativa válida en algunas regiones donde existe déficit del recurso (suroeste de los Estados Unidos, Sudáfrica, Israel, Namibia, Australia, etc.).³

Los Estados Unidos son los primeros en aplicar esta práctica a niveles relativamente importantes: En 1912, en el Golden Gate Park de San Francisco, ya se reutilizaban las aguas residuales (primero en bruto, después tras tratamiento primario con fosa séptica) para el riego de zonas verdes y para la creación de masas de agua de carácter ornamental. Veinte años después, se construyó una planta de depuración cerca del parque, que se mantuvo en funcionamiento hasta 1985. Progresivamente se fueron ampliando las actuaciones en el país, de manera que, en el año 1975, existían 536 proyectos de reutilización directa.¹

En España, no es muy usual la reutilización directa para usos urbanos, salvo para el riego de zonas verdes y deportivas del sur, Levante, Islas Baleares, Canarias y Madrid. Sin embargo, en los últimos años se ha extendido bastante esta práctica: En Andalucía, durante los años 1995-1996, más de 18 campos de golf de la Costa del Sol se regaban con aguas residuales tratadas.¹

El primer planteamiento lógico de reutilización de aguas en la edificación se lleva a cabo también en Estados Unidos. Sin embargo, estos sistemas se utilizaban para suplir la deficiencia o inexistencia de infraestructuras urbanas de abastecimiento, debido a que era la medida más económica: El ejemplo lo obtenemos también en el Golden Gate Park de San Francisco, California. Fue un sistema realizado en 1926 que consistía en aprovechar las aguas residuales procedentes de las diferentes instalaciones del parque (un primer aprovechamiento en estado bruto, y más tarde un proceso de sedimentación y clarificación mediante fosa séptica tradicional) para, el riego de zonas verdes y abastecimiento de calefacción, refrigeración y descarga de inodoros y urinarios.¹

Más tarde, a finales del siglo XX, debido a grandes avances técnicos, se plantea el reciclaje de aguas en la edificación como una práctica posible. En la **Tabla 1** podemos observar algunos ejemplos:¹

Tabla 1. Experiencias en el reciclaje, con restricciones, de AR en la edificación

Tipo de edificio	Lugar	Origen de las aguas	Destino de las aguas	Caudal (m ³ /día)	Fecha
Escuelas públicas	Clinton, NJ, EE.UU.	Todas las AR	Inodoros y urinarios	-	10-87
	Sooke, BC, Canadá	Todas las AR	Inodoros	4,00	10-96
	Raritan Township, NJ, EE.UU.	AR negras	Inodoros, urinarios y riego de jardines	27,30	-
Edificios de oficinas	Montgomery Township, NJ, EE.UU.	Todas las AR	Inodoros y urinarios	-	-
	Courtenay, BC, Canadá	Todas las AR	Inodoros y urinarios	18,00	10-98
Complejo de oficinas	Santa Mónica, CA, EE.UU.	Todas las AR	Inodoros, urinarios, jardines (24 Ha), laguna (8.000 m ³) y vertido (10%)	77,30	05-91
Lavandería	Massachusetts, EE.UU.	Todas las AR	Agua de colada	53,04	08-94
Mercado	Connecticut, EE.UU.	Todas las AR	Inodoros y urinarios	74,12	11-95
Hipermercado	Chester, NJ, EE.UU.	Todas las AR	Riego de jardines	41,67	10-96
Hotel	Courtenay, BC, Canadá	Todas las AR	Inodoros y urinarios	-	-
Zona residencial	Salt Spring Island, BC, Canadá	Todas las AR	Inodoros, urinarios y riego de jardines	120,00	07-97
Zona residencial	Village Square, NJ, EE.UU.	Todas las AR	Vertido	45,46	-
Estación meteorológica	Ártico canadiense	Todas las AR	Inodoro y vertido a zona sensible	10,00	11-95

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 33, 34, 146.

³ Carme Santasmasas, Miquel Rovira, Frederic Clarens, César Valderrama, *Grey water reclamation by decentralized MBR prototype*, Resources, Conservation and Recycling 72 (2013) 102– 107, p. 1.

En todos los casos, la calidad final del efluente era de <<tercera calidad>> según la Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos (USEPA), la calidad más restrictiva dentro de los no potables.¹

Un ejemplo de reciclaje residencial lo encontramos en Village Square. Se trata de un conjunto de 50-60 viviendas unifamiliares ubicadas en una zona protegida de interés natural en el que todas las aguas residuales generadas se canalizan para depurarlas y verterlas directamente al terreno. La actuación se realizó debido a que los promotores calcularon que conectarse a la red de saneamiento era menos rentable que disponer de un sistema de depuración del agua.¹

En España, el reciclaje en la edificación no existe, excepto algunos casos concretos y poco interesantes.¹

Las aguas regeneradas siempre se destinan a usos no potables, con aplicaciones como abastecimiento de inodoros, urinarios, riego, baldeo o limpieza de superficies, etc., con escaso riesgo de que el agua sea ingerida o entre en contacto con el usuario. El reciclaje de aguas residuales domésticas para usos potables, hasta la fecha, sólo se ha desarrollado desde un punto de vista experimental o con aplicaciones en la industria de alta tecnología. Los ejemplos conocidos requieren costes energéticos elevados, por lo que no son rentables.¹

El enfoque centralizado de la gestión del agua convencional es cada vez menos factible debido a que se desperdicia un gran volumen de agua de gran calidad en usos que no la necesitan, hay altos costes de operación y mantenimiento, y se desperdicia agua al vertirse directamente a la red de alcantarillado. La depuración y reutilización del agua para uso doméstico se está convirtiendo en un campo de investigación importante a nivel mundial, debido a la creciente escasez de agua y saneamiento inadecuado. En los países en desarrollo, el suministro insuficiente de agua e instalaciones sanitarias deficientes pueden causar miles de muertes cada día, mientras que en los países desarrollados, el desperdicio de agua y los sistemas de tratamiento de aguas residuales deficientes causan la contaminación de lagos, ríos y aguas subterráneas. La segregación-recogida-tratamiento-reutilización de aguas grises está llamando cada vez más la atención como un enfoque de descentralización para áreas de uso residencial (Otterpohl et al., 1999).⁴ Esta concepción plantea la creación de diferentes destinos que requieran una menor calidad del agua y puedan ser tratados con aguas residuales regeneradas, usando el abastecimiento convencional para aquellos destinos que requieran una máxima calidad del agua.¹

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 14, 146, 147, 149.

⁴ Amr M. Abdel-Kader, *Studying the efficiency of grey water treatment by using rotating biological contactors system*, Journal of King Saud University – Engineering Sciences (2013) 25, 89–95, p. 2.

3.2_ El consumo de agua doméstica.

España es de los países del Mediterráneo (junto con Italia, Francia, Egipto y Turquía) que más agua doméstica consumen. Además, parece ser que esta demanda aumentará en los próximos años, en algunos casos de una manera espectacular.

En la **Tabla 6** se recogen las demandas de agua domésticas recogidas en el año 2010 y una previsión de futuro para los años 2025 y 2050:⁵

Table 6
Projected domestic demands in Mediterranean countries for years 2010, 2025 and 2050, for the reference socioeconomic scenario.

Country	Total demand (km ³ /y)			Demand per capita (m ³ /c/y)		
	2010	2025	2050	2010	2025	2050
Albania	0.30	0.32	0.28	93.49	95.72	93.21
Algeria	0.83	1.22	2.03	23.52	29.04	43.57
Bosnia and Herzegovina	0.13	0.21	0.27	35.63	59.01	89.79
Croatia	0.31	0.35	0.33	69.97	83.3	84.73
Cyprus	0.07	0.08	0.12	61.54	64.57	86.39
Egypt	4.86	8.78	11.35	59.93	86.96	91.96
France	4.57	4.89	5.27	72.77	72.77	72.77
Greece	0.81	0.91	1.05	71.6	78.45	89.79
Israel	0.64	0.74	0.96	86.39	80.22	80.22
Italy	6.21	6.05	5.86	102.64	98.99	98.99
Lebanon	0.34	0.44	0.42	80.68	94.44	89.79
Libya	0.55	0.7	0.79	87.06	93.94	89.79
Malta	0.03	0.02	0.02	67.69	46.74	46.74
Montenegro	0.02	0.03	0.05	32.74	44.38	74.59
Morocco	1.31	2.67	3.6	41.07	73.28	91.81
Slovenia	0.17	0.19	0.18	85.44	91.64	91.64
Spain	4.36	4.92	5.1	94.61	99.47	99.38
Syria	1.25	2.33	3.05	61.18	89.56	92.24
Tunisia	0.33	0.61	1.14	31.58	51.29	89.79
Turkey	4.11	6.92	8.23	56.5	82.37	89.79

Analizaremos los consumos de una vivienda española, distinguiendo entre usos interiores y usos exteriores. Los usos interiores serán comunes en viviendas de cualquier tipo (urbanas, extraurbanas), mientras que los usos exteriores del edificio pueden variar según la tipología analizada.

Teniendo en cuenta esto, podemos establecer los siguientes consumos domésticos en el **interior del edificio**:

Un **inodoro** convencional consume unos 10-12 litros por descarga, lo que equivale a unos 50-72 litros/día.¹

El **lavabo** de una vivienda urbana demanda, en condiciones normales de uso, unos 10 litros/hab.día.¹

El **bidé** no siempre existe en los hogares. Si existe, su consumo será igual al del lavabo.¹

La **ducha**, si se utiliza unos 2-5 minutos por persona y día (15-25 litros/min), cinco o seis veces por semana, su demanda es de 22-107 litros/hab.día.¹

El **baño**, que se plantea como un sustituto de la ducha un día a la semana, demanda cada vez que se utiliza unos 180-260 litros, es decir, 26-37 litros/hab.día.¹

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 72,73.

⁵ Noémie Neverre, Patrice Dumas, *Projecting and valuing domestic water use at regional scale: A generic method applied to the Mediterranean at the 2060 horizon*, Water Resources and Economics 11 (2015) 33-46, p. 8.

Los **usos alimenticios** (aquellos destinados a beber o cocinar) tienen una demanda entre el 1-10% del total de una vivienda urbana.¹

La **elaboración de las comidas** requiere 0-6 litros/hab.día.¹

En el **lavado de la vajilla** consideramos dos hipótesis: En el caso de efectuarlo a mano, un fregadero puede consumir unos 4 litros por persona y comida, por lo que la demanda total sería de 8-12 litros/hab.día. Por otro lado, un lavavajillas (únicamente el 16% de los hogares españoles tienen este electrodoméstico) adquirido entre los años 1980-1992, consume entre 25 y 50 litros por ciclo. Por tanto, para una familia de 4 miembros, utilizándolo una vez al día, la demanda sería de 6-12 litros/hab.día.¹

En el caso de la **colada** consideramos que el lavado de ropa se realiza con lavadora, ya que hoy en día este electrodoméstico existe en más del 90% de los hogares españoles. Se considera que el consumo de una lavadora es de unos 100-200 litros con los aparatos suministrados en los últimos 20 años. Si las familias españolas realizan una media de 21 coladas al mes, considerando una unidad de 5 ó 6 miembros, el consumo sería de 18-34 litros/hab.día.¹

La **limpieza interior** de un edificio tiene una demanda insignificante. Para limpiar una vivienda de 90 m², se necesitarían unos 2 cubos de agua (15 litros). Si esto se hace 2 ó 3 veces por semana, el gasto sería de 1,0-1,6 litros/hab.día.¹

Con respecto a los **usos exteriores del edificio**:

Para la **limpieza de superficies exteriores** (terrazas, porches, balcones, etc.), consideramos la cifra de consumo municipal para baldeo de calles (1,0-1,5 litros/hab.día ó 0,5 litros/m³.día). Como esta práctica suele realizarse, al menos, una vez por semana, el consumo será de 3,50 litros/m² por limpieza.¹

En cuanto al **riego** de zonas verdes y jardines privados, suele ser un suministro muy variable según la superficie, el tipo de vegetación, etc. Consideramos que un manto de césped puede demandar, como mínimo 0,60-3,60 litros/m².día de media anual.¹ El riego supone una demanda importante en algunas zonas áridas y semiáridas, ya que el consumo municipal de agua suele aumentar hasta un 40-60% en los meses de verano debido al riego de jardines.⁶

Las **piscinas** se tendrán en cuenta en cada caso según su volumen y meses de uso. Según la legislación vigente, el agua de las piscinas públicas debe renovarse un 5% de su volumen al día, lo que implicaría para una vivienda unifamiliar (con un vaso de 30-40 m³ y 5 habitantes) un consumo de 300-400 litros/hab.día, mientras que una piscina comunitaria (con un vaso de 400 m³ y 124 habitantes) sería de 160 litros/hab.día.¹

La **limpieza del vehículo** puede llegar a consumir entre 50 y 200 litros de agua, según el método de lavado. Un túnel lavacoches requiere unos 20-40 litros según el programa de lavado, con la posibilidad de que el sistema recircule las aguas.¹

Por último, las **fugas** a través de las redes de abastecimiento del edificio pueden ser del 5-10% del consumo total, debido mayoritariamente al goteo y al mal estado de la red.¹

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 74.

⁶ H. Al-Hamaiedeh, M. Bino, *Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants*, Desalination 256 (2010) 115–119, p. 1.

Todo lo mencionado anteriormente queda recogido en la **Tabla 13**, estableciendo los consumos de agua en la edificación en España, en litros/hab.día:¹

Tabla 13. Consumo de agua en la edificación (litros/hab.día)

Uso o aparato	Mínimo	Medio	Máximo	Otra medida	Comentarios
Inodoro	50,0	60,0	72,0	-	Para inodoros muy antiguos, habría que añadirle un 20% más
Bidé	10,0	10,0	10,0	-	Solamente cuando exista
Lavabo	8,0	10,0	12,0	-	-
Ducha	22,0	65,0	107,0	-	-
Baño	26,0	32,0	37,0	-	Si se utiliza, si no habría que añadir un 15% a la ducha
Bebida	3,0	3,0	3,0	-	Sólo en tipos residenciales y con servicio de comidas o cafetería
Preparación	6,0	6,0	6,0	-	-
Vajilla	6,0	9,0	12,0	-	Media entre la utilización de lava-vajillas y realizado a mano
Colada	18,0	26,0	34,0	-	Utilizando lavadora
Limpieza interior	1,0	1,3	1,6	0,17 l/m ³ .vez	2-3 veces por semana Sin embargo, este consumo se produce en el lavabo o fregadero.
Limpieza exterior	1,0	1,3	1,5	3,50 l/m ³ .vez	1 una vez por semana
Riego	-	-	-	0,6-3,6 l/m ³ .día	-
Piscinas	-	-	-	-	Estudio aparte
Vehículo	0,4	2,2	4,0	-	1 vehículo por cada 4 personas 1 lavado cada dos semanas Sólo en tipologías residenciales
Otros	5,0	5,0	5,0	-	Instalaciones, etc.
Fugas	-	-	-	1-10%	En función de la edad del edificio y, en particular, del estado de la instalación de abastecimiento

En la **Tabla 12** observamos los consumos domésticos en otros países de nuestro entorno:¹

Tabla 12. Consumos domiciliarios en países occidentales, año 1990

Uso o aparato de consumo	Alemania		Reino Unido		Estados Unidos	
	litros/hab.día	%	litros/hab.día	%	litros/hab.día	%
Bebida, alimento y preparación	3,0	2	5,0	3	9,0	2
Inodoro, bidé y lavabo	55,0	39	50,0	31	108,0	28
Baño y ducha	40,0	29	45,0	28	90,0	23
Vajilla	8,0	6	15,0	9,5	11,3	4
Colada	18,0	13	15,0	9,5	38,5	10
Césped, piscinas, vehículo, etc.	9,0	6	10,0	6	112,5	29
Varios: fugas, desperdicios, etc.	7,0	5	20,0	13	3,4	1
Total	140,0	100	160,0	100	372,7	100

Observamos cómo las costumbres sociales influyen mucho en los consumos de agua. En la mayoría de los casos Estados Unidos duplica el consumo de Alemania y Reino Unido, disminuyendo únicamente en el consumo debido a fugas de la red. La cultura del despilfarro de los Estados Unidos se hace patente en este análisis.

La preocupación por el uso eficiente del agua en los hogares está aumentando en todo el mundo, impulsando políticas de cambio y gestión de la demanda. El consumo de agua se ve condicionado tanto por el estilo de vida de los usuarios como por el estado de la red y puntos de consumo. Actualmente, todavía existe la necesidad de enfoques sistemáticos sobre este tema.⁷

¹ Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 75,76.

⁷ Paula Vieira, Catarina Jorge, Dída Covas, *Novel performance assessment indices for domestic water use*, Procedia Engineering 119 (2015) 813 – 819, p. 2.

3.3_ Producción de aguas grises domésticas.

Las aguas residuales domésticas se dividen en dos, atendiendo a su calidad, el volumen producido y el origen dentro de la actividad de edificio:¹

Aguas negras: Aquellas procedentes de las descargas de inodoros y urinarios, colada (tanto manual como automática) y la generada en la cocina (fregadero y lavavajillas). Las aguas negras se caracterizan por su alta carga orgánica ($DBO/DQO \geq 0,40$).

Aguas grises: Las canalizadas a partir de la ducha o baño, lavabos, etc. ($0,40 \geq DBO/DQO \geq 0,20$).

Hay algunos autores que consideran que las aguas grises también incluyen, además de los mencionados anteriormente, las lavadoras, lavavajillas y fregaderos de cocina, excluyendo únicamente los inodoros (Jefferson et al., 1,999; Otterpohl et al., 1999; Eriksson et al., 2002; Ottoson y Stenström, 2003). En este caso, las aguas grises pueden llegar a constituir el 50-80% del agua residual total del hogar (Eriksson et al, 2003. Friedler y Hadari, 2006).⁸ Según esta clasificación, las aguas procedentes de la ducha, baño o lavabo serían aguas de baja carga orgánica, mientras que las procedentes de la lavadora, lavavajillas y fregaderos de cocina corresponderían a aguas de alta carga orgánica.⁹

Debido a los bajos niveles de patógenos contaminantes y nitrógeno, la reutilización y reciclaje de las aguas grises atrae cada vez más la atención de muchos investigadores (Li et al., 2003).⁸

Según la OMS, el agua gris tiene las características idóneas para el reciclaje, ya que es:³

- Agua sin gas.
- Constituye la mayor parte del volumen del flujo de residuos domésticos.
- Tiene un contenido de nutrientes que, aunque es bajo, se puede utilizar beneficiosamente para el riego de los cultivos.
- Tiene un bajo contenido de patógenos.
- Puede ser utilizado para reducir la demanda utilización de agua primaria (Mandal et al., 2011; OMS, 2006).

3.3.1_ Origen de las aguas grises domésticas.

Las aguas grises se generan como resultado de los hábitos de vida de la población, los productos utilizados y la naturaleza de la instalación y, por lo tanto, sus características son muy variables (Eriksson et al., 2002).⁸

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 75, 76.

³ Carme Santasmasas, Miquel Rovira, Frederic Clarens, César Valderrama, *Grey water reclamation by decentralized MBR prototype*, Resources, Conservation and Recycling 72 (2013) 102– 107, p. 1.

⁸ Fangyue Li, Knut Wichmann, Ralf Otterpohl: *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses*, Science of the Total Environment, 407 (2009) 3439–3449, p. 1.

⁹ Gideon P. Winward, Lisa M. Avery, Tom Stephenson, Bruce Jefferson, *Chlorine disinfection of grey water for reuse: Effect of organics and particles*, Water Research 42 (2008) 483 – 491, p. 1.

¹⁰ Según, APHA et al., 1998:

DBO, Demanda Biológica de Oxígeno, que se define como “cantidad de oxígeno que los microorganismos consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra de agua residual, expresada en mg/l.”

DQO, Demanda Química de Oxígeno, que se define como “cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua residual, expresada en mg/l.”

Las aguas residuales domésticas generadas, por habitante, son las recogidas en la **Tabla 2:**¹

Tabla 2. Volumen de aguas residuales domésticas por habitante equivalente

Origen de las aguas residuales	Consumo	AR (85% del consumo)
	Litros/hab.día	
Aguas residuales grises		
Lavabo y bidé	11,000	9,350
Ducha y/o baño	32,500	27,625
Otros (limpieza, vehículos, etc.)	13,200	11,220
Total aguas grises	56,700	48,195
Aguas residuales negras		
Inodoro	25,000	21,250
Fregadero y lavado de vajilla	8,500	7,225
Colada a máquina o a mano	26,000	22,100
Total aguas negras	60,500	51,525
Total aguas residuales	117,200	99,620

De la tabla extraemos que las aguas grises tienen un peso importante en el total de aguas residuales, con un porcentaje del 48% del conjunto.¹ En edificios residenciales, la reutilización de aguas grises tratadas podrían representar una reducción de 40-48% del consumo total de agua (Santos et al., 2012).³

Sin embargo, esta proporción varía según la tipología que estemos tratando. En la **Figura 11** se establece la relación de producción de aguas residuales en función de la tipología analizada, medida en litros/hab.día:¹

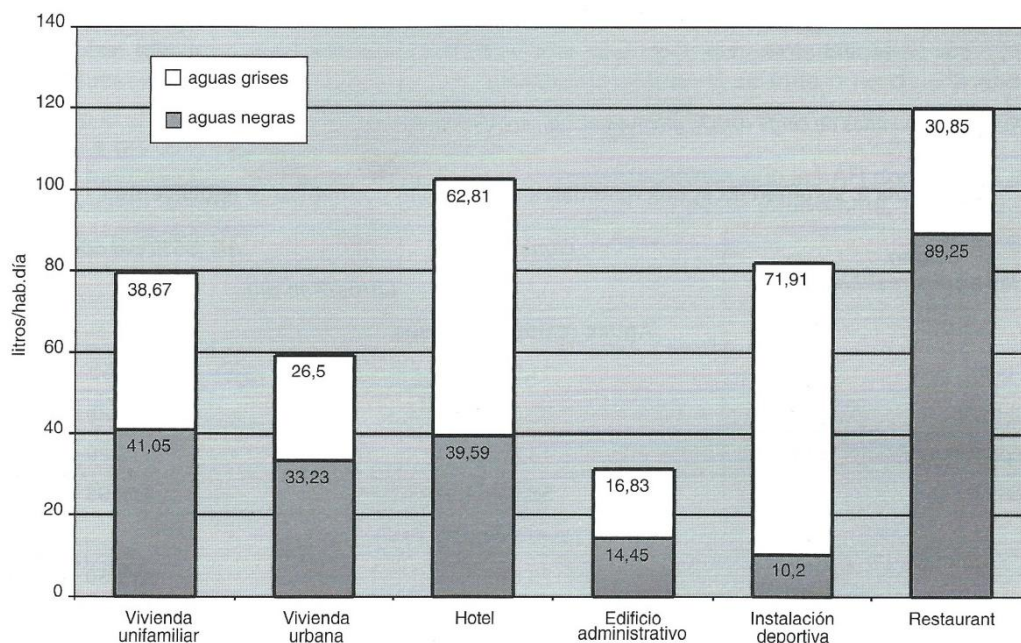


Figura 11. Relación de aguas grises y negras por tipologías edificatorias.

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 158, 159.

³ Carme Santasmasas, Miquel Rovira, Frederic Clarens, César Valderrama, *Grey water reclamation by decentralized MBR prototype*, Resources, Conservation and Recycling 72 (2013) 102– 107, p. 1.

De de las dos tipologías residenciales, las viviendas urbanas generan un menor porcentaje de aguas grises que las viviendas unifamiliares pero las superan en la producción de aguas negras. Las viviendas urbanas son, junto a los edificios administrativos, las que menor cantidad de aguas residuales producen.

La tasa de producción de aguas grises varía considerablemente a lo largo del día (Butler et al., 1995; Imura et al., 1995; Abu Ghunmi et al., 2008). Para evitar disponer de un tanque de almacenamiento, el tratamiento debe ser diseñado para hacer frente a diferentes tasas de carga. Los procesos deben lidiar con flujo intermitente y variaciones de las condiciones climáticas, al igual que deben ser fáciles de operar y con un mínimo consumo de energía.¹¹

En cuanto a las características cualitativas de las aguas residuales domésticas, podemos establecer los datos recogidos en la **Tabla 6**, con aquellas concentraciones más habituales en el campo de tratamiento de las aguas residuales:¹

Tabla 6. Parámetros de contaminación en AR domésticas: Muestra Integrada

Parámetro	AR grises		AR negras		AR totales			
	gramos/día	mg/litro	gramos/día	mg/litro	gramos/día	mg/litro	% AG	% AN
DBO ₅	15,75	157,50	19,25	192,50	35,00	350,00	45	55
DQO	44,50	445,00	34,50	345,00	79,00	790,00	56	44
S. Totales	44,80	448,00	35,20	352,00	80,00	800,00	56	44
ST. Fijos	20,30	203,00	8,70	87,00	29,00	290,00	70	30
ST. Volátiles	26,00	260,00	25,00	250,00	51,00	510,00	53	49
S. Suspensión	13,30	133,00	21,70	217,00	35,00	350,00	38	62
SS. fijos	1,70	17,00	2,50	25,00	4,20	42,00	41	59
SS. volátiles	8,20	82,00	13,60	136,00	21,80	218,00	38	62
N-NH ₄ libre	0,23	2,30	4,27	42,70	4,50	45,00	5	95
N. orgánico	–	–	–	–	3,00	30,00	–	–
N. inorgánico	–	–	–	–	5,00	50,00	–	–
N. total	0,70	7,00	7,30	73,00	8,00	80,00	9	91
P. orgánico	–	–	–	–	0,60	6,00	–	–
P. inorgánico	–	–	–	–	3,00	30,00	–	–
P. total	1,90	19,00	1,60	16,00	3,50	35,00	54	46
Grasas	–	–	–	–	≥ 3,00	≥ 30,00	–	–
CF/100 ml	–	–	–	–	≥ 13 x 10 ⁹		–	–

Nota: Un habitante equivalente corresponde a 100 litros de AR/día.

Las aguas grises tienen bajas concentraciones de nitrógeno y fósforo en comparación con las aguas negras, debido a la inexistencia de heces y orina.⁸

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 160.

⁸Fangyue Li, Knut Wichmann, Ralf Otterpohl: *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses*, Science of the Total Environment, 407 (2009) 3439–3449, p. 2.

¹¹Lina Abu Ghunmi, Grietje Zeeman, Manar Fayyad, Jules B. Van Lier, *Grey water treatment in a series anaerobic – Aerobic system for irrigation*, Bioresource Technology 101 (2010) 41–50, p. 1.

El agua gris tratada o desinfectada inadecuadamente presenta un riesgo de infección de los usuarios. Hasta la fecha, no ha habido ninguna incidencia de enfermedades vinculadas a la reutilización de aguas grises, por lo que los riesgos para la salud parecen ser bajos. Existen datos limitados sobre patógenos específicos de las aguas grises; sin embargo, se han detectado bacterias (como *Pseudomonas aeruginosa* y *Staphylococcus aureus*), y protozoos (*Cryptosporidium* y *Giardia*) en aguas grises analizadas (Casanova et al., 2001b; Birks et al., 2004).¹²

El nivel de tratamiento y/o desinfección de las aguas grises debe estar determinado por la evaluación de riesgos de transmisión potencial de patógenos. Los diferentes riesgos asociados con la reutilización del agua urbana se reflejan en muchas normas: con una mayor probabilidad de exposición pública los criterios son normalmente más estrictos.¹²

3.3.2_ Destino de las aguas residuales domésticas. Calidades y restricciones.

CALIDADES

Tal y como está planteado hoy en día el abastecimiento de agua convencional, basado en un sistema centralizador, es usual que se destine agua de alta calidad para usos que no la necesitan. Lo idóneo sería plantear un sistema descentralizador que disponga el agua con la calidad exigida según su destino, ya que no es necesario destinar agua con altas características cualitativas para cualquier uso como si se tratara del consumo de ingestión (máxima calidad). Esto es indiscutible si consideramos que solamente el 10-15% de la demanda urbana exige una alta calidad ecológica.¹

Palma Carazo (2003) establece tres tipos de calidades según el destino del agua regenerada:¹

- a) CALIDAD 1: aquella que se necesita para usos alimenticios o que se destina a puntos de consumo que pueden ser utilizados para ello. En general serán el lavado y fregadero de la cocina, además de otros no necesariamente existentes (pilas, fuentes de bebida, etc.).
- b) CALIDAD 2: aquella destinada para usos como el cuidado del cuerpo humano (baño y ducha) y lavado de vajilla (con electrodoméstico o fregadero independiente al utilizado para usos de ingestión).
- c) CALIDAD 3: aquella destinada para usos dentro de la edificación que no impliquen contacto potencial con el ser humano, como la colada, el riego, lavado de vehículos, instalaciones, etc., así como la descarga de inodoros y urinarios.

Los volúmenes demandados de cada una de las calidades, según la tipología edificatoria se establecen en la **Tabla 10**, medido en litros/hab.día. En el caso del nivel de <<calidad 3>> no se tiene en cuenta la cantidad de agua requerida por el riego porque es necesario estudiarlo en un caso práctico por separado.¹

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 169, 174, 175.

¹² Gideon P. Winward, Lisa M. Avery, Ronnie Frazer-Williams, Marc Pidou, Paul Jeffrey, Tom Stephenson, Bruce Jefferson, *A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse*, *Ecological Engineering* 32 (2008) 187–197, p. 1, 10.

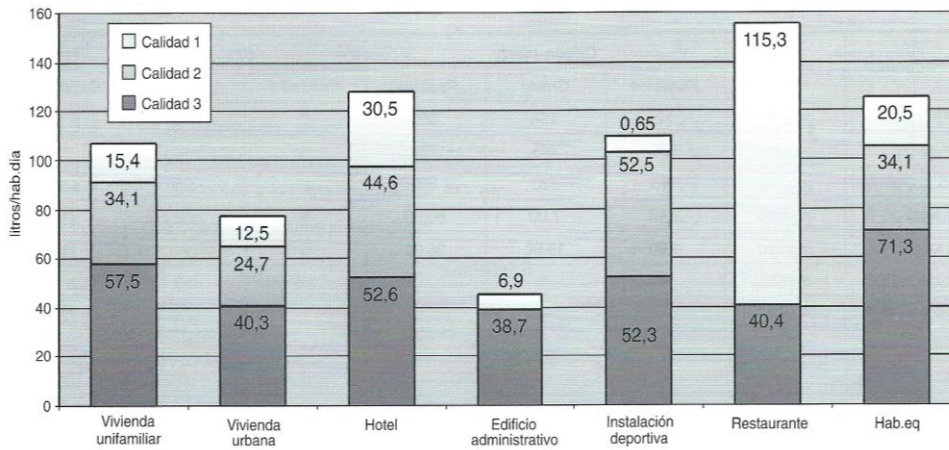


Figura 17. Caudales según las «Calidades» demandadas por tipologías edificatorias.

Hay que tener en cuenta que si se plantea una instalación de reutilización de aguas residuales para varios destinos, el agua deberá tener la calidad más exigente dentro de los usos abastecidos.¹

En la **Tabla 16** se indican los estándares de calidad en el destino de cada uno de los tres niveles establecidos:¹

Tabla 16. Estándares para los diferentes tipos de «Calidades» en origen y destino

Parámetro	Medida	Origen-oferta			Destino-demanda		
		Pluviales	Grises	Residual	Calidad 1	Calidad 2	Calidad 3
DBO ₅	mg/litro	12	158	350	0	≤ 5	≤ 10
DQO	mg/litro	100	445	790	0	–	–
SS	mg/litro	165	133	350	0	≤ 5	≤ 10
N. total	mg/litro	2,40	7,00	80,00	0	≤ 2	(1)
P. total	mg/litro	1,60	19,00	35,00	0	–	(1)
O ₂ disuelto	mg/litro	–	–	–	≥ 5	≥ 3	≥ 1
Color	Pt-Co	–	–	–	1	< 5	(2)
Sabor	–	–	–	–	Ninguno	(2)	(2)
Olor	–	–	–	–	Ninguno	(2)	(2)
Turbidez	NTU	≥ 1	≥ 4	≥ 8	≤ 0,1	≤ 1	≤ 2
pH	–	5,8-7,4	–	–	6,5-8,5	7,2-7,4	6-9
Plomo	mg de Pb/litro	(3)	(4)	(4)	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,5
Cobre	mg de Cu/litro	(3)	(4)	(4)	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 5
Hierro	mg de Fe/litro	(3)	(4)	(4)	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 10
Aluminio	mg de Al/litro	(3)	(4)	(4)	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Arsénico	mg de As/litro	–	(4)	(4)	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 1
Zinc	mg de Zn/litro	(3)	(4)	(4)	≤ 5	≤ 5	≤ 5
Mercurio	mg de Hg/litro	–	(4)	(4)	≤ 0,001	–	≤ 0,1
Detergentes	mg SO ₄ /litro	–	–	–	0	≤ 0,2	–
Grasas	mg/litro	–	–	≥ 35	0	0	–
Coli. fecales	Ud/100 ml	10 ⁴ -10 ⁶	–	≥ 13 x 10 ⁶	0	0	0
Nematodos	Ud/litro	–	–	–	0	0	0
Virus entéricos	Ud/40 l	–	–	–	0	≤ 1	–

La presencia de microcontaminantes, como productos farmacéuticos y productos de cuidado personal, han demostrado tener efectos nocivos en el medio ambiente acuático (Ternes y Joss, 2006). Su tratamiento permitirá, no sólo evitar un daño al medio ambiente, sino también su reutilización para otros destinos, según la calidad final del efluente regenerado.¹³

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 175, 176.

¹³ L. Hernández-Leal, H. Temmink, G. Zeeman, C.J.N. Buisman, *Removal of micropollutants from aerobically treated grey water via ozone and activated carbon*, *Water Research* 45 (2011) 2887-2896, p.1

En la **Tabla 1** se observa la variación de los estándares microbiológicos para la reutilización urbana de las aguas grises en diferentes partes del mundo:¹²

Table 1 – Water quality standards/guidelines for urban wastewater reuse		
Urban water reuse standards/guidelines	Water quality	Microbiological (CFU 100 mL ⁻¹)
USEPA (2004)	BOD ₅ ≤ 10 mgL ⁻¹ Turbidity ≤ 2 NTU pH 6–9	Faecal coliforms = ND Viable pathogens = ND
USA, California (USEPA, 2004)	Turbidity = 2 NTU Avg (5 NTU Max)	Total coliforms = 2.2 Avg (23 Max in 30 days)
Germany (Nolde, 1999)	BOD ₇ < 5 mgL ⁻¹	Total coliforms < 10000 Faecal coliforms < 1000 <i>Pseudomonas aeruginosa</i> < 100
Avg: average, Max: maximum, ND: none detectable.		

Las directrices más estrictas corresponden a la USEPA y el Estado de California, mientras que las menos exigentes son las de Alemania. Sin embargo, existe una carencia de normas nacionales en el Reino Unido.¹²

Aunque la mayor parte de las directrices de reutilización se aplican a aguas residuales municipales recuperadas, se pueden utilizar como base para el establecimiento de directrices de reciclaje de aguas grises.⁸

RESTRICCIONES

La **reutilización restringida** puede plantearse de dos maneras:¹

- a) Como un aprovechamiento limitado de las aguas residuales regeneradas para ciertos usos municipales, como riego de zonas verdes públicas, estanques o lagos artificiales de carácter ornamental o recreativo, baldeo y limpieza de zonas pavimentadas o asfaltadas o abastecimiento a redes de instalaciones urbanas, como la de suministro a hidrantes, calefacción o refrigeración.
- b) Abastecimiento a la edificación para usos que no requieren una gran calidad ecológica, como podrían ser la limpieza de vehículos, superficies exteriores, riego de jardines privados, etc., generalmente asimilables a los anteriores, pero en el ámbito doméstico.

La **reutilización sin restricciones** se basa en considerar un único criterio de calidad para la reutilización como abastecimiento de agua potable. Si el agua residual urbana regenerada cumple con los requisitos para esa demanda, la más restrictiva, se debería aceptar para todos los demás usos.

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 175, 177.

⁸ Fangyue Li, Knut Wichmann, Ralf Otterpohl: *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses*, Science of the Total Environment, 407 (2009) 3439–3449, p. 2, 3.

¹² Gideon P. Winward, Lisa M. Avery, Ronnie Frazer-Williams, Marc Pidou, Paul Jeffrey, Tom Stephenson, Bruce Jefferson, *A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse*, Ecological Engineering 32 (2008) 187–197, p. 2.

En la **Tabla 17** se expresa la idoneidad de reciclaje de cada tipo de agua para los distintos niveles de calidad mencionados:¹

Tabla 17. Idoneidad de las diferentes aguas generadas en la edificación según el Nivel de restricción

Nivel	Destinos	AP	AG	AN
Calidad 3				
Nivel 3.3	Riego, estanques, lagos, etc.	XXX	XXX	XXX
	Baldeo y limpieza de zonas exteriores	XXX	XXX	XXX
Nivel 3.2	Instalaciones: inodoros y urinarios, AC, etc.	XXX	XXX	XXX
Nivel 3.1	Limpieza de vehículos e interiores	XXX	XXX	XXX
Calidad 2				
Nivel 2	Ducha y/o baño	XXX	XXX	XX
	Colada, fregaderos de limpieza, bidé, etc.	XXX	XXX	XX
Calidad 1				
Nivel 1	Fregadero de cocina y lavabo	XX	X	O
XXX: Viabilidad técnica y normativa XX: Posibilidad técnica con alguna objeción normativa X: Admisibilidad técnica con objeciones normativas O: Objeciones técnico-económicas con excepción normativa				

El reciclaje de las aguas grises es viable en todas sus aplicaciones excepto para satisfacer destinos que requieran una <<calidad 1>>. En este caso se puede admitir técnicamente pero con objeciones normativas.

La reutilización de aguas grises para aplicaciones no potables, como el inodoro o el riego, puede reducir sustancialmente el consumo de agua potable (FBR, 2005).¹² Su uso para la descarga de inodoros puede disminuir la demanda de agua en las viviendas hasta un 30%. En cuanto al riego de zonas verdes (tales como parques, patios de escuelas, cementerios, áreas de golf, lavado de autos e instalaciones de protección contra el fuego), en zonas áridas el riego podría reducir el uso de agua potable en un 50%. Sin embargo, también puede dar lugar a problemas ambientales. Una preocupación particular es el tema de la sostenibilidad a largo plazo (por ejemplo, el aumento de la salinidad y sodio contenido en el suelo). Los valores altos de salinidad del suelo y adsorción de sodio (SAR) causan el deterioro del mismo, con una disminución de la permeabilidad y los rendimientos de la cosecha debido a los efectos tóxicos y osmóticos. A nivel general, el SAR 6 es el nivel por encima del cual la permeabilidad del suelo y la estabilidad estructural puede verse afectada. Se considera que un nivel SAR 8 es el límite admisible por las plantas. El riego a largo plazo usando agua con un nivel SAR superior a 4 puede alterar negativamente las propiedades del suelo.⁶

El agua gris doméstica reutilizada no presenta variaciones importantes de las características de los cultivos arbóreos. Sin embargo, se considera inadmisibles el riego de verduras con este tipo de agua.⁶

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 177.

⁶ H. Al-Hamaiedeh, M. Bino, *Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants*, *Desalination* 256 (2010) 115–119, p. 1, 4.

¹² Gideon P. Winward, Lisa M. Avery, Ronnie Frazer-Williams, Marc Pidou, Paul Jeffrey, Tom Stephenson, Bruce Jefferson, *A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse*, *Ecological Engineering* 32 (2008) 187–197, p. 1.

3.4_ Instalación de reciclaje de agua en la edificación. Procesos de tratamiento del agua.

Los experimentos de tratamiento de aguas grises y su implementación en casos reales comenzaron hace más de una década. Aunque algunos tuvieron éxito, un cuarto de los sistemas implementados en Alemania resultaron insatisfactorios (Maeda et al., 1995; Huelgas et al., 2009; Nolde, 2005).⁴

Los procesos de tratamiento de las aguas pueden clasificarse según el modo de operación: físicos, químicos y biológicos, o más de uno a la vez. La mayoría de estas tecnologías se aplican con una etapa previa de separación sólido-líquido como pre-tratamiento y con etapa posterior de desinfección.⁸

En la **Tabla 27**, se recogen los procesos unitarios más utilizados en la depuración de afluentes:¹

Tabla 27. Procesos unitarios utilizados en el campo del tratamiento de aguas

Contaminante	Proceso unitario	Tipo de proceso
Sólidos en suspensión	Tamizado	Físico
	Sedimentación	
	Flotación	
	Filtración	
	Disposición sobre el terreno	
	Coagulación-decantación	Físico-químico
MO biodegradable	Aireación prolongada	Biológico
	Filtros percoladores	
	Biodiscos	
	Almacenaje en estanques	
	Filtración granular	Físico-biológico
	Disposición sobre el terreno	Físico-químico-biológico
	Coagulación-decantación	Físico-químico-biológico
Nitrógeno	Nitrificación-desnitrificación	Biológico
	Intercambio iónico	Químico
	Cloración	
	Stripping amoniacal	Físico-químico
	Disposición sobre el terreno	Físico-químico-biológico
Fósforo	Eliminación biológica	Biológico
	Coagulación-decantación	Físico-químico
	Disposición sobre el terreno	Químico
Micro-contaminantes orgánicos no biodegradables	Adsorción por carbón activo	Físico
	Ozonización	Químico
	Disposición sobre el terreno	Físico-químico
Sustancias inorgánicas disueltas	Intercambio iónico	Químico
	Electrodiálisis	
	Filtración por membrana	Físico
Metales pesados	Precipitación química	Físico-químico
	Disposición sobre el terreno	
	Intercambio iónico	Químico
	Reducción	
Eliminación de microorganismos patógenos	Cloración y similares	Químico
	Ozonización	Físico-químico
	Retención por filtración	Físico
	Radiación ultravioleta	
	Disposición sobre el terreno	

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 202.

⁴Amr M. Abdel-Kader, *Studying the efficiency of grey water treatment by using rotating biological contactors system*, Journal of King Saud University – Engineering Sciences (2013) 25, 89–95, p. 2.

⁸Fangyue Li, Knut Wichmann, Ralf Otterpohl: *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses*, Science of the Total Environment, 407 (2009) 3439–3449, p. 3.

Los tratamientos físico-químicos se aplican desde el siglo XVIII. Sin embargo, su desarrollo se produjo durante los años treinta del siglo XX. Por su parte, los primeros tratamientos físico-biológicos surgen a principios del siglo XX, logrando éxitos sorprendentes para la época.¹

PROCESOS FÍSICOS

Los procesos físicos directos se aplican normalmente a pequeña escala y se ha demostrado que eliminan eficazmente los sólidos pero son menos eficaces en la eliminación de sustancias orgánicas (Jefferson et al., 2004; Ramón et al., 2004).⁹ Obviamente, la filtración simple no es capaz de reducir las concentraciones de microorganismos para que entre dentro de los estándares de reutilización. La filtración de membrana MF/UF proporciona una eliminación limitada de los compuestos orgánicos disueltos, pero tiene una excelente eliminación de los sólidos en suspensión, turbidez y patógenos.⁸

Los residuos orgánicos presentes en el agua regenerada pueden causar una reaparición de las sustancias biológicas en los sistemas de almacenamiento y distribución, limitar el efecto de la desinfección química y producir subproductos de la desinfección. Para prevenir problemas, los procesos físicos se complementarán generalmente con un proceso de desinfección.⁸

PROCESOS QUÍMICOS

En comparación con los procesos físicos, los procesos químicos son capaces de reducir en cierta medida la presencia orgánica y la turbidez del agua gris de baja carga orgánica, pero no lo suficiente como para cumplir las normas de reutilización no potable.⁸

Las soluciones químicas, tales como la coagulación y el intercambio iónico seguidos de una etapa de filtración por membrana pueden aplicarse para el tratamiento de aguas grises de baja carga orgánica, cumpliendo con los requisitos de reutilización de agua urbana no potable sin restricciones. Alternativamente a la etapa de filtración por membrana, el efluente puede completarse con una etapa de filtración de arena para cumplir con los requisitos menos estrictos de reutilización urbana no potable restringida. Además, si tras esta etapa de filtración de arena procedemos a una desinfección del efluente resultante, las aguas grises recuperadas pueden satisfacer el nivel de las reutilización urbana no potable sin restricciones.⁸

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 201.

⁸Fangyue Li, Knut Wichmann, Ralf Otterpohl: *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses*, Science of the Total Environment, 407 (2009) 3439–3449, p. 3, 4, 7, 9.

⁹Gideon P. Winward, Lisa M. Avery, Tom Stephenson, Bruce Jefferson, *Chlorine disinfection of grey water for reuse: Effect of organics and particles*, Water Research 42 (2008) 483 – 491, p. 1.

PROCESOS BIOLÓGICOS

Los procesos de depuración biológicos son menos agresivos con el medio ambiente que los físico-químicos.¹

Los tratamientos biológicos estabilizan de una manera controlada la materia orgánica que de otro modo causa problemas tales como mal olor, reproducción de mosquitos, contaminación del agua y del suelo, y obstrucción en los sistemas de distribución, debido a la acumulación de sólidos y al crecimiento de microorganismos (Christova-Boal et al., 1995; Pañal et al., 2001; Eriksson et al., 2002).¹¹

Este tipo de procesos están a menudo precedidos por una etapa de pre-tratamiento físico tal como la sedimentación o el uso de tanques sépticos (Nolde., 1999; Li et al, 2003). Además, suelen estar seguidos por una etapa de filtración (por ejemplo filtración de arena) y/o una etapa de desinfección.⁸

Los procesos biológicos aeróbicos son capaces de lograr una gran reducción de carga orgánica y turbidez. Es el sistema idóneo para el almacenamiento de agua durante períodos más largos, ya que después de los tratamientos aeróbicos, la mayoría de las sustancias orgánicas biodegradables se han eliminado, y en consecuencia, la reaparición de microorganismos y los problemas de olores se evitan. Por lo tanto, este tipo de procesos están recomendados especialmente en el caso de aguas grises de media y alta carga orgánica. Procesos como RBC (Reactor biológico de rotación) o SBR (Reactor secuencial) garantizan una reducción de la DBO a menos de 10 mg/l, lo cual cumple con el estándar más estricto de reutilización no restringida. Puede aplicarse una etapa final de filtración de membrana o una etapa de filtración de arena seguida de una etapa de desinfección para satisfacer los requisitos de eliminación de microorganismos, sólidos en suspensión y turbidez: La combinación de procesos biológicos aeróbicos con filtración física y/o desinfección se considera que es la solución más económica y viable para el reciclaje de aguas grises. El agua gris de resistencia media y alta también puede ser tratada por el sistema MBR (Biorreactor de membrana) para cumplir con las normas de reutilización urbana no potable sin restricciones.⁸

Los procesos anaeróbicos tienen una menor eficacia en la eliminación de sustancias orgánicas y tensioactivos, así que serán los más indicados para el tratamiento de aguas grises de baja carga orgánica.⁸

Friedler y Hadari (2006) llegó a la conclusión de que un sistema de tratamiento biológico es económicamente factible cuando el tamaño del edificio alcanza las siete plantas (28 viviendas).⁸

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 201.

⁸ Fangyue Li, Knut Wichmann, Ralf Otterpohl: *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses*, Science of the Total Environment, 407 (2009) 3439–3449, p. 5, 9.

¹¹ Lina Abu Ghunmi, Grietje Zeeman, Manar Fayyad, Jules B. Van Lier, *Grey water treatment in a series anaerobic – Aerobic system for irrigation*, Bioresource Technology 101 (2010) 41–50, p. 1.

En la **Figura 1** se muestran alternativas de tratamiento de las aguas grises para usos no potables:⁸

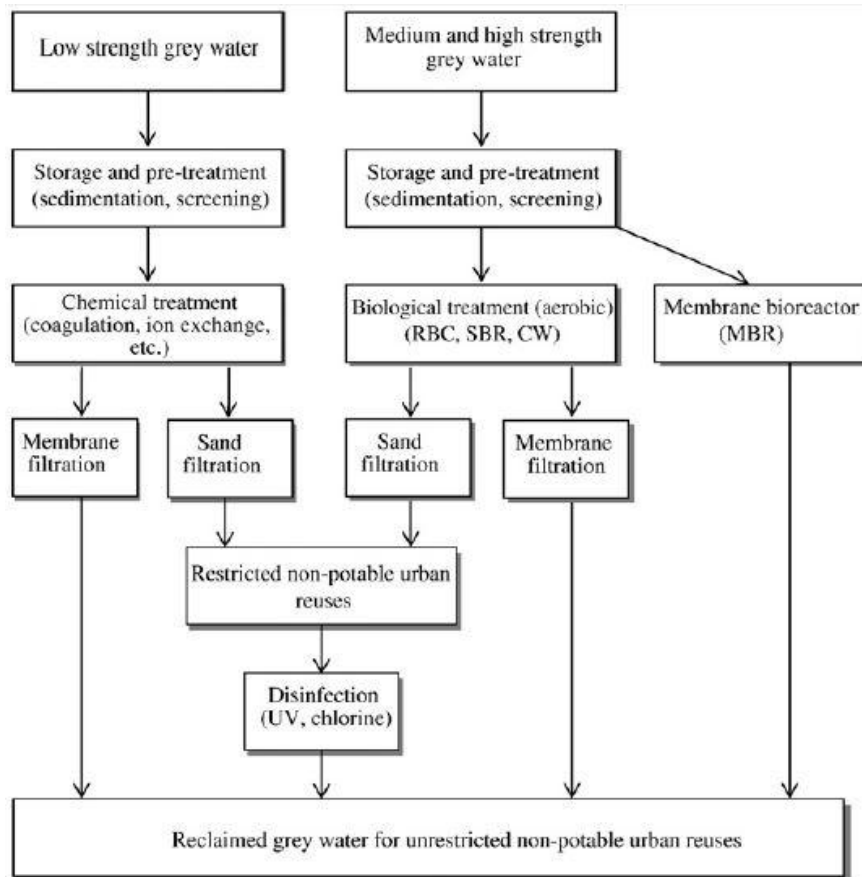


Fig. 1. The grey water recycling schemes for non-potable urban reuses.

Comparando estos procesos, podemos establecer las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos. Los tratamientos biológicos desbancan a los físico-químicos en estos aspectos:¹

- a) Evacuación más sencilla de los lodos y fangos producidos.
- b) A su vez, hay una menor producción de lodos excedentes.
- c) La calidad global de los efluentes tratados es superior.
- d) No precisa la adición de reactivos químicos, de gran coste económico y medioambiental, por tanto, su control, mantenimiento y explotación no necesita de una mano de obra especializada.
- e) Capacidad superior en degradar la materia orgánica, contaminación característica de unas aguas residuales domésticas.
- f) Las tecnologías existentes son más adaptables a pequeños caudales.

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 201.

⁸Fangyue Li, Knut Wichmann, Ralf Otterpohl: *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses*, Science of the Total Environment, 407 (2009) 3439–3449, p. 5, 9.

Por otro lado, los procesos físico-químicos también tienen ventajas sobre los biológicos:¹

- a) Necesitan un menor espacio, pero a su vez, no están desarrollados para abastecer pequeños caudales, por lo que su adaptación a la edificación no está solucionada.
- b) Son procesos más rápidos, pero no más eficaces. El tiempo no es un factor predominante, frente a la necesidad de obtener buenos rendimientos y una relativa calidad del efluente final.
- c) Elimina mejor las formas nitrogenadas, características de las aguas residuales domésticas. Sin embargo, otros procesos biológicos pueden hacerlo de manera similar siempre y cuando se diseñen correctamente.
- d) Existen menos problemas técnicos a la hora de reiniciar el proceso tras un paro técnico de la instalación (limpieza, averías, estacionalidad en su uso, etc.).
- e) Alta efectividad en la destrucción de microorganismos patógenos. No obstante, la necesidad de proceder a la total desinfección de las aguas, nos obligará a que a final de línea se dispongan otras tecnologías destinadas a tales menesteres.
- f) Generalmente, existe un menor riesgo en la aparición de los malos olores, y, como consecuencia, en la proliferación de insectos.

Los procesos biológicos se consideran los más adecuados para el tratamiento de aguas grises debido a una eliminación eficiente de los compuestos orgánicos (Jefferson et al., 2001; Pidou et al., 2007). Sin embargo, se recomienda completarlos con otro tipo de tratamientos para una mayor efectividad.¹²

La instalación de reciclaje se articula en dos tramos bien diferenciados:¹

- a) Evacuación y tratamiento de depuración de las aguas grises (DAR): Abarca los tratamientos base de regeneración de aguas grises y los tratamientos de regeneración de antiguas aguas grises.
- b) Tratamiento de potabilización de las aguas grises tratadas (TAP): Comprende el proceso final de desinfección de las aguas grises regeneradas.

La instalación DAR es de carácter universal, mientras que la instalación TAP es más específica según el destino de las aguas o el espacio disponible.¹

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 190, 201, 233.

¹² Gideon P. Winward, Lisa M. Avery, Ronnie Frazer-Williams, Marc Pidou, Paul Jeffrey, Tom Stephenson, Bruce Jefferson, *A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse*, *Ecological Engineering* 32 (2008) 187–197, p. 2.

3.4.1_ Tratamientos de regeneración de las aguas grises.

Son aquellos que comprenden tanto los procesos primarios físicos como los secundarios biológicos.¹ Tras estos tratamientos, hablamos de aguas residuales regeneradas, es decir, que son inocuas para el medio ambiente en el caso de vertido de las mismas (excepto en Zonas Sensibles).⁸

Se aconseja que los elementos que constituyen el tratamiento base de la red sean prefabricados (hormigón, PRFV, PEHD, etc.). Sin embargo, si se diseñan y ejecutan correctamente, los elementos in situ suplen perfectamente a los prefabricados.¹

Dentro de los procesos de tratamiento base para pequeños caudales analizaremos los siguientes:

DECANTACIÓN-DIGESTIÓN-BIOFILTRACIÓN (DB)

La decantación-digestión anaerobia de lodos sedimentados con filtración biológica, o percolación, mediante lechos fijos aireados, responde a lo que comúnmente se llama biopelícula con lechos bacterianos, precedida de decantación. Consta de estas fases:¹

- Decantador-digestor anaerobio, que podrá incorporar en la parte superior el separador de grasas. En esta fase se reduce hasta un 40% del DBO, y un 75% de los sólidos en suspensión. En la **figura 13** se observa un decantador-digestor prefabricado de bajo caudal:¹

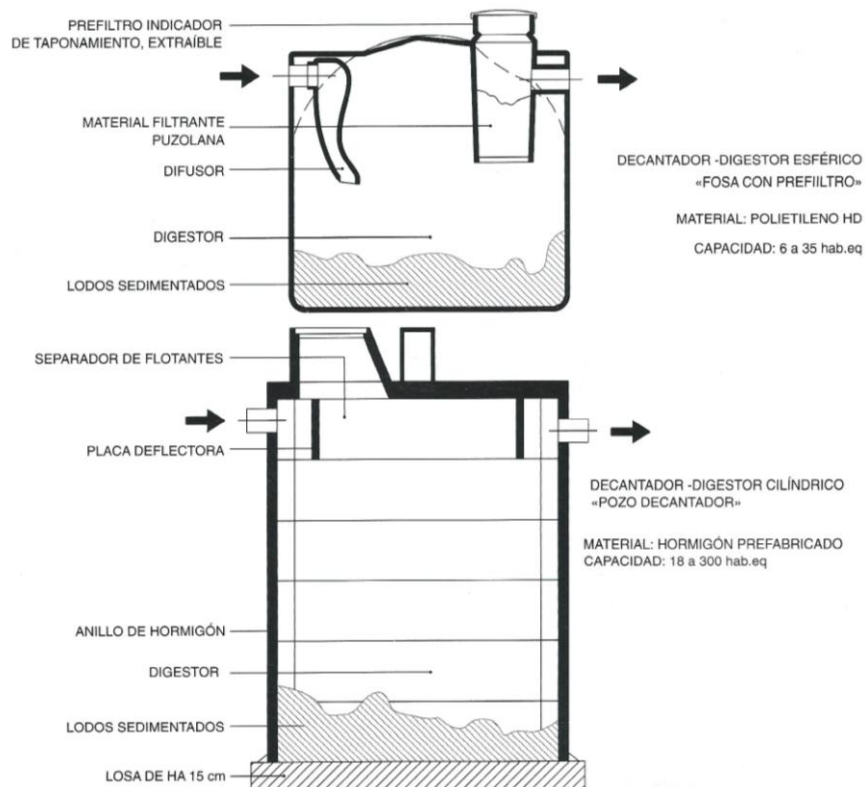


Figura 13. Decantadores-digestores prefabricados de bajo caudal.

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 233, 234.

⁸Fangyue Li, Knut Wichmann, Ralf Otterpohl: *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses*, Science of the Total Environment, 407 (2009) 3439–3449, p. 10.

- El Filtro biológico, se trata de un proceso de biopelícula como medio soporte fijo, donde se alberga la biomasa degradadora. El afluente procedente del decantador-digestor, y un flujo de aire a contracorriente, circulan a través de los huecos existentes entre el material de relleno. Los microorganismos aerobios que recubren la masa filtrante, oxidan y degradan la masa orgánica, convirtiendo el nitrógeno orgánico en inorgánico (nitrato).¹ Es muy importante asegurar la ventilación y la proliferación microbiana capaz de degradar la materia orgánica y posibilitar la nitrificación. La ventilación puede ser natural (mediante canales o chimeneas) o mecánica (mediante ventilador o inyector). Estas últimas suponen un coste energético adicional y un mantenimiento añadido. Sin embargo, se garantiza el perfecto funcionamiento y rendimiento de la instalación.¹¹

Esta fase consigue reducciones del 60-70% tanto para la DBO como para los sólidos en suspensión, por lo que junto con la fase anterior, los porcentajes de reducción serán del 80-85% y 70-80% respectivamente.¹

En la **figura 14** se observa un filtro biológico prefabricado de bajo caudal:¹

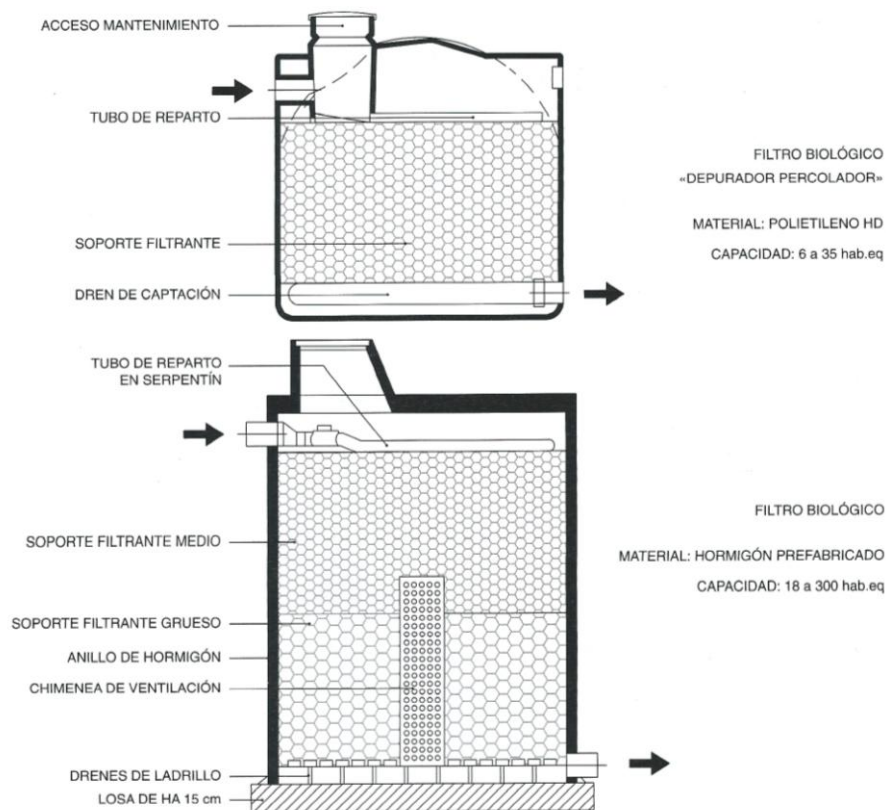


Figura 14. Filtros percoladores biológicos prefabricados de bajo caudal.

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 233, 235, 238.

¹¹ Lina Abu Ghunmi, Grietje Zeeman, Manar Fayyad, Jules B. Van Lier, *Grey water treatment in a series anaerobic – Aerobic system for irrigation*, Bioresource Technology 101 (2010) 41–50, p. 7.

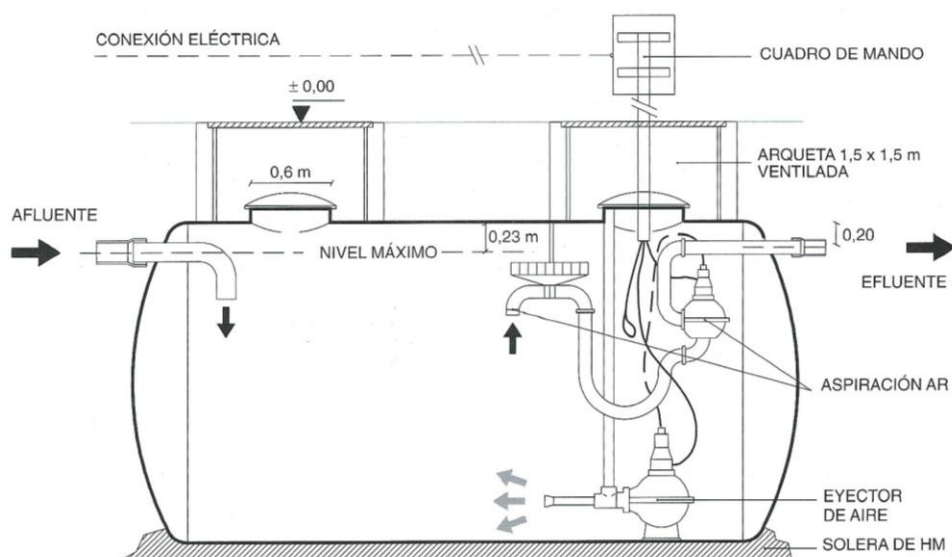
Estos filtros utilizan como masa filtrante materiales que consiguen la máxima superficie específica y el mayor número de huecos, para aumentar la superficie de fijación de la biomasa degradante al mismo tiempo que mantiene una buena circulación de aire. Los materiales más usados son escorias, gravas, puzolana, polipropileno y otros plásticos (descartando el PVC). Se ha demostrado que las características del plástico, y en especial del PP, son superiores:¹ bajo coste, alta resistencia química a disolventes, alta resistencia a la fractura por flexión o fatiga, buena resistencia al impacto a temperaturas superiores a 15°C, buena estabilidad térmica.⁴ Además, se trata de un material muy ligero que favorece la limpieza periódica y sustitución del lecho por el propio usuario de la instalación (no requiere mano de obra especializada).¹

SUPER-OXIDACIÓN U OXIDACIÓN TOTAL (OT)

La decantación aerobia con introducción de aire, con posterior depuración biológica del lecho suspendido o inundado, responde a la tecnología llamada fangos activos con aireación prolongada.¹

Las fases fundamentales de la oxidación total (OT), son: aireación prolongada, recirculación y purga de fangos.¹

En la **Figura 18** observamos un sistema OT de un solo compartimento:¹



Habitantes equivalentes	50	85	170	340	680	1.000
Caudal medio (m ³ /día)	5,0	8,5	17,0	34,0	68,0	100,0
Longitud total (m)	3,9	3,5	5,5	7,6	14,8	20,0
Diámetro (m)	1,9	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0
Peso (kg)	1.400	1.700	2.500	4.000	7.500	9.900

Figura 18. Sistema OT en un solo compartimento.

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 233, 238, 242.

⁴ Amr M. Abdel-Kader, *Studying the efficiency of grey water treatment by using rotating biological contactors system*, Journal of King Saud University – Engineering Sciences (2013) 25, 89–95, p. 1.

Este sistema puede mejorarse si la fase de decantación se produce posteriormente en un compartimento independiente: la mezcla de agua y fango pasa a una zona de clarificación. El fango decantará en la parte inferior del compartimento recirculándose al compartimento de aireación y sometiéndose nuevamente al ciclo biológico. El decantador-clarificador podrá presentarse compartimentado en un módulo compacto, junto al de aireación, o bien tratarse de módulos individuales. Esto dependerá de aspectos espaciales. En el primero de los casos, la evacuación final se realiza mediante una bomba temporizada y coordinada, pero sin necesidad de recircular los fangos; en el segundo, la evacuación del efluente se realiza por sí sola, pero con la necesidad de recircular los lodos desde el decantador-clarificador hasta el compartimento de aireación. Casi todos los modelos comercializados incorporan la bomba de recirculación de fangos.¹

El rendimiento final puede ser del 90% tanto para la DBO como para la reducción en sólidos en suspensión.¹

Por último, en la **Tabla 3** podemos comparar las características de cada uno de los sistemas analizados:¹

Tabla 3. Comparación de sistemas (1 hab.eq = 100 litros/día)

SISTEMA DB	SISTEMA OT
El desbaste no es obligatorio, aunque suponga el aumento de lodos a extraer desde el decantador-digestor.	Para la optimización del sistema, se necesitará de un desbaste previo, sobre todo desde inodoros y cocinas.
Si incorpora compartimiento de separación de grasas , se prescindirá de este pretratamiento.	En su caso, necesitará de un separador de grasas a principio de línea, tras el desbaste.
Gran producción de fangos , y la necesidad de extraerlos anualmente, como mínimo.	Baja producción de lodos , y prácticamente todos los existentes se recirculan al reactor.
Pérdida de cota debido a la biofiltración, como mínimo entre 1,5-1,8 metros, lo que supone un bombeo posterior hacia los otros tratamientos. La pérdida es baja en modelos con tejido sumergido.	Poca pérdida de cota , mas si se le añade un biofiltro posterior, la pérdida es similar.
Consumo energético inicial nulo. Cierta gasto si la ventilación a contracorriente es mecánica y, más aún, si existe recirculación de fangos hacia el decantador-digestor.	Consumo energético alto: necesidad de bombeo de evacuación de agua; recirculación de fangos, inyección de aire y, eventualmente, recirculación y extracción de fangos (3-5 kW).
Necesidad de mayor superficie : 0,5-1,2 m ² /hab. En filtros inundados, puede ser menor, pero necesita de inyección mecánica de aire y, por tanto, de aporte energético.	Menor superficie : 0,1-0,8 m ² /hab. Si se añade un biofiltro como última fase de tratamiento, la superficie puede doblarse.
No existen ruidos . Sólo cuando la bomba de recirculación o el ventilador mecánico se ponen en marcha, siempre y cuando éstos existan.	Existen ruidos durante el funcionamiento de los diferentes aparatos. El ruido se amortiguará si los aparatos están sumergidos en el agua.
Sistemas cerrados: no hay olores, insectos ni riesgo para la higiene y salud pública .	Sistemas cerrados: no hay olores, insectos ni riesgo para la higiene y salud pública .
Precio PEM de la instalación (aproximado): P < 150 hab.eq: PEM > 30 €/habitante. 150 < P < 300 hab.eq: PEM > 23 €/habitante. 301 < P < 750 hab.eq: PEM > 20 €/habitante.	Precio PEM de la instalación (aproximado): P < 150 hab.eq: PEM > 70 €/habitante. 150 < P < 300 hab.eq: PEM > 60 €/habitante. 301 < P < 750 hab.eq: PEM > 52 €/habitante.
Mantenimiento : retirada de los lodos y remover la masa filtrante, una vez al año. Sustitución del lecho filtrante, una vez cada cinco años como máximo. En caso de incorporar bombas o inyectores, cierto control de funcionamiento.	Mantenimiento : control de funcionamiento del inyector de aire, bombeo de agua y bomba de recirculación y/o extracción de lodos.
Mano de obra sin especializar. En caso de existir bombas e inyectores, cierta especialización.	Mano de obra poco especializada.
Bioteología , cada 15 días, aplicada directamente a inodoros, y vertida en el filtro biológico.	Bioteología , cada 15 días, aplicada directamente a inodoros, y vertida al reactor aireado.
Sistema idóneo para soportar paros estacionarios .	Sistema no idóneo para soportar paros estacionarios . En tal caso, habrá que introducir cepas mutadas por la bioteología cada vez que se arranque de nuevo.

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 240, 242, 244.

El sistema DB se diferencia con el OT básicamente en cuatro aspectos:¹

- a) El coste energético no es elevado, por lo que es adaptable en pequeñas edificaciones (viviendas unifamiliares aisladas o agrupadas en no más de diez unidades).
- b) La producción de fangos es superior, por lo que además de prever su destino, han de retirarse periódicamente (una vez al año). Por tanto, suponiendo que esta tarea la lleve a cabo el usuario de la instalación, serán las tipologías edificatorias del ámbito rural o que dispongan de zonas verdes las que amorticen más este sistema.
- c) Ocupan más espacio que el sistema OT, por lo que será necesario disponer de un local habilitado o zonas exteriores con espacio suficiente para su colocación.
- d) El efluente final es de peor calidad. Sin embargo, dada la necesidad de someter las aguas residuales regeneradas a nuevos tratamientos, este aspecto no es primordial.

En el tratamiento de aguas grises, el sistema DB puede ser suficiente, siempre que después se sometan a una filtración física para la retención de los sólidos en suspensión. En tal caso no es necesario recircular los fangos.¹¹

En cuanto al **bombeo de las aguas grises regeneradas**, utilizaremos siempre que sea posible maquinaria sumergida compacta, debido a estas razones:

- a) El agua amortigua el ruido generado por las bombas, aspecto interesante al localizarse éstas, en muchos casos, dentro de la edificación.
- b) La gran inercia térmica del agua actúa como refrigerante.
- c) Al anular los problemas de aspiración, se reducen las averías y los riesgos de cavitación que destruyen el impulsor.
- d) Se reduce el espacio necesario, pues la bomba se encuentra instalada directamente en el interior del pozo.
- e) El agua actúa como elemento de protección de los mecanismos de la bomba.
- f) Su diseño previene la aparición de problemas de alineación de eje.
- g) Por último, al estar inmersas en el agua, no se visualizan. Su manipulación y accesibilidad se garantizan con el simple izado mediante unos raíles verticales.

Concluyendo, las bombas sumergidas originan un ahorro en la ejecución de obra, de espacio y cierta garantía en su funcionamiento y mantenimiento, frente al único inconveniente de su precio inicial. No obstante, su amortización a corto plazo está asegurada.¹

Las bombas sumergidas de pequeño tamaño tienen potencias de motor de 0,30 kW, hasta las grandes de 600 kW, por lo que están cubiertas todas las posibilidades. Estos gastos energéticos pueden asumirse fácilmente mediante una instalación de placas fotovoltaicas.¹

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 243, 245, 248, 260.

¹¹Lina Abu Ghunmi, Grietje Zeeman, Manar Fayyad, Jules B. Van Lier, *Grey water treatment in a series anaerobic – Aerobic system for irrigation*, Bioresource Technology 101 (2010) 41–50, p. 8.

3.4.2_ Tratamientos de regeneración de las antiguas aguas grises.

En este tramo de regeneración de aguas grises se originan afluentes que pueden ser destinados a usos de <<Calidad 3>>. ¹

Los procesos de tratamiento analizados son los siguientes:

FILTRACIÓN Y ADSORCIÓN POR MEDIO GRANULAR

Se trata de un proceso donde el afluente atraviesa varios estratos, en los cuales se producen la retención mecánica y adsorción. ¹

Dichos estratos se componen de materiales de mayor granulometría en las primeras capas y de menor granulometría en las últimas, facilitando la inmovilización del agua tratada al final del proceso. En la **Figura 32** se observa el funcionamiento de un lecho multiestrato: ¹

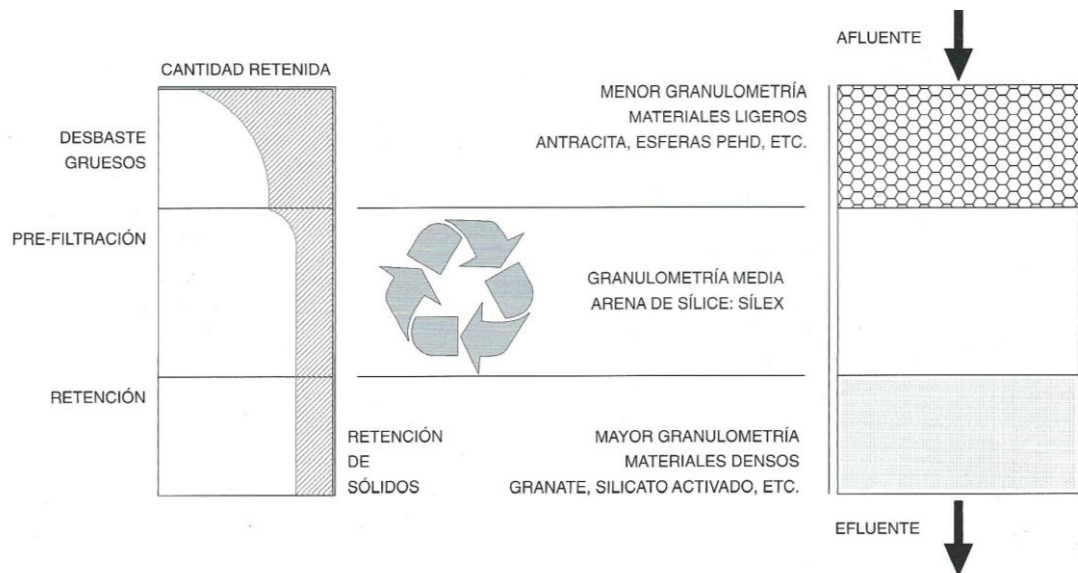


Figura 32. Esquema del funcionamiento de un lecho multi-estrato.

Existen varios materiales utilizados como filtrantes: En el estrato superior (materiales densos) suelen utilizarse granate o gravas inertes; para las capas intermedias, se usa la arena de sílice o sílex; en el estrato inferior (material ligero), normalmente se disponen carbones naturales o activados, zeolite, etc. ¹

Por otro lado, hay materiales naturales con excelentes características adsorbentes, cuya capacidad puede alterarse artificialmente: El carbón activo (CA) en forma de grano es el más idóneo para el proceso de adsorción, y puede ser, a su vez, de origen mineral o vegetal. Este material es también un excelente material filtrante. ¹

La capacidad de adsorción de una columna de GAC saturado permite un mayor tiempo de vida antes de la reposición del material, disminuyendo considerablemente los costes operativos por debajo de valores de 0,05-0,20 euros/m³, estimado por Joss et al. (2008). ¹³

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 261, 262.

¹³ L. Hernández-Leal, H. Temmink, G. Zeeman, C.J.N. Buisman, *Removal of micropollutants from aerobically treated grey water via ozone and activated carbon*, *Water Research* 45 (2011) 2887-2896, p.9

Tanto los procesos de filtración mecánica como de adsorción deben ser individuales y consecutivos respectivamente.¹

La técnica consiste en introducir el agua gris en el lecho granular, en un tiempo de contacto indiferente en filtración mecánica, pero necesario en adsorción.¹

En la **Figura 41** se observa el funcionamiento de los filtros a presión:¹

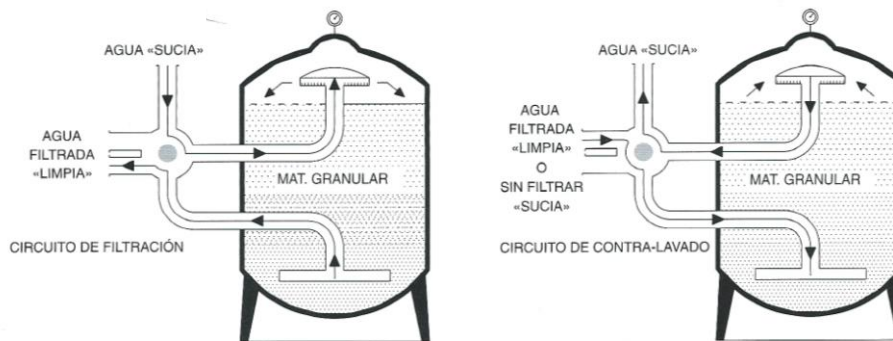


Figura 41. Esquema de funcionamiento de los filtros a presión.

La filtración granular en pequeños caudales tiene dos procesos de mantenimiento: el contra-lavado y la restitución del material.¹

El contra-lavado se activa cuando se produce una colmatación del estrato filtrante, provocando una resistencia de la arena al paso del agua. El contra-lavado puede consistir en la fluidificación del lecho, una sencilla retirada superficial de los fangos suspendidos, o ambas cosas a la vez. Se puede realizar con agua, aire o ambos, aunque es altamente recomendable usar agua en el proceso, ya que la inyección de aire conlleva una pérdida de material si no existe suficiente espacio libre por encima del lecho.¹

El contra-lavado siempre origina una pérdida del rendimiento de la instalación, debido a que desgasta el lecho granular.¹

Lo lógico es unificar los procesos de contra-lavados de las fases de filtración y adsorción, tal y como observamos en la **Figura 42:**¹

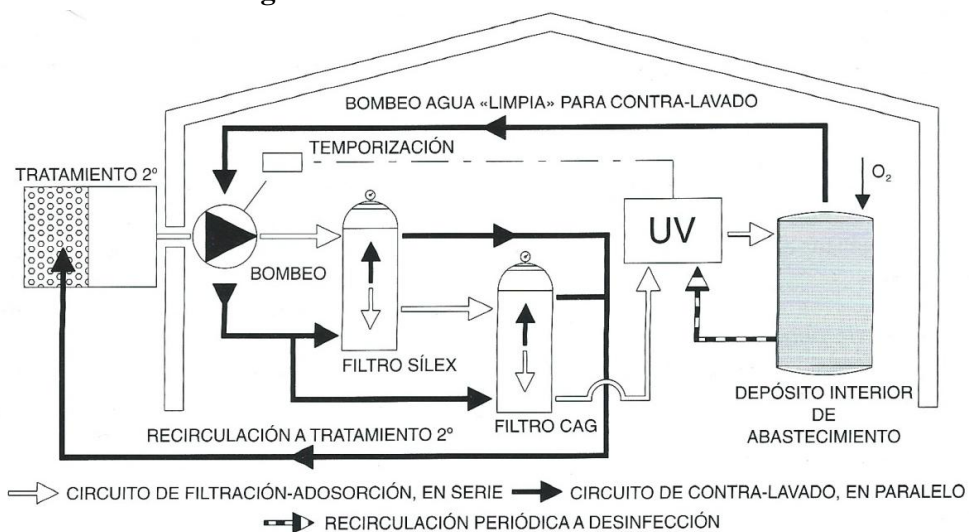


Figura 42. Esquema de la instalación de filtración-adsorción con contra-lavado.

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 262, 275, 276.

FILTRACIÓN POR MEMBRANA

Esta tecnología consiste en la separación que se da al hacer pasar por una membrana el agua residual regenerada. Será necesario que exista una fuerza importante para que una parte de la mezcla traspase la membrana (parte permeada). El resto (rechazado), es lo que la membrana no filtra.¹

En la **Figura 33** observamos el funcionamiento de la filtración por membrana:¹

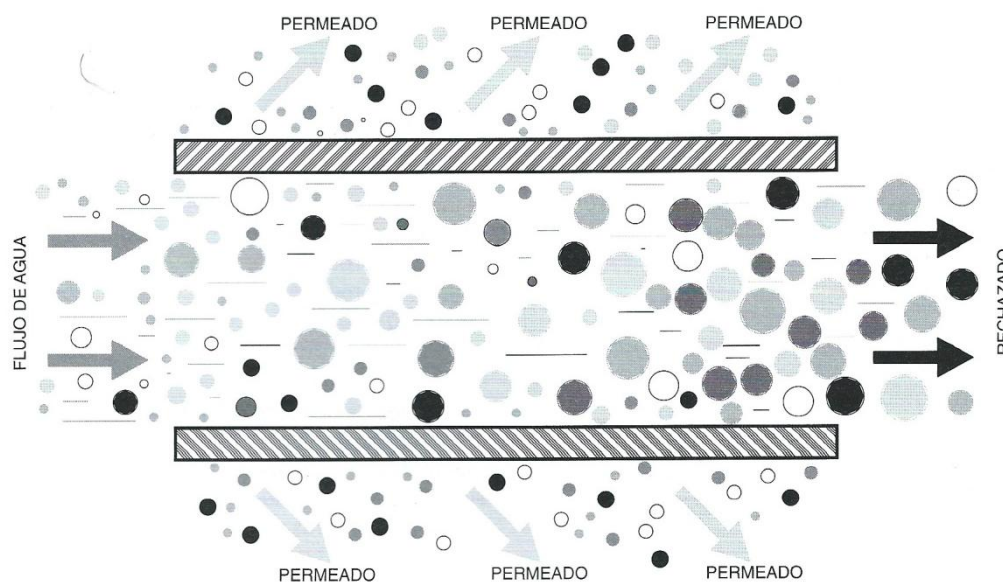


Figura 33. Esquema del funcionamiento de la filtración por membrana.

Existen varios tipos de membrana: la micro-filtración (MF) y la ultra-filtración (UF). En el uso de un tipo de membrana u otra dentro de la edificación, hay que tener en cuenta:¹

- Los niveles de restricción que exigen una <<Calidad 3>> podrán perfectamente obtenerse a partir de la MF. Con tecnologías de UF, conseguiremos efluentes compatibles con el Nivel de restricción 2, siempre a falta, en ambos casos, de otros procesos de adsorción y desinfección final.
- Para el Nivel de restricción 1 (ingestión), únicamente se garantizaría con filtraciones más eficaces (hiper-filtración u ósmosis inversa).
- Frente a la filtración mecánica por medio granular, la MF/UF figura como una tecnología superior, con un mantenimiento especializado, un mayor coste energético y, por tanto, económico. Pero a su vez consigue una mayor eficiencia y, consecuentemente, un efluente final de excelente calidad.

Los tamaños de las aberturas de las membranas juegan un papel importante en el rendimiento del tratamiento. Por ejemplo, Ramón et al. (2004) demostraron que un sistema de tratamiento de aguas grises de membrana directa UF de nanofiltración, es capaz de lograr una tasa de eliminación orgánica de 93%.⁸

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 263, 264.

⁸Fangyue Li, Knut Wichmann, Ralf Otterpohl: *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses*, Science of the Total Environment, 407 (2009) 3439–3449, p. 4.

Las técnicas dependen del tipo de membrana, cuya configuración determina el módulo. La disposición en paralelo de un conjunto de módulos conforma la unidad de filtración. La forma de las membranas más utilizadas son las de fibra hueca.¹

Las configuraciones de membrana más comunes son las siguientes:¹

- a) Módulos tubulares, como sistema de MF/UF tradicional.
- b) Módulos de membrana sumergida, como un sistema novedoso.

En el primer caso, el afluente se introduce por un extremo, recorriendo toda la membrana, dando lugar a un flujo tangencial. En la **Figura 45** se observa la técnica basada en módulos tubulares:¹

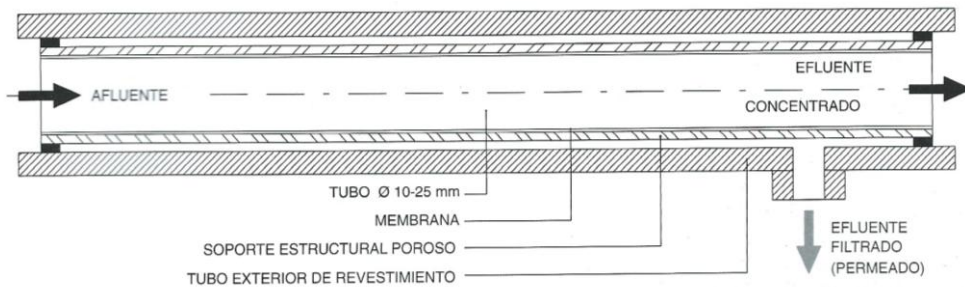


Figura 45. Sección longitudinal de un módulo tubular.

Las unidades de MF/UF con membranas tubulares constan de tres partes: prefiltración, filtración y recirculación.⁸

La prefiltración consiste en un filtro convencional de malla autolimpiable o manual, cuya eficacia irá en función de si sirven a una unidad de MF o de UF. Una vez se haya hecho la prefiltración, el efluente se introduce en módulos tubulares. El permeado pasa a procesos de regeneración posteriores (adsorción y desinfección), siendo el rechazado recirculado de nuevo a través del reactor biológico, o almacenamiento previo a la filtración.¹

En la **Figura 48** se observa el funcionamiento de la unidad de módulos tubulares:¹

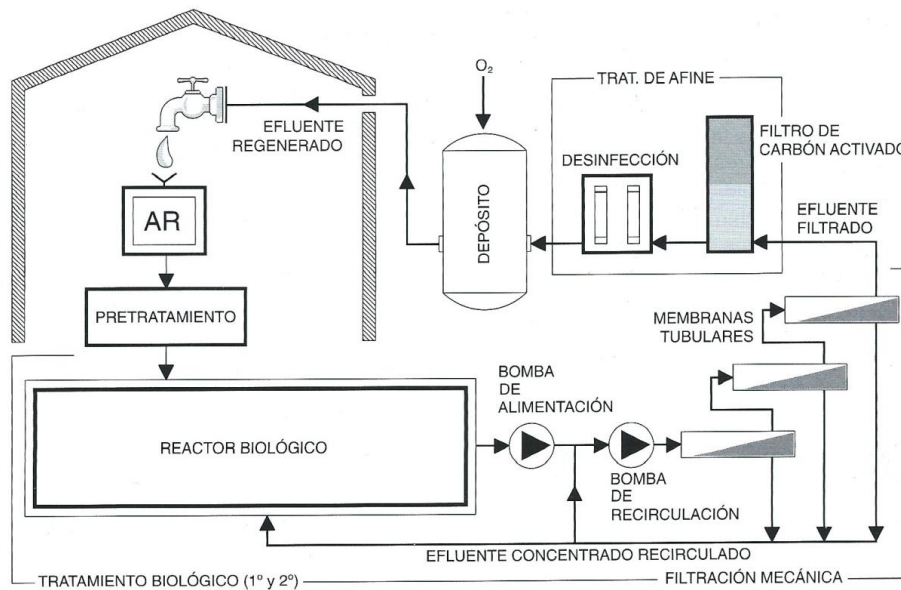


Figura 48. Esquema de funcionamiento de la unidad de módulos tubulares.

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 278, 281.

Los procesos que intervienen son sólo físicos y mecánicos, siendo los de naturaleza biológica un inconveniente hacia el mantenimiento del sistema. Sin embargo, forzosamente tendremos que prever algún tipo de fenómeno biológico paralelo.¹

Los módulos de membrana sumergida o MBR surgen a principios de los años noventa del siglo XX. Funcionan con membranas en forma de lámina porosa, con estructura portante tubular, operando sumergidas en el propio afluente. Éstas ahorran 10 veces más energía que las de tipo tubular.¹

En la **Figura 46** se observa la técnica de membrana sumergida:¹

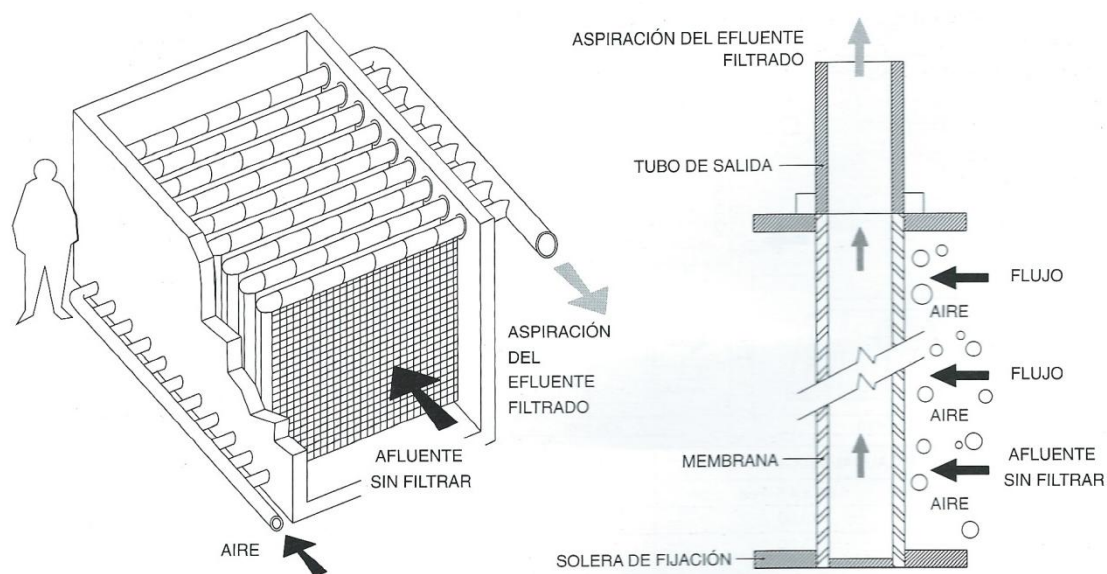


Figura 46. Detalle de una membrana laminar sumergida en reactor biológico.

Estos elementos consisten en una serie de módulos en paralelo introducidos en un reactor biológico aireado, desde donde el afluente es succionado en vez de impulsado. El mantenimiento de las membranas es pasivo, permitiendo que la propia inyección de aire ejerza su función biológica. El reactor funcionará como clarificador secundario y terciario, por lo que existe una retirada periódica de fangos.¹

Este sistema es tan novedoso porque el espacio donde se introducen las membranas hace a su vez de reactor biológico tipo OT. Esto da lugar a una reducción del espacio necesario, unificando las tres fases de la instalación de reciclaje: tratamiento base, pozo de bombeo y filtración por membrana.¹

Li et al. (2008) evaluaron la idoneidad del sistema de membrana sumergida en el tratamiento del agua gris. El estudio reveló que la filtración directa del sistema de membrana UF tenía una tasa de eliminación media de 83,4%. El permeado tenía niveles de turbidez bajos (por debajo 1 NTU), estaba libre de sólidos en suspensión y tenían una excelente apariencia física. El rechazo generado en este sistema puede ser tratado en un digestor anaeróbico en una etapa posterior para la producción de biogás o compost.⁸

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 278, 282.

⁸Fangyue Li, Knut Wichmann, Ralf Otterpohl: *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses*, Science of the Total Environment, 407 (2009) 3439–3449, p. 4.

En la **Figura 49** se observa el funcionamiento de la unidad de membrana sumergida:¹

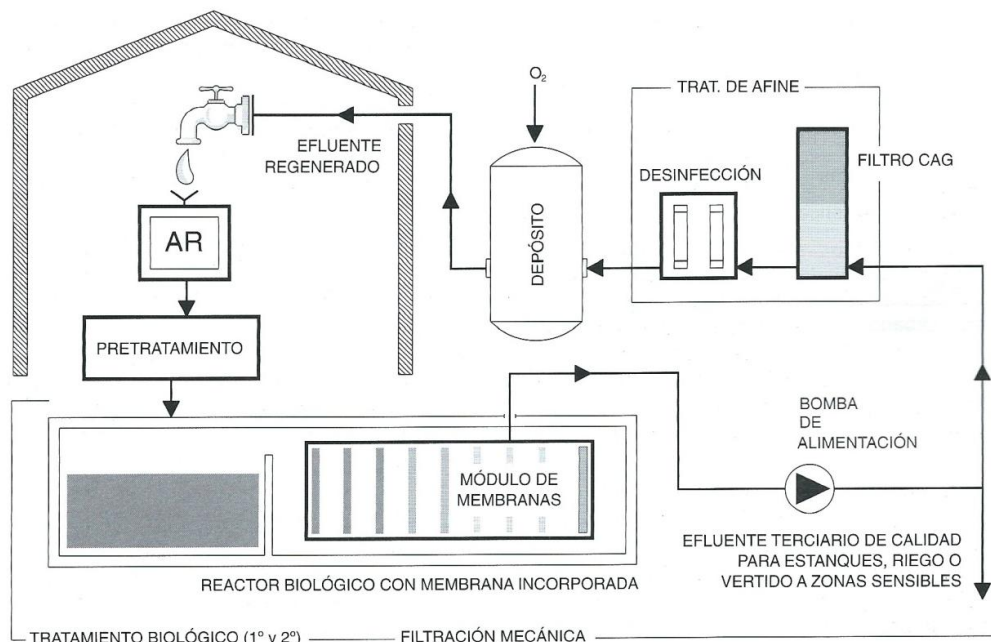


Figura 49. Esquema de funcionamiento de la unidad de membrana sumergida.

El MBR es la única tecnología capaz de conseguir la eliminación de sustancias orgánicas, surfactantes y contaminantes microbianos sin ninguna etapa de filtración y desinfección. Las cualidades del efluente MBR cumplen los requisitos más estrictos de reutilización de agua no potable urbana (Pidou, 2006). Debido a la excelente calidad del efluente, el MBR parece ser una atractiva solución para el reciclaje de aguas grises, sobre todo en colectivos de edificios residenciales urbanos (Lazarova et al., 2003).⁸

Liu et al. (2005) usaron una MBR sumergida de Mitsubishi Rayon (polietileno, tamaño de poro de 0,4 micras) para el tratamiento de las aguas grises del baño. Este estudio reveló que la DQO se redujo de 130 a 322-18 mg/l en permeado y la DBO se redujo de 99-221mg/l a menos de 5 mg/l. Los tensioactivos aniónicos (AS) se redujeron de 3,5-8,9 mg/l a menos de 0,5 mg/l en el efluente. Este estudio demostró que la degradación biológica eliminó la mayor parte de los contaminantes y la membrana limpió el resto, lo que garantiza una calidad del afluente excelente.⁸

Se requiere una desinfección final de las aguas grises para asegurar el cumplimiento con los estándares microbianos y evitar un riesgo para la salud y una estética negativa y efectos ambientales (Li et al., 2009).³ Sin embargo, la alta eliminación de los compuestos orgánicos reduce considerablemente la demanda de desinfectante químico (Friedler et al., 2006; Winward et al., 2008).¹²

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 283.

³ Carme Santasmasas, Miquel Rovira, Frederic Clarens, César Valderrama, *Grey water reclamation by decentralized MBR prototype*, Resources, Conservation and Recycling 72 (2013) 102– 107, p. 4.

⁸ Fangyue Li, Knut Wichmann, Ralf Otterpohl: *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses*, Science of the Total Environment, 407 (2009) 3439–3449, p. 7, 9.

¹² Gideon P. Winward, Lisa M. Avery, Ronnie Frazer-Williams, Marc Pidou, Paul Jeffrey, Tom Stephenson, Bruce Jefferson, *A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse*, Ecological Engineering 32 (2008) 187–197, p. 10.

En la **Tabla 6** se resume la viabilidad de las tecnologías de filtración expuestas:¹

Tabla 6. Viabilidad de las tecnologías de filtración según la dotación (litros/día) de los tipos edificatorios

<i>Tipo edificatorio</i>	<i>Dot.</i>	<i>Extensivo</i>	<i>Accesible</i>	<i>Presión</i>	<i>MF-Tub.</i>	<i>MF-Sum.</i>
Vivienda unifamiliar	500	XX	X	XX	O	O
Conjunto viv. unifamiliares (10 ud.)	5.000	XX	XX	XX	X	X
Bloque urbano viviendas	7.680	O	O	XX	XX	XX
Bloque viviendas periférico		X	X	XX	XX	XX
Hotel en bloque urbano	15.000	O	O	XX	XX	XX
Hotel aislado		XX	XX	X	XX	XX
Ed. admón. Urbano	4.650	O	O	XX	X	X
Local admón en planta baja		O	O	XX	X	O
Instalación dep. extensiva	12.300	XX	XX	X	XX	XX
Gimnasio en planta baja		O	O	XX	X	O
Restaurante en local bajo	18.000	O	O	XX	X	O
Restaurante edificio exento		XX	XX	XX	XX	XX

Nota 1: XX: posible; X: con inconvenientes; O: improbable.
 Nota 2: La dotación se ha calculado como se indicó en el capítulo correspondiente a la planificación del Proyecto de Reciclaje, dadas las tipologías, densidades y ocupaciones que se escogieron.

Observamos que el sistema de MF por membranas tubulares y MF por membranas sumergidas son una buena solución en el caso de boques de viviendas, mientras que su aplicación en viviendas unifamiliares no es rentable. La utilización de estos sistemas depende mucho de la escala de intervención.

3.4.3_ Desinfección de las aguas grises regeneradas.

Independientemente del destino de las aguas regeneradas, deberán someterse a un tratamiento de desinfección.⁹

Es necesario que los tratamientos anteriores consigan una reducción considerable de la carga orgánica, ya que éstas aumentan la demanda desinfectante del efluente tratado, lo que reduce la eficacia de la desinfección (LeChevallier et al., 1981), además de proporcionar un sustrato para la regeneración del agente patógeno (Narkis et al., 1995). La eliminación de sólidos en suspensión también es importante ya que pueden restar eficacia a la desinfección (Dietrich et al., 2003; Winward et al., 2008).¹²

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 283, 313.

⁹ Gideon P. Winward, Lisa M. Avery, Tom Stephenson, Bruce Jefferson, *Chlorine disinfection of grey water for reuse: Effect of organics and particles*, Water Research 42 (2008) 483 – 491, p. 1.

¹² Gideon P. Winward, Lisa M. Avery, Ronnie Frazer-Williams, Marc Pidou, Paul Jeffrey, Tom Stephenson, Bruce Jefferson, *A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse*, Ecological Engineering 32 (2008) 187–197, p. 2.

Existen varias técnicas desinfectantes, entre las que destacamos:

CLORACIÓN

Es una técnica utilizada desde principios del siglo XX hasta nuestros días. Sin embargo, debido a causas como la resistencia de algunos microorganismos, se ha ido sustituyendo por otras más eficientes.¹

Este proceso consiste en la generación de ácido fuerte (hipocloroso, etc.) mediante una disolución de pequeña cantidad de cloro mezclada con agua. Es lo que conocemos como cloro libre disponible, con una gran eficacia germicida.¹

Sin embargo, hay que tener en cuenta que al ser una sustancia reactiva hace que, antes de la desinfección, reaccione con otros compuestos que se encuentran en el agua. El contenido orgánico presente en las aguas residuales demandará una cantidad de cloro, lo que reducirá la disponibilidad de cloro libre para la desinfección (LeChevallier et al., 1981).⁹ Por ello es muy importante calcular la proporción de cloro que reacciona con estos compuestos y la restante que queda para desinfectar.¹

En la **Tabla 12** se muestra la dosificación necesaria en función de los tratamientos previos sometidos:¹

Tabla 12. Dosificación necesaria para crear una concentración residual de 0,2-0,3 mg (HOCl+OCl⁻)/litro

Tipo de afluente	Dosis (mg de cloro/litro o ppm)
Aguas residuales brutas	25-6
Afluentes tras tratamiento 1º (pretratamiento y decantación)	20-5
Aguas residuales regeneradas (tras tratamiento 2º)	18-3
Aguas regeneradas tras filtros a gravedad (tras tratamiento 3º)	3-1,5
Aguas regeneradas tras filtros a presión y adsorción	2-1
Aguas relativamente «puras»	1

Existen dos puntos clave en la utilización de cloro para el tratamiento de aguas grises:⁹

- a) La concentración orgánica afecta a la demanda de desinfectante pero no influye en la resistencia microbiana a la inactivación.
- b) La eficacia del cloro en la desinfección está muy estrechamente vinculada al tamaño de las partículas de la materia en el agua gris.

Dietrich et al. (2003) determinaron que el grado en que el cloro penetra en las partículas está influenciado por la concentración inicial de cloro. La concentración de cloro inicial y tiempo de contacto pueden incrementarse para mejorar la penetración en las partículas; sin embargo, las altas concentraciones de cloro y tiempos de contacto largos no son opciones prácticas para la reutilización de aguas grises.⁹

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 313, 315.

⁹Gideon P. Winward, Lisa M. Avery, Tom Stephenson, Bruce Jefferson, *Chlorine disinfection of grey water for reuse: Effect of organics and particles*, Water Research 42 (2008) 483 – 491, p. 2, 7.

Hay dos maneras de aplicación de esta técnica:¹

- a) Inyección de cloro gas (≥ 2.000 mg de cloro activo/litro de agua) en una solución previa que más tarde se incorpora al caudal de agua. Es la forma más eficaz y cara. Sin embargo, es una técnica arriesgada y requiere una mano de obra y coste económico importante, por lo que sólo se utilizará en instalaciones de envergadura.
- b) Inyección de hipocloritos por disolución (≥ 500 mg de cloro activo/litro), para caudales más pequeños. En tal caso, estará constituido por bombona dosificadora y un inyector.

Esta técnica se considera la menos idónea debido a que la reacción del cloro inicial con los compuestos orgánicos del agua produce olores y productos peligrosos, que se sospecha que pueden afectar a la seguridad, habitabilidad, salud y medio ambiente, terminando por la influencia negativa que origina en la aceptación social de la instalación de reciclaje.¹ Además, otro inconveniente es el caso de tratamiento de aguas de alta carga orgánica. De todos modos, los compuestos orgánicos no limitan la desinfección siempre que la concentración de cloro inicial se ajuste para satisfacer cualquier demanda de cloro adicional y mantener una cantidad aceptable de cloro libre, pero una incorrecta dosificación de cloro puede acarrear problemas.⁹

El rebrote de partículas puede presentar un riesgo para la salud tras la desinfección por cloro (Dixon et al., 1999). Por esta razón, la eliminación de sólidos en suspensión, y por lo tanto de las partículas más grandes de las aguas grises, es un requisito clave para lograr una desinfección eficaz posterior.⁹ De todas formas, hay que aclarar que este tratamiento nunca puede ser único, siempre deberá ir acompañado de otro proceso de desinfección adicional.¹

OZONIZACIÓN

La ventaja con respecto a la cloración es que, con la misma cantidad de ozono inyectado se requiere un menor tiempo de contacto.¹

Sin embargo, al igual que la cloración, es necesario que las dosis de ozono deban incrementarse a valores de 8-20 mg O₃/litro, con contactos de seguridad de 10 a 30 minutos máximo. Este tiempo de contacto requiere que la instalación incorpore un tanque de reacción, con un dispositivo para la recogida y expulsión controlada del ozono que se escapa.¹

El sistema se compone de tres elementos: el productor de ozono conectado a la red eléctrica y a un flujo de aire u oxígeno comercial; un tanque de contacto-reacción; y uno o varios filtros de desonización.¹

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 313, 316, 317.

⁹Gideon P. Winward, Lisa M. Avery, Tom Stephenson, Bruce Jefferson, *Chlorine disinfection of grey water for reuse: Effect of organics and particles*, Water Research 42 (2008) 483 – 491, p. 7.

En la **Figura 69** se observa el esquema de las etapas de la ozonización:¹

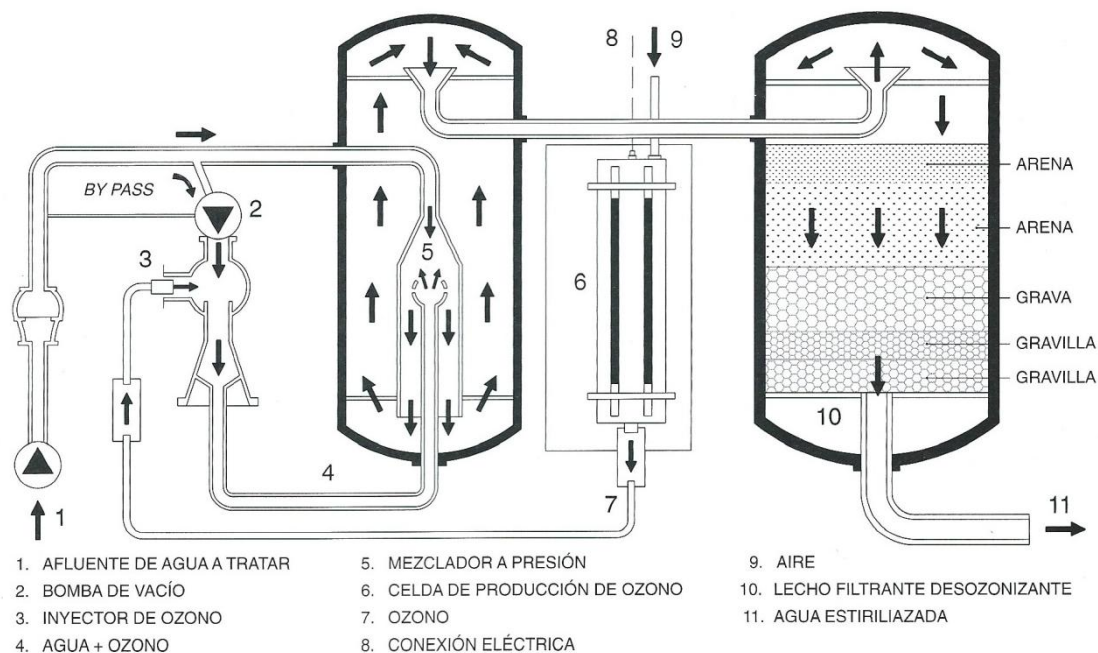


Figura 69. Esquema simplificado de las etapas de desinfección por ozono.

Esta tecnología no es la más idónea para su aplicación en edificaciones individuales, debido a la complejidad del sistema, el coste energético en la producción artificial de ozono y la necesidad de un mantenimiento exhaustivo. Únicamente es rentable su utilización en tipologías con grandes caudales a tratar.¹

En el caso de caudales importantes, se considera que la aplicación de una dosis de ozono de 15 mg/l es un proceso de post-tratamiento asequible con los costes de 0,05-0,20 euros/m³ (inversión y operación) (Joss et al., 2008).¹³

RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Los rayos UV se clasifican en cuatro categorías, de las que destacamos las de onda corta (UV-C).

Existen varias maneras de producir la radiación UV-C. Lo difícil es crearla durante un período de tiempo largo con un bajo consumo energético. Ésta radiación se genera a partir de una lámpara de mercurio, dividiendo, a su vez, éstas según sean de baja o media-alta presión. Con bajos caudales, las lámparas utilizadas son las de baja presión.¹

En cuanto a las dosis máximas necesarias para la inactivación de los microorganismos patógenos, los valores van de los 4.000 $\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ para ciertas bacterias, 8.000-11.000 $\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ para los virus, hasta los 100.000 $\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ para los protozoos.¹

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 318, 319, 320, 321.

¹³ L. Hernández-Leal, H. Temmink, G. Zeeman, C.J.N. Buisman, *Removal of micropollutants from aerobically treated grey water via ozone and activated carbon*, *Water Research* 45 (2011) 2887-2896, p.9

La mayor desventaja del sistema es que a las 36 h después de la esterilización tiene una nula capacidad desinfectante, por lo que será necesario recircular los afluentes cada cierto tiempo, o bien utilizar conjuntamente una pequeña dosis de cloro.¹

Sin embargo, a diferencia de los dos casos anteriores, la desinfección de las aguas residuales mediante este sistema sí parece estar demostrada.¹⁵ De todas formas, es conveniente disponer de más de una unidad, bien en paralelo, bien en serie:¹

- a) Dos unidades colocadas en paralelo permiten la continuidad de funcionamiento de la instalación cuando una de ellas falla, tal y como se observa en la **Figura 76**.¹

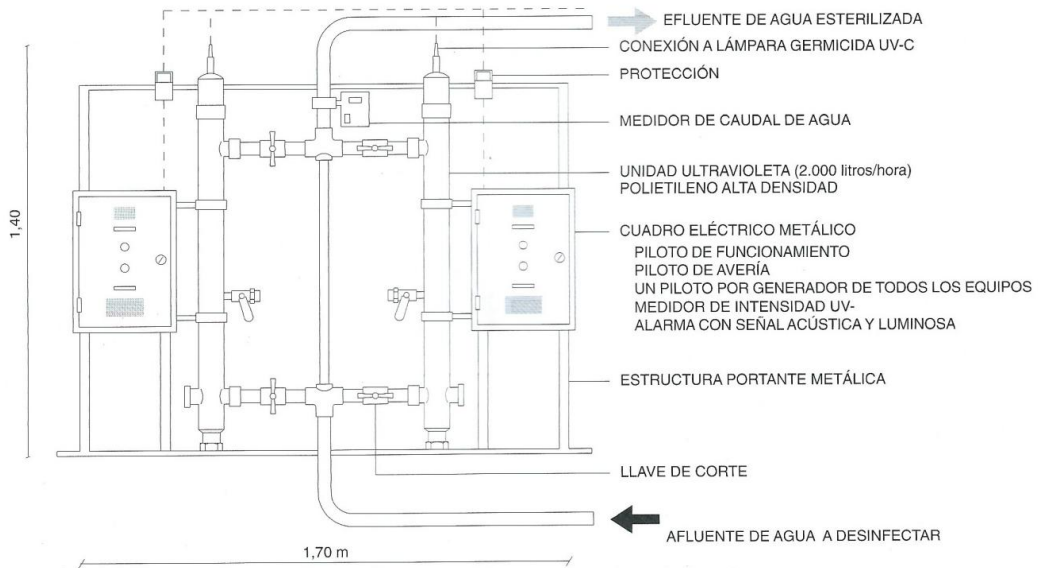


Figura 76. Instalación en paralelo para caudales de 0,80 litros/s.

- b) Dos o más unidades en serie aumentan la dosis de irradiación.

El coste de la lámpara supone el 95-98% del gasto total, por lo que las necesidades energéticas son mínimas, sobre todo si todos los aparatos conectados a la red se suministran a partir de placas fotovoltaicas.¹

Cuanto mayor sea el caudal a tratar, menor tiempo necesitará la instalación para amortizarse: en una agrupación de 10 viviendas unifamiliares, el gasto unitario es 5 veces menor que en una individual; y en el caso de los bloques urbanos, el coste es la mitad que en agrupaciones unifamiliares.¹⁵

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 322, 325, 326.

¹⁵ Víctor Matamoros, Victòria Salvadó, *Evaluation of a coagulation/flocculation-lamellar clarifier and filtration-UV-chlorination reactor for removing emerging contaminants at full-scale wastewater treatment plants in Spain*, Journal of Environmental Management 117 (2013) 96-102, p. 1.

En las **Figuras 77 y 78** se muestra una comparativa de los costes iniciales de cada uno de los sistemas y de los costes de mantenimiento y explotación, respectivamente:¹

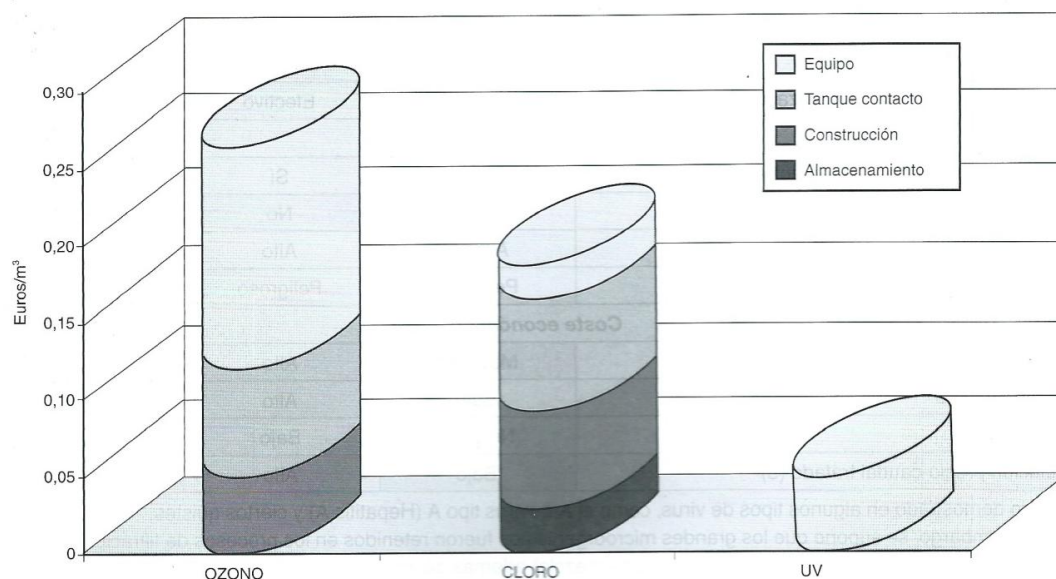


Figura 77. Comparativa de los costes iniciales de los tres sistemas.

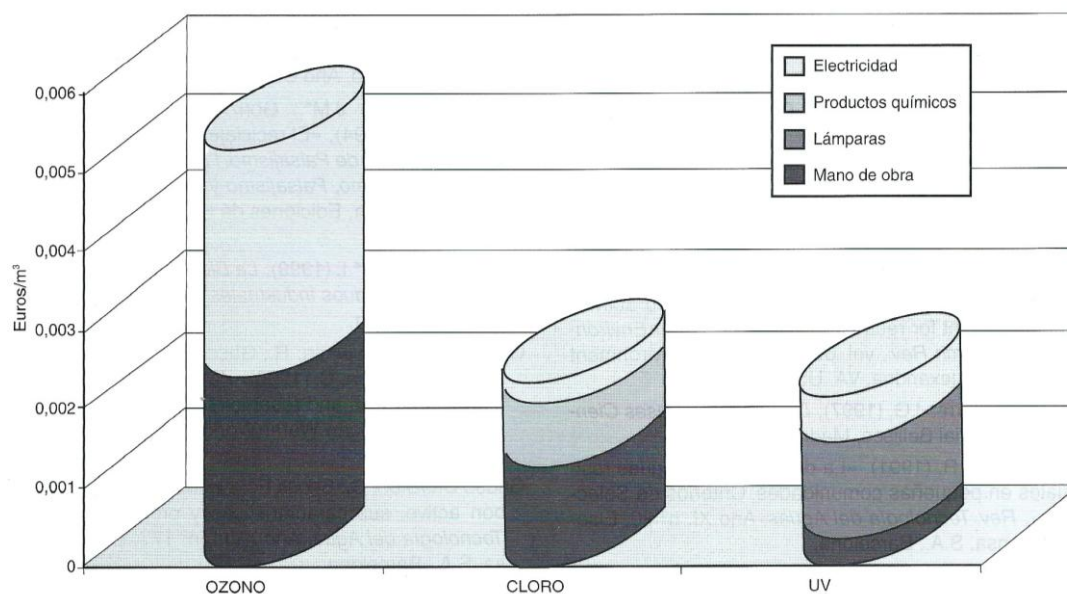


Figura 78. Comparativa de los costes de mantenimiento y explotación.

El coste inicial de la desinfección mediante UV se reduce únicamente al equipo, disminuyendo mucho la inversión en comparación con los otros métodos analizados. La desinfección por ozono es sin duda la menos rentable en cualquier caso.

A pesar de la rentabilidad de sistema UV, la desinfección por cloro es la más común. Esto se debe a que es una técnica relativamente sencilla y tiene una mayor rentabilidad de comercialización.⁹

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 327, 329.

⁹Gideon P. Winward, Lisa M. Avery, Tom Stephenson, Bruce Jefferson, *Chlorine disinfection of grey water for reuse: Effect of organics and particles*, Water Research 42 (2008) 483 – 491, p. 1.

En la **Tabla 15** podemos observar las características de cada uno de los sistemas expuestos.¹

Tabla 15. Comparación de los diferentes tipos de desinfección para pequeños caudales de aguas regeneradas

<i>Propiedades</i>	<i>Cloro</i>	<i>Ozono</i>	<i>UV</i>
Eficacia del sistema			
Destrucción bacteriológica	Alta	Alta	Alta
Destrucción de algas	No	Sí	Dosis altas
Destrucción de virus	No (1)	Sí	Sí
Destrucción de nematodos, protozoos, etc.	No (2)	Sí	Sí
Efecto residual desinfectante	Alto	Bajo	Nulo
Oxidación adicional del efluente	No	Sí	No
Efectos secundarios			
Características organolépticas del efluente	Negativas	Positivas	No afecta
Producción de toxinas	Alta	Desconocida	Ninguna
Producción de olores	Alta	Moderada	Ninguna
Corrosión de tuberías	Sí	Muy poco	No
Necesidades de calidad del afluente de entrada			
Concentración en sólidos en suspensión	Bastante	Bastante	Bastante
Influencia del pH del agua	Bastante	Moderada	Ninguna
Influencia de la temperatura del agua	Bastante	Bastante	Ninguna
Mantenimiento y explotación del sistema			
Tiempo de contacto necesario	≥ 20 minutos	10-20 minutos	≤ 10 segundos
Mano de obra relativamente especializada	Sí	Sí	No
Facilidad del mantenimiento	No	Relativa	Sí
Frecuencia del mantenimiento	Frecuente	Continua	Poco frecuente
Sistema de control y automatización	Muy efectivo	Efectivo	Excelente
Instalación y ubicación del sistema			
Necesidad de tanque de contacto-reacción	Sí (3)	Sí	No
Almacenamiento de productos químicos	Sí	No	No
Espacio total necesario	Alto (4)	Alto	Muy bajo
Seguridad y medio ambiente	Peligroso	Peligroso	Seguro
Coste económico			
Capital inicial de la instalación	Muy bajo	Alto	Bajo
Mantenimiento	Bajo	Alto	Muy bajo
Energético	Ninguno	Bajo	Bajo
Relación precio-caudal tratado (5)	Bajo	Alto	Bajo
(1). No demostrado en algunos tipos de virus, como el Arbovirus tipo A (Hepatitis A) y ciertos quistes. (2). Sin embargo, se supone que los grandes microorganismos fueron retenidos en los procesos de filtración. (3). Si se pretende un alto efecto germicida (buena mezcla) además del residual. (4). No solamente por el tanque de contacto, sino también para el almacenamiento de bombonas de repuesto. (5). Referido a pequeños caudales asimilados a edificaciones aisladas o pequeños complejos residenciales.			

La ozonización y la radiación UV tienen mayor aplicación cuando se complementan con algún reactivo químico (cloro en pequeñas dosis) que pueda producir un último efecto residual.¹⁵

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 326, 328.

¹⁵ Víctor Matamoros, Victòria Salvadó, *Evaluation of a coagulation/flocculation-lamellar clarifier and filtration-UV-chlorination reactor for removing emerging contaminants at full-scale wastewater treatment plants in Spain*, Journal of Environmental Management 117 (2013) 96-102, p. 1.

3.5_ Influencia de los materiales de la instalación.

Es necesario cuidar mucho el material utilizado en la red de tratamiento de aguas residuales, ya que su degradación puede alterar tanto las características organolépticas como las concentraciones tóxicas del agua tratada.¹³

Realmente, no hay ningún material que asegure no desprender sustancias tóxicas. Pero sí encontramos algunos que son más "idóneos" para el caso. Analizaremos aquellos más comunes:¹

PLOMO

Aparece en el agua a partir de la corrosión de la tubería y de las soldaduras y griferías de cobre o bronce emplomado. Suele darse sobre todo en actuaciones sobre edificaciones existentes que tienen instalaciones de fontanería de este material.¹

La utilización del plomo en canalizaciones y soldaduras se mantuvo hasta los años cuarenta del siglo XX.¹ Actualmente, dada la alteración que producen en las condiciones de potabilidad del agua, el CTE prohíbe expresamente los tubos cuya composición contenga plomo.¹⁶ La normativa española las permite únicamente en las juntas, con condiciones específicas para este fin. Por tanto, previendo que el agua ya contenga cierta cantidad de plomo, nunca utilizaremos este material en una instalación de reciclaje de agua, ni en tuberías, uniones o elementos singulares de la red.¹

COBRE

Según la USEPA, al igual que el plomo, se considerará que unas aguas están contaminadas por el cobre cuando el 10% de las muestras obtenidas de un grifo residencial superen la cantidad de 1.300 µg/litro.¹

El CTE-HS4 establece que se debe evitar siempre la incompatibilidad de las tuberías de cobre controlando la agresividad del agua. Se consideraran agresivas las aguas dulces y ácidas (pH inferior a 6,5) y con contenidos altos de CO₂.¹⁶ Hay que tener en cuenta que para las aguas regeneradas de <<calidad 3>> se permite un pH de 6-9, así que pueden darse incompatibilidades de material.

ZINC

La utilización de este material no supone un problema, ya que las aguas con tratamiento terciario no suelen llevar concentraciones superiores a los 100 µg/litro, valor muy por debajo de los exigidos para las diferentes calidades que se demandan a las aguas regeneradas para cualquier destino.¹

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 190, 193, 194, 195.

¹³ L. Hernández-Leal, H. Temmink, G. Zeeman, C.J.N. Buisman, *Removal of micropollutants from aerobically treated grey water via ozone and activated carbon*, Water Research 45 (2011) 2887-2896, p.9

¹⁶ Código Técnico de la Edificación (CTE), HS4. Suministro de agua, p. 101.

ALUMINIO

Para las aguas de <<Calidad 2 y 3>> los límites marcados por la normativa son de 100 y 2.000 µg/litro respectivamente.¹

Teniendo en cuenta que unas aguas superficiales ya pueden contener hasta 300 µg/litro, a las que habría que sumar las de las aguas residuales domésticas (un ser humano ingiere unos 20.000 µg/día de aluminio), así como una cantidad debida a la corrosión y disolución a partir de los materiales (canalizaciones), fácilmente superaríamos los límites normativos señalados.¹

Al igual que el plomo, el CTE establece que para la canalización de agua potable quedan expresamente prohibidos los tubos cuya composición contenga aluminio.¹⁶

Por tanto, la utilización del aluminio en la instalación es poco aconsejable, ya que se sobrepasan con facilidad los límites máximos de presencia en el agua, además de ser poco económico.¹

ACERO E HIERRO

La USEPA marca unos límites para el hierro de 300 µg/litro. Por tanto, si las aguas superficiales pueden tener entre 20 y 200 µg/litro, es sencillo sobrepasar la cantidad máxima aconsejada.¹

FIBROCEMENTO

Desde un punto de vista mecánico, químico y biológico, tanto las tuberías como los depósitos de fibrocemento funcionan muy bien. Sin embargo, pueden liberar fibras de asbestos por su desgaste, rotura o lixiviación por obra del agua.¹

La toxicología del asbesto por ingestión o exposición no ha sido demostrada, pero sí se ha hecho por inhalación: las fibras más cortas y delgadas son las más tóxicas.¹

Aunque no hay normativa que especifique detalles sobre la utilización de este material, sí se indica que hay que evitar los fluidos que contengan amianto, sustancia que desprende el fibrocemento.¹

Por tanto, únicamente utilizaremos este material cuando se pueda garantizar su protección y revestimiento interior.¹

Actualmente se están comercializando nuevos fibrocementos sin asbesto, que mejoran mucho los inconvenientes de los tradicionales. Sin embargo, dado su impacto ambiental, lo sustituiremos por otros materiales siempre que sea posible.¹

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 195, 196, 197, 198.

¹⁶Código Técnico de la Edificación (CTE), HS4. Suministro de agua, p. 101.

PVC

Aunque el PVC es el plástico con menor proporción de derivados del petróleo (43%), los costes medioambientales de su producción son bastante altos. Además, un claro inconveniente es su riesgo en caso de incendio, pues durante la combustión desprende compuestos clorados que resultan altamente tóxicos.¹

Sin embargo, lo que más preocupa es la solubilidad en agua del cloruro de vinilo (VCM) como compuesto base del PVC. La toxicidad de VCM ha quedado demostrada tanto por inhalación como por ingestión. Los límites establecidos para el agua potable son de 2 µg/litros.¹

Por tanto, parece sensato excluirlo de cualquier uso dentro de la red de reciclaje de aguas residuales.¹⁴

Los materiales que pueden sustituir al PVC, fibrocemento, etc., serán plásticos no derivados del cloro.¹

- Tramos de DAR: Canalizaciones y elementos singulares de polipropileno (PP) o poliéster centrifugado con fibra de vidrio (PRFV). Este último, aunque es más reciente y tiene un precio más elevado, tiene unas características excepcionales.

Los materiales tradicionales, como el hormigón o la cerámica, quedan descartados, debido a la inferioridad de características físicas, químicas y biológicas, y económicas, frente a los plásticos. Otros, como el acero fundido o inoxidable, siempre que se utilicen para canalizaciones interiores o enterradas, quedan condicionados por su precio y comercialización.

- Tramos de TAP: Se pueden utilizar los mismos materiales que en el tramo DAR, pero es importante que estén preparados para el trabajo bajo presión. El polietileno reticulado (PER o PEX) o liso, el polipropileno (PP-R), el polibutileno (PB) son materiales bastante aceptables para redes bajo presión.

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 199, 200.

¹⁴S. Curcio, V. Calabrò, G. Iorio, *An experimental analysis of membrane bioreactor performances with immobilized chymosin*, *Journal of Membrane Science* 173 (2000) 247–261, p. 3.

3.6_ Consideraciones espaciales.

TRAMO DE REGENERACIÓN DE LAS AGUAS GRISES

No existe normativa específica para instalaciones de depuración de aguas. Sin embargo, podemos considerar una serie de medidas obligatorias en cuanto a la localización de elementos. Los comerciantes son los que aconsejan algunas medidas al respecto.¹

Los elementos singulares de la instalación pueden localizarse en dos lugares diferentes:¹

Cuando se disponga de suficiente espacio exterior, se localizarán **fuera de la edificación**, ya sea enterrados, semienterrados o a la intemperie.

En áreas urbanas, donde sea imposible disponer de un lugar exterior, se situarán **en la cota inferior del edificio, en local habilitado o bajo rasante**.

De esta forma, se evita un elemento de bombeo inicial de las aguas residuales y se esconden de la vista facilitando su aceptación social. La mayor desventaja que tiene localizarlos en un local exclusivo es la generación de olores en el momento de la retirada de fangos. Por otro lado, si se produce una avería, la actividad dentro del edificio no se paraliza.¹

Elementos como el reactor o filtros biológicos se colocan siempre en excavaciones o terraplenados suaves, dejando una distancia mínima de 30 cm como hasta las paredes. El cuerpo descansará sobre una capa de arena de 10-30 cm. El hueco restante, se rellena con arena estabilizada u otro material no punzante.¹

En el caso de terrenos inestables, el cuerpo debe anclarse a una losa de hormigón, pero sin apoyar directamente sobre ella, dejando una capa de arena o grava compactada de al menos 20 cm de espesor.¹

Desde la cota alta del terreno hasta la generatriz de la cuba, debe haber una distancia máxima de 50 cm, además de los materiales de acabado, si existen (pavimentos, soleras de HM, etc.).¹

Si esta distancia sobrepasa los 50 cm (nunca será mayor a los 1,50 m), se colocará una losa de HA de 10 cm de espesor, sobresaliendo al menos 50 cm de los bordes de la excavación. Además, se dispondrá una capa de relleno de 10 cm de espesor.¹

Si los tanques se localizan en un suelo transitado por tráfico rodado (es el caso de la ubicación de elementos bajo garajes subterráneos en edificios de viviendas urbanas), debe disponerse una losa de HA calculada para este fin. En este caso, hay que tener especial cuidado con la cimentación del edificio, separando el área de relleno al menos 50 cm de la misma.¹

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 250, 253, 254, 255.

En la **Figura 29** se observa la ubicación del cuerpo enterrado en el interior del edificio:¹

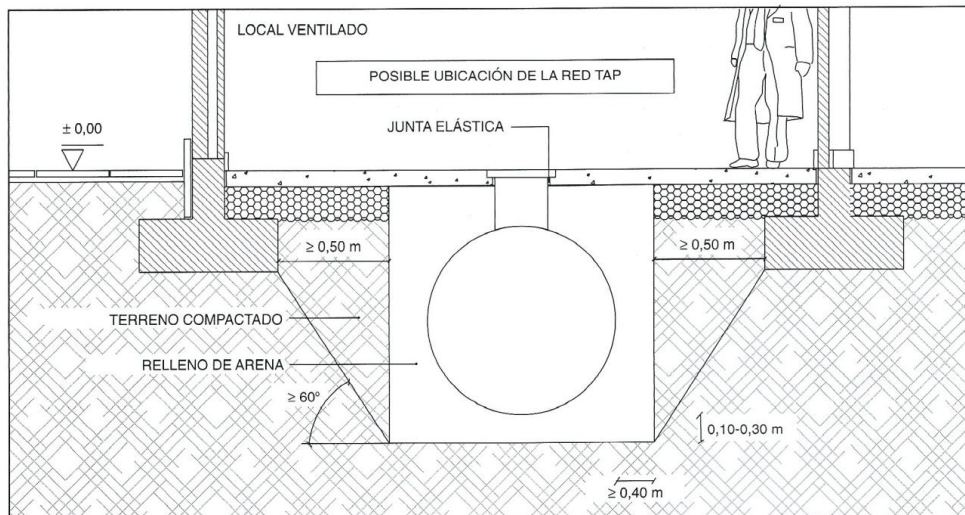


Figura 29. Ubicación bajo sótano o planta baja dentro del edificio.

También se puede situar el tanque en el interior pero sin estar enterrado. Aunque desde el punto de vista del mantenimiento es más aconsejable, existe una pérdida importante de espacio del local y, sobretodo, aparece la necesidad de bombear previamente las aguas residuales.¹

En la **Figura 30** se observan las distancias a paramentos horizontales y verticales que favorecen el mantenimiento de la instalación:¹

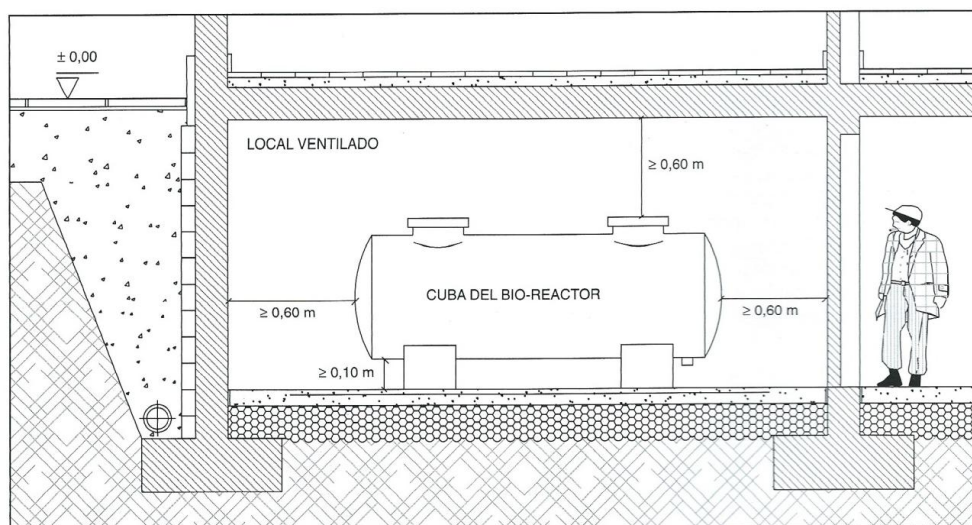


Figura 30. Ubicación en sótano o planta baja dentro del edificio.

Por último, en el caso de localizar los tanques en el exterior, si se dejan vistos será necesario protegerlos con alguna valla, con distancias iguales a las indicadas en su localización interior.¹⁶

Los locales interiores donde se ubiquen estos elementos deben estar perfectamente ventilados como si de un cuarto de basuras se tratase.¹

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 255, 257, 258.

¹⁶Código Técnico de la Edificación (CTE), SUA2. Seguridad frente a riesgo de impacto, p. 17.

TRAMO DE REGENERACIÓN DE LAS ANTIGUAS AGUAS GRISES

La filtración bajo presión (granular o por membrana) requiere disponer siempre de un local exclusivo, localizado en el exterior o en el interior de la edificación.⁸

Al igual que el caso anterior, no existe normativa que contemple las instalaciones de tratamiento de agua en el interior de la edificación. Consideraremos que las características que debe cumplir son las que se requiere en una sala de instalaciones.¹

Consideraciones espaciales: Tenemos que tener en cuenta que cada aparato se colocará, al menos, a 0,60 m de tres de los cuatro paramentos verticales del local de instalaciones donde se ubica, y a más de 0,80 m del techo. Su fijación al suelo debe ser lo más horizontal posible, salvando la pendiente del solado con bases antivibratorias. La distancia entre aparatos nunca será inferior a los 0,30 m, o aquella que se considere suficiente para su manipulación. La sala de este tipo tendrá una superficie útil mínima de 9,00 m².¹

En la **Figura 61** se observa una sala de instalaciones de regeneración de aguas:¹

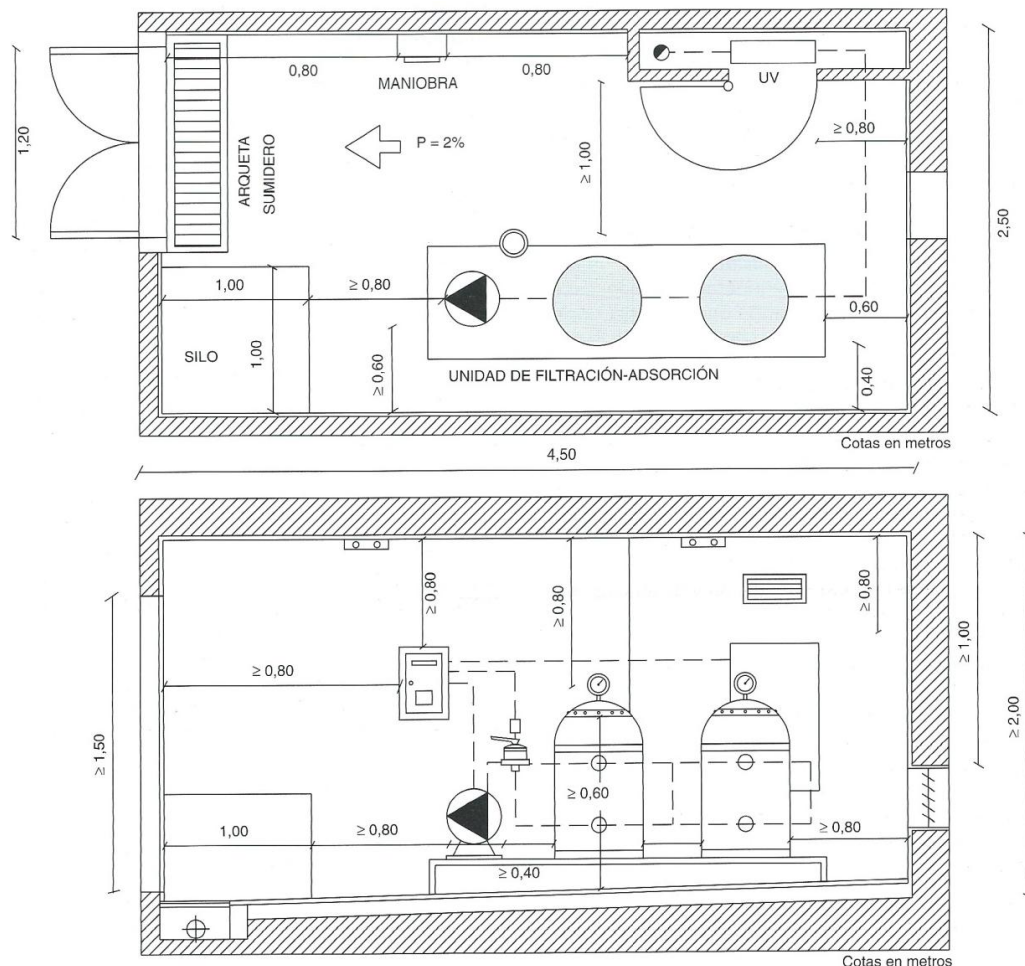


Figura 61. Sala de instalaciones de regeneración de aguas. Dimensiones.

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 297, 303.

⁸ Fangyue Li, Knut Wichmann, Ralf Otterpohl: *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses*, Science of the Total Environment, 407 (2009) 3439–3449, p. 5.

Es necesario que los accesos a la sala se ejecuten con hoja practicable hacia el exterior, con aquella anchura como para que cualquiera de los aparatos pueda atravesarlo. En caso de comunicar con zonas de aparcamientos, se realizará un vestíbulo previo con la consiguiente compartimentación y distancias exigidas por la normativa de protección contra incendios.¹⁶

El solado ha de ser antideslizante e impermeable, con una pendiente suficiente como para desalojar rápidamente cualquier fuga.¹⁶

Iluminación: Debe ser suficiente para cubrir las necesidades de mantenimiento del sistema (250-500 lux, en horizontal). Se aconsejan lámparas fluorescentes, compactas y estancas.¹

Protección frente a incendios: Por analogía con salas de instalaciones convencionales, las consideramos de Riesgo Bajo.¹ Este tipo de salas requerirán una resistencia al fuego de paredes y techos (RF-90), estabilidad de la estructura (EF-90), materiales de paredes y techos (M-1) o suelos (M-2) y puertas (RF-60 o dos RF-30 si por motivos de diseño existe vestíbulo previo).¹⁶

En cuanto a las instalaciones de protección, se recomienda como mínimo la colocación de un extintor de CO₂ de 5 kg de capacidad, de eficacia 21B.¹

Ventilación: Las necesidades son las de un cuarto de máquinas convencional, que es el aporte del aire frío necesario para que la temperatura interior no supere los 35°C, así como para prevenir alguna producción de humos por fallo de los aparatos.¹

La ventilación directa se realiza mediante huecos al exterior, de superficie de hueco no menor de 1/40 de la superficie útil en planta del local (y nunca inferior a 700 cm²). Aunque se indica que ambas aperturas (de entrada y salida) deben colocarse de forma que su borde superior no esté a una distancia mayor de 1,00 m del techo, la mejor solución es la de localizar la entrada del aire en la parte inferior de la pared (en la puerta, si es un local exterior y exento) y la superior en la parte alta del paramento, optando por el patio inglés si el local se encuentra semienterrado; cuando no se tengan dos paramentos enfrentados que den al exterior, la salida se ejecuta mediante conducto vertical a cubierta, con tramos previos horizontales si el diseño lo exige. En tal caso, las canalizaciones horizontales no tendrán una longitud superior a los 10 m, con una superficie nunca inferior a los 700 cm².¹⁶

Ruido y vibraciones: La ubicación inicial del cuarto de instalaciones influye en gran medida en la reducción del ruido. En caso necesario, se colocarán los equipos generadores de ruidos y vibraciones (filtros, bombas, inyectores, etc.) sobre bases antivibratorias.¹

Salubridad: Será necesario dotar al local de un sistema de evacuación de aguas en caso de fugas o filtraciones. Realizando un solado con pendiente hacia un sumidero, las aguas se canalizarán hacia una arqueta sifónica.¹

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 302, 304, 305, 309.

¹⁶Código Técnico de la Edificación (CTE), SUA2. Seguridad frente a riesgo de caídas, p. 8, 9.

Código Técnico de la Edificación (CTE), SI1. Propagación interior, p. 12, 13.

Código Técnico de la Edificación (CTE), HS3. Calidad del aire interior, p. 66.

3.7_ Aceptación social.

Hay poca importancia social del verdadero sentido del recurso del agua. Por ello es complicado un asentamiento de las tecnologías de reciclaje de la misma.⁵

En España se tiene la falsa concepción de que el agua es un recurso barato e inagotable. El gasto excesivo de agua se relacionaba con un alto nivel de vida. Plantear, pues, actuaciones relacionadas con la reutilización de aguas residuales domésticas conllevaría una disminución del nivel de vida que hemos llevado hasta ahora.¹

No se entiende que normalmente usamos agua de calidad para usos que no la necesitan, y esto conlleva y malgasto del recurso.⁵

Por todo ello, parece que al menos en nuestro país todavía no es viable la reutilización de aguas residuales domésticas. En otros países occidentales (Estados Unidos, Canadá, Alemania o Suecia) la iniciativa pública comenzó hace años, logrando avances en este campo, y una mayor concienciación medioambiental de la población.¹

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 152.

⁵ Noémie Neverre, Patrice Dumas, *Projecting and valuing domestic water use at regional scale: A generic method applied to the Mediterranean at the 2060 horizon*, *Water Resources and Economics* 11 (2015) 33–46, p. 2.

3.8_ Relación coste-beneficio.

La capacidad económica del usuario será la que permita o no realizar el sistema de reciclaje, por lo que el coste de la instalación es un factor a tener en cuenta.¹³

En España existe una ligera dispersión de precios en función del precio final a pagar, que está relacionado con la disponibilidad del recurso.¹ En la **Figura 6** podemos observar los precios globales en España:¹

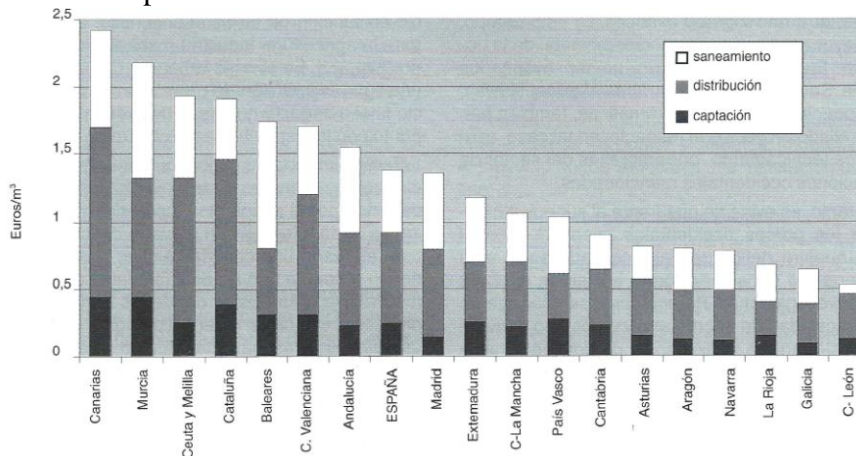


Figura 6. Precio global del agua en España, 1996.

Ya que el agua se paga por recipiente y no por contenido, se abonan cantidades similares en zonas españolas con déficit hídrico y las que no lo tienen. A partir de la nueva Ley del Agua, este recurso deja de valorarse como un simple <<recipiente>>, para comenzar a considerarlo un bien económico y, sobretodo, medioambiental.¹ Los 1,38 euros de media nacional que se pagaban por metro cúbico de agua doméstica se han visto totalmente modificados tras la reestructuración del nuevo <<precio>> del agua (EMASESA fija su cuota en 2,01 euros por metro cúbico de agua).

Por otro lado tenemos el coste energético para mantener todas estas instalaciones. Dichos sistemas requieren elementos de bombeo, soplantes, dosificadores, lámparas UV, etc., que consumen energía. En la Figura 7 observamos el precio del kWh durante el año 1999:¹

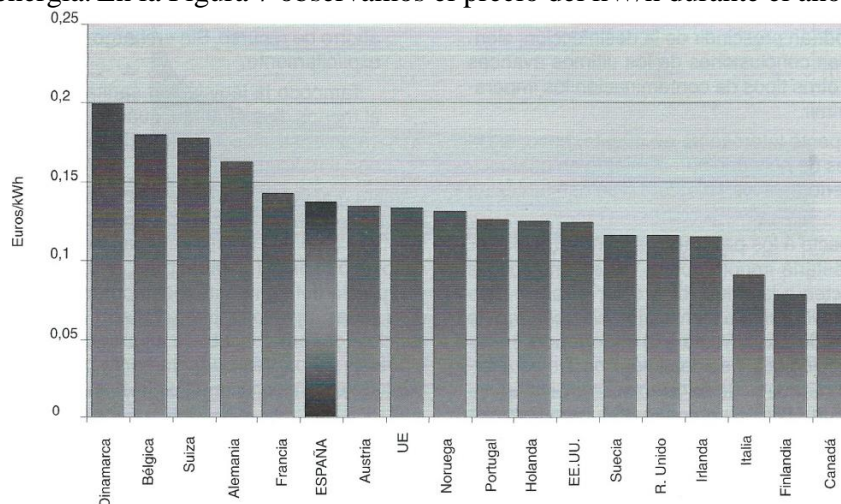


Figura 7. Precio eléctrico del kWh, durante el año 1999.

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 153, 154.

¹³ L. Hernández-Leal, H. Temmink, G. Zeeman, C.J.N. Buisman, *Removal of micropollutants from aerobically treated grey water via ozone and activated carbon*, Water Research 45 (2011) 2887-2896, p.1

Una solución para minimizar el gasto eléctrico puede ser utilizar un sistema de placas fotovoltaicas, ya que el sol es una energía renovable con gran futuro en nuestro país.¹

En la **Tabla 5** se comparan los precios del agua doméstica en los países del Mediterráneo alrededor del año 2000. Las tarifas del suministro energético sitúan a España entre las más altas de los países occidentales:⁵

Table 5
Reconstructed current costs and prices of domestic water in Mediterranean countries (around year 2000).

Country	Cost (US\$ ₂₀₀₅ /m ³)	Price (US\$ ₂₀₀₅ /m ³)	Years of available data
Albania	1.79	0.93	<2004, 2011
Algeria	2.01	0.41	<2004, 2010
Bosnia and Herzegovina	1.68	0.93	2007
Croatia	4.33	2.55	<2004
Cyprus	2.62	1.33	1989, <2004
Egypt	1.63	0.16	1989, <2004, 2010
France	3.33	3.33	<2004, < 2010
Greece	2.22	1.31	<2004, < 2010
Israel	2.15	0.95	<2004, < 2010
Italy	2.17	1.4	1994, <2004, < 2010
Lebanon	2.05	1.2	1989, <2004
Libyan Arab Jamahiriya	1.84	0.09	1997, <2004
Morocco	2.05	1.04	1989, <2004
Malta	10.58	2.08	<2004
Montenegro	1.65	0.93	2012
Slovenia	2.81	1.66	<2004
Spain	2.75	1.62	<2004, < 2010
Syrian Arab Republic	2.83	0.91	1989, <2004
Tunisia	1.9	0.91	1989, 1996, <2004, 2010
Turkey	2.1	1.17	<2004, 2008

Teniendo en cuenta esto, podemos preguntarnos si sería rentable una instalación de poca envergadura (de vivienda o pequeño bloque urbano): En España, debido a la baja demanda, la carga económica inicial sería difícilmente amortizable a medio plazo, por lo menos tal y como se han venido planteando estas técnicas.¹

En 1989, el Servicio Federal de Salud de Alemania, en colaboración con el Standtökologisches Modelvorhaben, Blok 103, de Berlín, junto a otra investigación paralela del Instituto de Higiene de la Universidad Politécnica de Berlín, pusieron en marcha una serie de experiencias, con objeto de dotar a los bloques de viviendas de Berlín (50-60 personas, es decir, entre 12 y 20 domicilios), de un sistema que recicle unos 70 litros/hab.día para suministrar a las demandas no potables. La intención, dentro de una política general de ahorro de recurso de calidad, pretende suplir la problemática originada en los cascos urbanos alemanes, donde la capacidad de abastecimiento de las redes municipales está desbordada (crecimiento de la población y del nivel de vida, rehabilitación de centros históricos como política socioeconómica, etc.).¹

Según estos estudios, la instalación se vería amortizada a corto-medio plazo. Esto se debe a que el precio del agua en este país es más del doble que en España, por lo que merece la pena una inversión inicial mayor si se consiguen reducciones importantes.¹

¹Ignacio Javier Palma Carazo, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, 2003, p. 148, 154, 155.

⁵Noémie Neverre, Patrice Dumas, *Projecting and valuing domestic water use at regional scale: A generic method applied to the Mediterranean at the 2060 horizon*, Water Resources and Economics 11 (2015) 33–46, p. 6.

VIABILIDAD DEL RECICLAJE DEL AGUA EN BARRIOS: PROYECTO DEL BARRIO LAS HUERTAS, SEVILLA.

Se trata de una propuesta desarrollada por el grupo GTAR que pretende transformar el barrio en un lugar sostenible, mediante estrategias que luchan contra el cambio climático para conseguir un “Barrio sin CO₂”. Se llevan a cabo numerosas actuaciones entre las que destaca la reutilización de las aguas grises de las viviendas para cubrir necesidades de riego, mediante sistemas naturales perfectamente integrados en los propios jardines ya existentes.¹⁷

La principal ventaja que permite la viabilidad del proyecto es su escala: 600 viviendas que comparten gastos de gestión y mantenimiento, minimizando los costes por vivienda.¹⁸

El sistema se compone de tramos de canal tipo, de 10 m de longitud y 1 de anchura y profundidad que se pueden conectar en serie hasta alcanzar la longitud necesaria para una determinada calidad de agua de salida. Cada tramo se rellena con piedra angulosa organizada por tamaños (200 a 50 mm), de modo que la piedra de mayor granulometría ocupa los primeros metros para ir dando paso a menores tamaños y por tanto a una disminución progresiva del hueco por el que pasa el agua conforme es transportada. Este hecho da lugar a pequeños aumentos de velocidad en el agua (mayores cuanto mayor es el caudal circulante), que origina pequeñas depresiones en la misma favoreciendo la circulación del aire procedente del exterior por el interior del canal, evitando procesos anaeróbicos severos en la masa de agua circulante. Los pozos situados en el primer y último metro de cada uno de los tramos que componen el canal permiten el mantenimiento del mismo, que debe realizarse anualmente. Dicho mantenimiento consistirá en la extracción de los fangos depositados en la base tras una inyección de agua a contracorriente por medio de una manguera. Los canales están sembrados con plantas que intervienen en la depuración del agua y les confieren un aspecto agradable a la vista, por lo que se integran a la perfección en los jardines comunitarios del barrio.¹⁷

Se ha demostrado que es viable obtener mediante estos sistemas la calidad necesaria para su reutilización en el riego de especies que no den frutos comestibles, ya que no se contempla la eliminación de patógenos.¹⁷

En la siguiente tabla se muestra el consumo de agua por persona, vivienda y bloque:¹⁸

Consumo de agua Barriada las Huertas							TOTAL m3		
Agua	Uds	WC	Ducha	Lavadora	Lavavajillas	Fre+Lava+Grifos	Día	mes	año
Persona	Lit/pers	28,42	23,75	10,78	0,66	45,80	109,41	3,28	39,93
Vivienda	Lit/Viv	75,31	62,94	28,57	1,75	121,37	289,94	8,70	105,83
Bloque+7	m3/bloq	2,11	1,76	0,80	0,05	3,40	8,12	243,55	2.963,15
Bloque+10	m3/bloq	3,01	2,52	1,14	0,07	4,85	11,60	347,92	4.233,07
Barriada	m³/Barriada	45,19	37,76	17,14	1,05	72,82	173,96	5.218,86	63.496,09

Fuente: Elaboración propia basada en datos obtenidos por el equipo AquaRiba en trabajo de campo

¹⁷ GTAR. Barrio sin CO₂, <http://aula.aguapedia.org/mod/resource/view.php?id=3992>, p. 1, 6, 9, 20.

¹⁸ Del Moral, L. et al, *Propuestas de intervención en el caso de estudio barrio de las huertas (Sevilla). Propuestas para la gestión económicamente eficiente de los recursos agua y energía*, Proyecto de Investigación AQUA-RIBA, 2014, p. 4.

Por otra parte, la calidad de agua requerida para cada uno de los destinos es:¹⁸

Calidad del Agua	Ud	WC	Ducha	Lavadora	Lavavajillas	Fre+Lava+Grifos
agua entrada	DBO5 mg/l	50	3	3	3	3
agua salida	DBO5 mg/l	563	50	50	50	50

Fuente: Elaboración propia basada en datos del programa UWOT.

El consumo de agua del WC es aproximadamente 14 litros por descarga y la ducha en 47,5 litros/uso. Si se reduce la descarga a 10 litros, el agua de la ducha sería suficiente para suministrar al inodoro.¹⁸

En estas condiciones, el ahorro sería el siguiente:¹⁸

Consumo de agua por vivienda con y sin reutilización	
El consumo por vivienda con reutilización	0,2146235 m ³ /viv/día
En la situación actual sin reutilización es de	0,2899365 m ³ /viv/día

Fuente: Elaboración propia basada en datos obtenidos por el equipo AquaRiba en trabajo de campo

En cuanto a los costes:¹⁸

Consumo m ³ /vivienda/día	0,2146235	0,289937
Días Facturación	30	30
Consumo Vivienda/mes m ³	6,438705	8,698095
Número Habitantes/vivienda	2,65	2,65
Consumo l/hab/día	80,99	109,41
Consumo m ³ /hab/mes	2,4297	3,2823

Fuente: Elaboración propia basada en datos obtenidos por el equipo AquaRiba en trabajo de campo

Los ahorros anuales por vivienda, bloques y barriada se muestran a continuación:¹⁸

Ahorro Aguas Grises	Coste
Sin reutilización	24,06 €/mes
Con reutilización y 10 litros descarga	17,52 €/mes
Ahorro mensual	6,54 €/mes
Ahorro anual/vivienda	78,53 €/año
Ahorro Anual Bloque +7	2.199 €/año
Ahorro Anual Bloque +10	3.141 €/año
Ahorro Anual Barriada	47.118 €/año

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en trabajo de campo en el caso de estudio y del Expediente de tarifas de EMASESA 2014.

Sólo con la reutilización de aguas grises podrían alcanzarse ahorros de más de 47.000 euros al año en toda la barriada. Estos ahorros se deben fundamentalmente a la estructura de precios de la factura, debido a que al disminuir el consumo por hab./viv./mes por debajo de los 3 m³ la tarifa que se aplica al agua consumida pasa de 0,5 euros/m³ a 0,37 euros/m³, por lo que el ahorro no sólo proviene de una disminución del volumen de agua consumida, sino también de la reducción de precios unitarios establecidos por la empresa suministradora.¹⁸

La mayor debilidad que muestra la propuesta se centra en el ámbito social, debido a la necesidad de poner de acuerdo a toda la barriada para que acepten el proyecto. Por otra parte, su mayor fortaleza reside en que van a pagar menos por los mismos servicios y su colaboración sólo consistiría en abonar las cuotas mensuales.¹⁸

¹⁸ Del Moral, L. et al, *Propuestas de intervención en el caso de estudio barrio de las huertas (Sevilla). Propuestas para la gestión económicamente eficiente de los recursos agua y energía*, Proyecto de Investigación AQUA-RIBA, 2014, p. 4, 6, 7, 10, 21.

3.9_ Otras aplicaciones de las aguas grises. Recuperación de energía.

3.9.1_ Energía térmica.

En los EE.UU., el sector de la edificación residencial representó el 20% de la demanda de energía primaria y el 20% de las emisiones de dióxido de carbono en 2006.¹⁹

En los edificios residenciales de los EE.UU., el mayor consumo de energía procede de la calefacción y refrigeración, así como de los sistemas de calentamiento de agua, tal y como observamos en la **Figura 1**.²⁰

RESIDENTIAL SITE ENERGY CONSUMPTION BY END USE

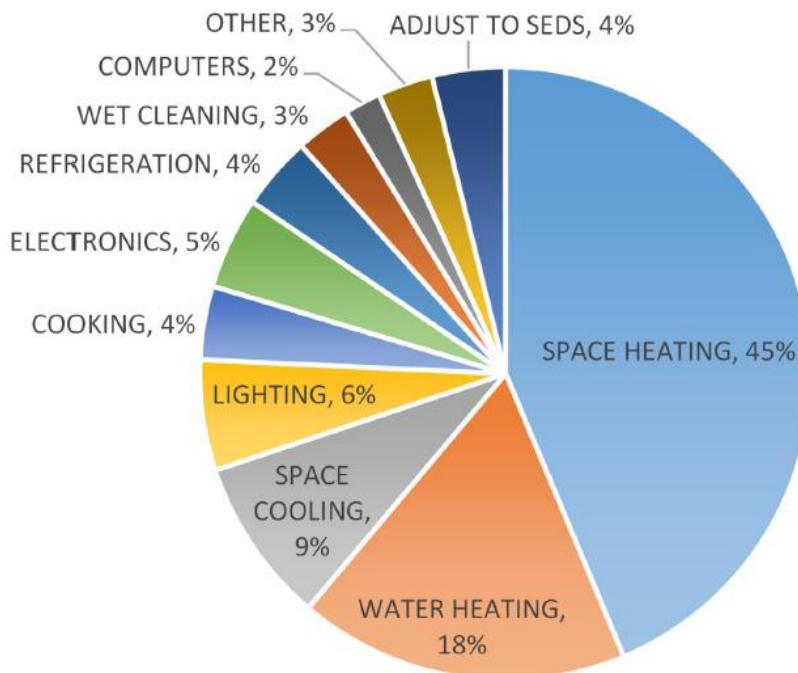


Fig. 1. Residential site energy consumption in the U.S. by end-use [39].

La calefacción representa alrededor del 45% del consumo de energía, que es casi la mitad del total en edificios residenciales. El calentamiento de agua consume el 18% de la energía total, mientras que la refrigeración constituye un poco menos de la mitad de energía utilizada en calefacción. Obviamente, la calefacción, refrigeración y calentamiento de agua juegan papeles esenciales en el ahorro de energía.²⁰

Únicamente el 8,3% de los hogares utilizan la bomba de calor para la calefacción y refrigeración. La utilización de calderas de electricidad y gas natural para el calentamiento de agua es lo más frecuente en edificios residenciales (38,8% y 52,8%, respectivamente).¹⁹

¹⁹ L. NI, S.K LAU, H. LI, T. ZHANG, J.S STANSBURY, JONATHAN SHI, JILL NEAL, *Feasibility study of a localized residential grey water energy-recovery system*, Applied Thermal Engineering 39 (2012) 53-62, p. 1.

²⁰ XIAOYU LIU, SIU-KIT LAU, HAORONG LI, *Optimization and analysis of a multi-functional heat pump system with air source and gray water source in heating mode*, Energy and Buildings 69 (2014) 1–13, p. 1, 2.

Existe una cantidad enorme de energía presente en las aguas residuales que se vierten al medio sin ser adecuadamente recuperadas. Ha habido algunos intentos de utilizar el calor de las aguas residuales residenciales, tales como la recuperación de calor del agua de la ducha utilizando un intercambiador de calor con un flujo a contracorriente en edificios residenciales de gran altura, o la recuperación de calor del lavavajillas a través de un intercambiador de calor en espiral. Sin embargo, sigue sin ser un tema muy desarrollado.¹⁹

Se han llevado a cabo estudios que se centran en el ahorro de energía en la producción de agua caliente. Las bombas de calor utilizadas para el calentamiento de agua tienen desventajas como la producción de un volumen bajo de agua caliente, la necesidad de un tanque de almacenamiento y la disposición de un calefactor eléctrico auxiliar.²⁰

Para mejorar el rendimiento de las bombas de calor, se ha investigado un sistema de bomba multi-funcional que no sólo proporciona agua caliente, sino que también cubre las necesidades de calefacción y refrigeración. Mediante un sistema de bomba de calor utilizando una fuente de calor de aire y de agua gris puede mejorarse la eficiencia energética global en edificios residenciales.²⁰

Un esquema del sistema de recuperación de calor de aguas residuales puede ser el recogido en la **Figura 1**:¹⁹

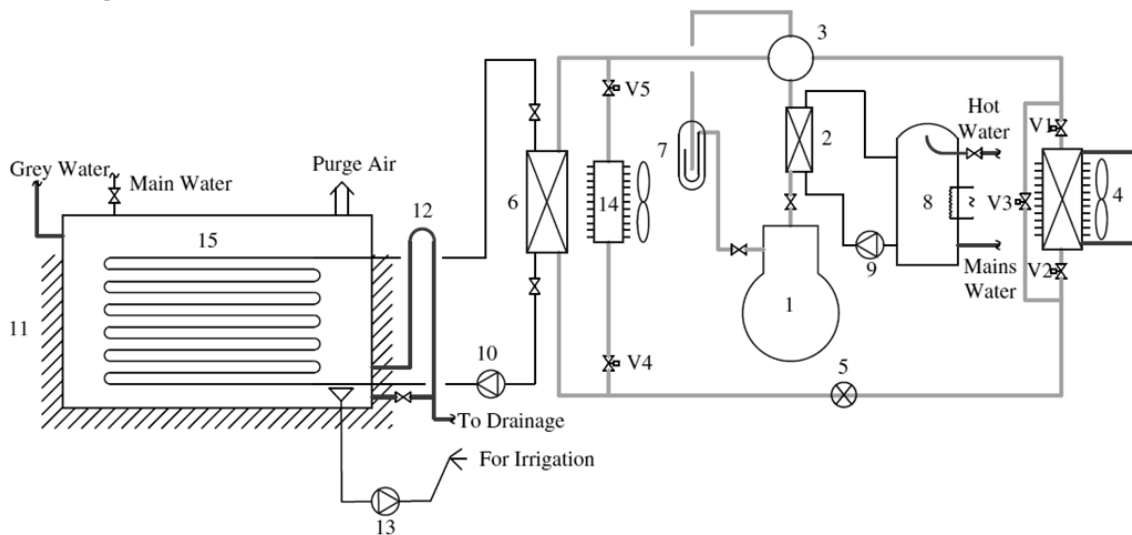


Fig. 1. Principal design of the localized energy-recovery system from residential wastewater assisted by outdoor air heat exchanger. Labels: 1 = compressor; 2 = plate heat exchanger for service water; 3 = four-way reversing valve; 4 = indoor coil; 5 = bi-flow expansion valve; 6 = wastewater heat exchanger; 7 = suction accumulator; 8 = hot water storage tank; 9, 10 = circulation pumps; 11 = wastewater tank; 12 = overflow pipe; 13 = pump for irrigation; 14 = outdoor coil; 15 = submerged-pipe coil; V1-V9 = solenoid valves.

El diagrama consta de un sistema integrado con un serpentín que intercambia calor con el aire exterior incorporando una fuente de calor complementaria. Para drenar el exceso de agua del tanque se utiliza un tubo de desagüe. En cuanto al calor requerido por la bomba, si la energía de las aguas residuales del tanque no proporcionan calor suficiente en el modo calefacción, se abrirán las válvulas del solenoide V4 y V5 y el calor requerido se extraerá del aire exterior mediante un serpentín. En el modo refrigeración, el calor del condensador se obtiene mediante el intercambiador de calor del aire exterior, excepto en períodos de alta temperatura.¹⁹

¹⁹ L. NI, S.K LAU, H. LI, T. ZHANG, J.S STANSBURY, JONATHAN SHI, JILL NEAL, *Feasibility study of a localized residential grey water energy-recovery system*, Applied Thermal Engineering 39 (2012) 53-62, p. 1, 2.

²⁰ XIAOYU LIU, SIU-KIT LAU, HAORONG LI, *Optimization and analysis of a multi-functional heat pump system with air source and gray water source in heating mode*, Energy and Buildings 69 (2014) 1-13, p. 2.

El agua gris tratada puede ser reutilizada para el riego y otros fines. En el caso de que el volumen de las aguas grises regeneradas no sea suficiente para el abastecimiento del riego, se complementará con agua potable. Con temperaturas exteriores elevadas, si hay una demanda de riego, el agua potable puede actuar como un disipador de calor antes de la irrigación.¹⁹

Si comparamos este nuevo sistema con sistemas convencionales como el horno de gas para calentar el espacio, el aparato de aire acondicionado y un calentador de agua eléctrico para calentar el agua caliente, concluimos:¹⁹

a) El innovador sistema de recuperación de energía del agua gris tiene un alto ahorro energético así como de agua potable. Este nuevo sistema es más adecuado para lugares con una temperatura exterior moderada.

b) A partir de un estudio realizado para el caso de una vivienda que consta de una familia de cuatro miembros y tres dormitorios en Nueva York, se extrajo que los consumos de energía disminuyen un 23,5%, 2,7% y 76,0% para la calefacción, la refrigeración y el calentamiento de agua caliente, respectivamente. De esta forma, si lo comparamos con un sistema energético convencional, el ahorro podría alcanzar un 33,9% del total. La propuesta también reduce el consumo de agua potable el 27,2% del agua total consumida.

c) Otras 14 ciudades fueron seleccionadas para un estudio en diferentes zonas climáticas en los EE.UU. Entre las 15 ciudades, el ahorro total de energía fue del 17-57.9%. El calentamiento de agua tiene los ahorros energéticos más significativos, con más del 60% de reducción. Los resultados demuestran un gran ahorro de energía utilizando el sistema propuesto. Por otra parte, el ahorro de agua potable es del 15%-34.1%. Las ciudades con climas calientes son las que tienen ahorros de agua más alto.

3.9.2_ Energía eléctrica.

En EE.UU., los edificios residenciales y comerciales consumen casi el 70% de la electricidad total generada. Así que todas las medidas destinadas a un ahorro del recurso son bienvenidas.

El reciclaje y reutilización de aguas grises como método de obtención de electricidad en edificios altos tiene resultados prometedores. Por edificios altos entendemos aquellos que tienen una altura media de más de 22 m. El agua gris que cae desde una cierta altura podría ser una fuente potencial de generación de electricidad.²¹

¹⁹ L. NI, S.K LAU, H. LI, T. ZHANG, J.S STANSBURY, JONATHAN SHI, JILL NEAL, *Feasibility study of a localized residential grey water energy-recovery system*, Applied Thermal Engineering 39 (2012) 53-62, p. 2, 7.

²¹ Prabir Sarkar, Bhaanuj Sharma, Ural Malik, *Energy generation from grey water in high raised buildings: The case of India, IRAN*, Renewable Energy 69 (2014) 284-289, p. 1.

La energía eléctrica producida normalmente se almacena en una batería, que puede abastecer luego aparatos electrodomésticos y elementos de iluminación o conectarse directamente a la red de suministro principal del edificio. De acuerdo con el consumo de agua estimado, alrededor del 76% de las aguas residuales procedentes de una vivienda se pueden utilizar para la producción de energía hidroeléctrica después de algunos procesos de purificación preliminar. Este agua purificada, libre de partículas sólidas, puede alimentar directamente a la turbina.²¹

En la **Figura 3** encontramos un esquema del sistema propuesto:²¹

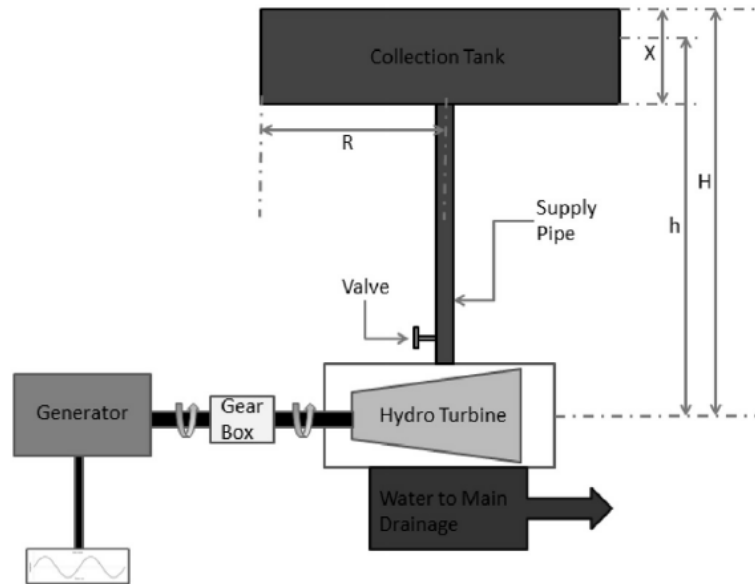


Fig. 3. Schematic diagram of the proposed system.

La altura mínima del tanque de recolección para obtener una cantidad de energía razonable es de unos 30 metros o 10 pisos.²¹

La India es un país que, debido al desarrollo industrial y el crecimiento de la población, ha percibido un enorme aumento de la demanda mundial de energía en los últimos años. El suministro de energía es, por lo tanto, mucho menor que la demanda real. Al tratarse de un país en desarrollo también tiene problemas relacionados con el suministro energético. La necesidad de formas alternativas de generación de energía es evidente.

Teniendo en cuenta el precio de la electricidad en la India, el sistema se vería amortizado en 7,68 años. Dado que, la vida media de un edificio es de 40-60 años, la amortización del sistema se da en un tiempo bastante bajo.²¹

El coste de la instalación es de unos 1.790 dólares: incluye una turbina Pelton con un generador de corriente alterna, así como los conductos de suministro de agua gris junto con un coste de un mantenimiento periódico.²¹

El sistema propuesto intenta acercarse al consumo cero de energía neta, como un método para reducir las emisiones de carbono y la dependencia de los combustibles fósiles, disminuyendo el uso global de energía.²¹

²¹ Prabir Sarkar, Bhaanuj Sharma, Ural Malik, *Energy generation from grey water in high raised buildings: The case of India, IRAN, Renewable Energy* 69 (2014) 284-289, p. 2, 4, 5.

4_ APLICACIÓN PRÁCTICA DEL TEMA

El objetivo de este estudio será comprobar la viabilidad económica de un sistema de recogida y tratamiento de aguas grises para su posterior reutilización.

Esto lo haremos a tres niveles, analizando las variaciones existentes en cada uno de los casos: en una vivienda plurifamiliar, en un edificio de viviendas y en un barrio residencial.

Para ello, tendremos que analizar:

- El coste de la nueva instalación. Ya que consideramos que son edificaciones existentes puede aprovecharse parte de la instalación convencional.
- La disminución del volumen de agua demandada con la aplicación del sistema, lo que conlleva un menor gasto económico.

4.1_ Desarrollo del caso práctico.

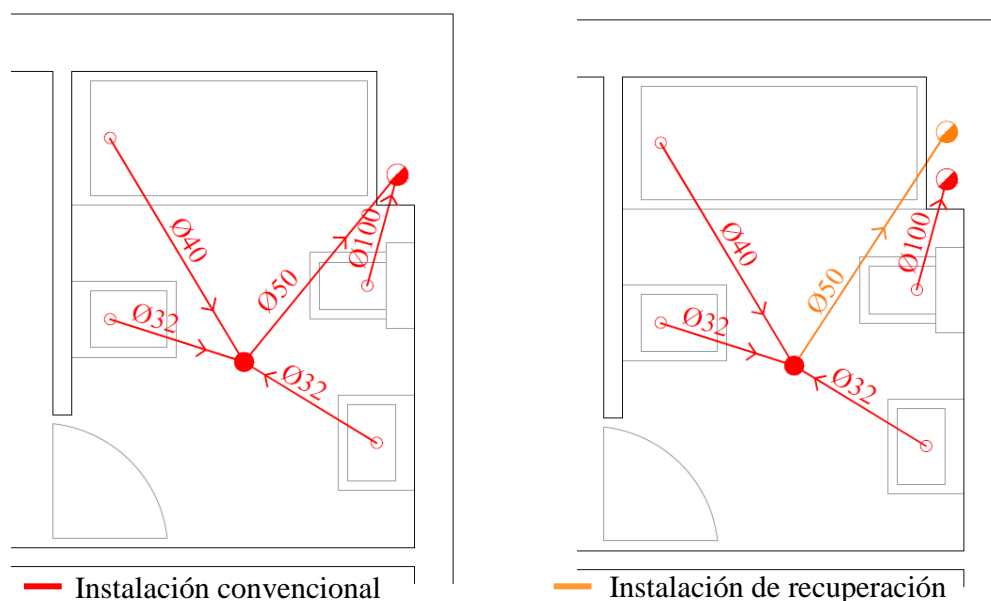
4.1.1_ Vivienda plurifamiliar.

COSTE DE LA INSTALACIÓN

Las aguas a recuperar serán las generadas por el lavabo, la bañera y el bidé, ya que contienen tasas de carga orgánica reducidas y por tanto tienen un tratamiento sencillo. Las aguas de la cocina tienen una alta tasa de carga orgánica, por lo que no las consideraremos en este estudio.

Consideramos un baño de aproximadamente 4 m², compuesto por un inodoro, un lavabo, un bidé y una bañera de 1,40 m de longitud.

A continuación observamos la diferencia entre la **red de evacuación** convencional y la de separación de aguas grises para su posterior tratamiento:



Para la incorporación del sistema, se mantiene toda la instalación excepto la derivación del lavabo, bidé y bañera. La nueva canalización redirige los sanitarios hacia un bajante independiente para posibilitar la recuperación.

Los diámetros mínimos de las conducciones vienen establecidos por el CTE-HS5. Evacuación de aguas:

Tabla 4.1 UDs correspondientes a los distintos aparatos sanitarios

Tipo de aparato sanitario	Unidades de desagüe UD		Diámetro mínimo sifón y derivación individual (mm)	
	Uso privado	Uso público	Uso privado	Uso público
Lavabo	1	2	32	40
Bidé	2	3	32	40
Ducha	2	3	40	50
Bañera (con o sin ducha)	3	4	40	50
Inodoro	Con cisterna	5	100	100
	Con fluxómetro	8	100	100
Urinario	Pedestal	4	-	50
	Suspendido	-	2	40
	En batería	-	3.5	-
Fregadero	De cocina	3	6	40
	De laboratorio, restaurante, etc.	-	2	-
Lavadero	3	-	40	-
Vertedero	-	8	-	100
Fuente para beber	-	0.5	-	25
Sumidero sifónico	1	3	40	50
Lavavajillas	3	6	40	50
Lavadora	3	6	40	50
Cuarto de baño (lavabo, inodoro, bañera y bidé)	Inodoro con cisterna	7	-	100
	Inodoro con fluxómetro	8	-	100
Cuarto de aseo (lavabo, inodoro y ducha)	Inodoro con cisterna	6	-	100
	Inodoro con fluxómetro	8	-	100

En la tabla 4.3 se obtiene el diámetro de los ramales colectores entre aparatos sanitarios y la bajante según el número máximo de unidades de desagüe y la pendiente del ramal colector:

Tabla 4.3 Diámetros de ramales colectores entre aparatos sanitarios y bajante

Máximo número de UD			Diámetro (mm)
1 %	Pendiente		
	2 %	4 %	
-	1	1	32
-	2	3	40
-	6	8	50
-	11	14	63
-	21	28	75
47	60	75	90
123	151	181	110
180	234	280	125
438	582	800	160
870	1.150	1.680	200

El colector entre aparatos sanitarios recoge las aguas del lavabo (1 ud.), bidé (2 uds.) y bañera (3 uds.). En total, tenemos 6 uds. que, con una pendiente del 2%, le corresponde un diámetro de 50 mm. La bajante en este caso no la consideramos porque estamos evaluando el gasto de la vivienda aislada. Este valor lo hallaremos más adelante en el apartado del cálculo del bloque residencial.

Consideraremos que las canalizaciones serán de PP, debido a sus excelentes características para esta aplicación.

La empresa *abn pipe systems* comercializa las tuberías de polipropileno POLO-POYMUTAN. La serie 3,2 SDR/ 7,4 tiene aplicación para agua fría, agua caliente, calefacción y climatización, así que serán las que consideraremos en este caso:

Código	Diámetro DN mm	Dimensiones (mm)					Ud. Embalaje		PRECIO (€/m)
		L	e	di	Z3	Peso Kg/m	Uds. caja	Uds. palé	
Tubo PN 16 serie 3,2*									
95T0200160000	20		2,8	14,4	-	0,192	25	4000	1,86
95T0250160000	25		3,5	18,0	-	0,297	25	3000	2,96
95T0320160000	32		4,4	23,2	-	0,456	10	1600	4,81
95T0400160000	40		5,5	29,0	-	0,679	-	221	7,99
95T0500160000	50		6,9	36,2	-	1,044	-	137	11,23
95T0630160000	63	4000	8,6	45,8	-	1,576	5	500	16,97
95T0750160000	75		10,3	54,4	-	2,197	-	84	25,43
95T0900160000	90		12,3	65,4	-	3,230	-	42	36,47
95T1100160000	110		15,1	79,8	-	4,875	-	34	53,16
95T1250160000	125		17,1	90,8	-	5,746	-	23	98,08
95T1600160000	160		21,9	116,20	-	6,870	-	17	125,15

Ya que el suministro es de tuberías de 4,00 m y tenemos una longitud de 1,20 m, necesitaremos una única tubería de 50 mm:

COSTE (50 mm) = 11,23 euros/m.

Multiplicando este precio por los 4,00 m de longitud de suministro del producto, tendremos un gasto total de **44,92 euros**.

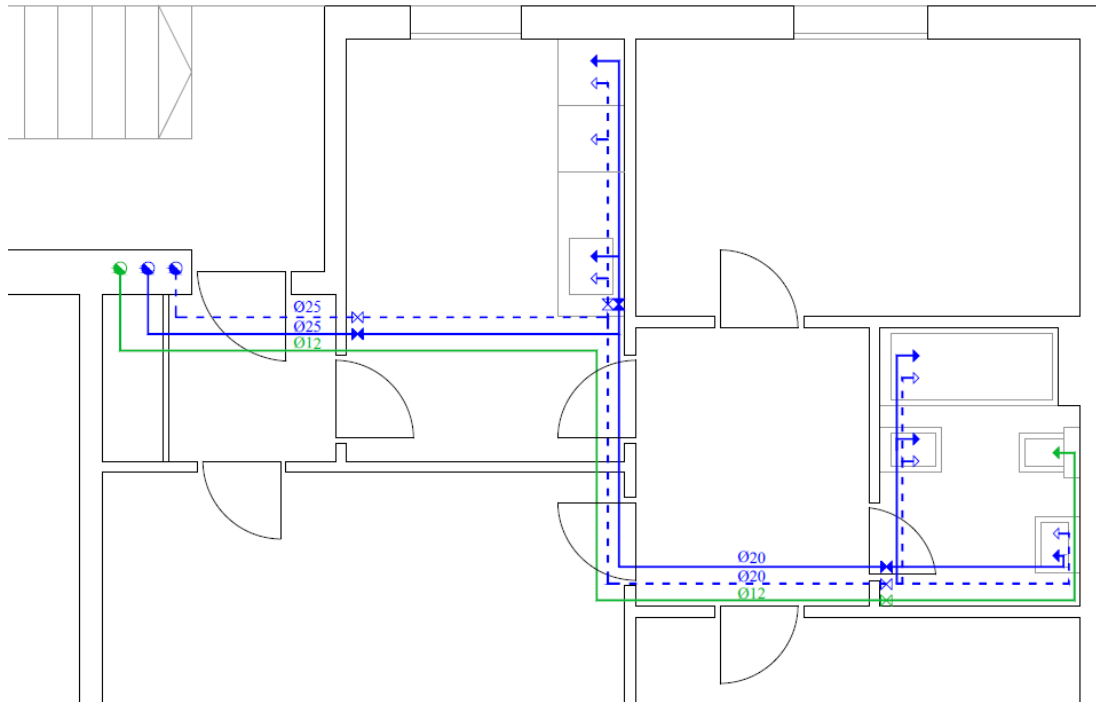
Se plantea que el destino de las aguas residuales tratadas sea el abastecimiento del inodoro, ya que no compromete el riesgo de la salud humana. Tenemos que comprobar que el volumen de agua recuperada es suficiente para satisfacer la demanda del inodoro.

El volumen de aguas grises es el 85% del consumo de cada sanitario. Según la bibliografía consultada (Ver pág. 13, Tabla 2. Volumen de aguas residuales domésticas por habitante equivalente, Palma Carazo, 2003), tendremos las siguientes cantidades:

SANITARIO	VOLUMEN AR (litros/hab.día)
Bidé + lavabo	9,350
Ducha y/o Baño	27,625
TOTAL	36,975

En total, tendremos una cantidad de agua regenerada de 36,975 litros/hab.día. El inodoro tiene una demanda de 25 litros/hab.día, por lo que comprobamos que el agua regenerada tiene un volumen suficiente para su abastecimiento. Suponiendo que la vivienda la habitan 4 personas, el total de aguas regeneradas será 147,90 litros/día.

La **red de abastecimiento** de las aguas grises tratadas irá en paralelo a la red de abastecimiento convencional. Consideramos el siguiente ejemplo:



- Instalación convencional, agua fría
- - - Instalación convencional, agua caliente
- Instalación de agua gris regenerada

El CTE-HS5. Evacuación de aguas, establece el caudal instantáneo mínimo para cada aparato:

Tabla 2.1 Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato

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

Para determinar el diámetro de la tubería hallaremos la velocidad máxima aplicando el diámetro mínimo establecido por el CTE: 12 mm.

Tabla 4.2 Diámetros mínimos de derivaciones a los aparatos


Aparato o punto de consumo	Diámetro nominal del ramal de enlace	
	Tubo de acero	Tubo de cobre o plástico (mm)
Lavamanos	1/2	12
Lavabo, bidé	1/2	12
Ducha	1/2	12
Bañera <1,40 m	3/4	20
Bañera >1,40 m	3/4	20
Inodoro con cisterna	1/2	12
Inodoro con fluxor	1- 1 1/2	25-40
Urinario con grifo temporizado	1/2	12
Urinario con cisterna	1/2	12
Fregadero doméstico	1/2	12
Fregadero industrial	3/4	20
Lavavajillas doméstico	1/2 (rosca a 3/4)	12
Lavavajillas industrial	3/4	20
Lavadora doméstica	3/4	20
Lavadora industrial	1	25
Vertedero	3/4	20

$$K_{AFS} = \frac{1}{\sqrt{3}} \rightarrow \frac{1}{\sqrt{3}} * 0,10 = 0,06 \text{ l/s}$$

$$V = \frac{4000 * 0,06}{\pi * 12^2} = 0,53 \text{ m/s}$$

Las tuberías de PP tienen una velocidad restringida de $0,5 > v > 3,5$ m/s, así que se comprueba que el diámetro cumple con las exigencias establecidas.

Este fabricante no trabaja con tuberías de 12 mm, así que cogemos como referencia los precios de las tuberías de diámetro 20 mm:

	Código	Diámetro DN mm	Dimensiones (mm)					Ud. Embalaje		PRECIO (€/m)
			L	e	d _i	Z3	Peso Kg/m	Uds. caja	Uds. palé	
Tubo PN 16 serie 3,2*										
	95T0200160000	20	4000	2,8	14,4	-	0,192	25	4000	1,86
	95T0250160000	25		3,5	18,0	-	0,297	25	3000	2,96
	95T0320160000	32		4,4	23,2	-	0,456	10	1600	4,81
	95T0400160000	40		5,5	29,0	-	0,679	-	221	7,99
	95T0500160000	50		6,9	36,2	-	1,044	-	137	11,23
	95T0630160000	63		8,6	45,8	-	1,576	5	500	16,97
	95T0750160000	75		10,3	54,4	-	2,197	-	84	25,43
	95T0900160000	90		12,3	65,4	-	3,230	-	42	36,47
	95T1100160000	110		15,1	79,8	-	4,875	-	34	53,16
	95T1250160000	125		17,1	90,8	-	5,746	-	23	98,08
*Bajo pedido	95T1600160000	160	21,9	116,20	-	6,870	-	17	125,15	

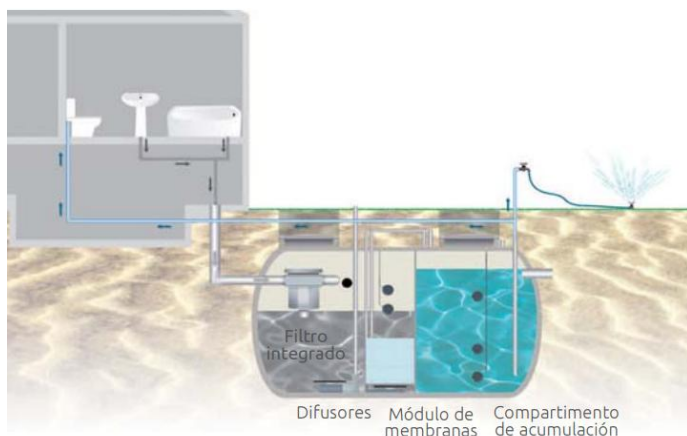
Con 11,80 m de longitud total de tubería, necesitaremos 3 de 20 mm:

COSTE (20 mm) = 1,86 euros/m.

Multiplicando este precio por los 12,00 m que necesitamos, tendremos un gasto total de **22,32 euros**.

En cuanto al **sistema de tratamiento** planteado, consideraremos que se aplica un sistema Decantación-Digestión-Biofiltración (DB) con una filtración física y una etapa final de desinfectante mediante cloro.

La empresa **REMOSA** comercializa sistemas que integran las tres etapas:



FUNCIONAMIENTO

EL SISTEMA SE REALIZA SIGUIENDO LAS SIGUIENTES ETAPAS:

- **Desbaste:** consiste en retirar los sólidos que pueda arrastrar el agua, principalmente pelos, que puedan dañar las membranas.
- **Oxidación biológica:** en el reactor biológico tiene lugar la descomposición biológica de la materia orgánica gracias a la aportación de aire y a la generación de microorganismos aerobios.
- **Filtración:** se produce la separación sólido – líquido por filtración mediante tecnología de membranas. Mediante un sistema de succión se ejerce una presión de vacío en las membranas creándose un flujo fuera – dentro de modo que el agua penetra a través de las membranas, quedando los sólidos y las bacterias en la pared exterior. Los difusores crean un flujo de aire ascendente que permite limpiar la superficie de la pared exterior de las membranas y aseguran condiciones aerobias.
- **Cloración y acumulación:** el agua tratada es clorada mediante la dosificación de hipoclorito sódico permitiendo conservar las propiedades sanitarias del efluente asegurando la reutilización de las aguas y posteriormente se almacena en el compartimento de acumulación.

FORMATO VERTICAL SUPERFICIE/ENTERRAR

REFERENCIA	AGUA REGENERADA (l/día)	H mm	L mm	A mm	PVP €
GREM 300 V	300	1.700	2.340	1.195	4.952
GREM 500 V	500	1.600	1.280	700	7.101

REFERENCIA	AGUA REGENERADA (l/día)	Nº Equipos	D mm	H mm	PVP €
GREM 1000 V	1.000	1	1.300	1.800	10.953
GREM 1500 V	1.500	1	1.600	1.800	11.158
GREM 2500 V	2.500	2	1.750	1.465	13.710
GREM 3500 V	3.500	2	2.120	1.450	14.344
GREM 5000 V	5.000	2	2.120	1.810	18.553

Con una cantidad de agua regenerada de 147,90 litros/día., necesitaremos el sistema GREM 300 V, con un precio de **4.952 euros**.

AHORROS DE AGUA Y AMORTIZACIÓN DEL SISTEMA

El gasto total de la instalación es el siguiente:

UNIDAD	COSTE (euros)
Red de saneamiento	44,92
Red de abastecimiento	22,32
Sistema de tratamiento	4.952
TOTAL	5.019,24

En España el precio del agua actual es de 2,01 euros/m³ (Fuente: EMASESA).

Además, la empresa suministradora establece un impuesto de 0,50 euros por un abastecimiento de agua > 3 m³ hab./mes y 0,37 euros por un abastecimiento de agua < 3 m³ hab./mes.

- Consumo de un habitante sin recuperación de aguas grises: 117,20 litros/hab.día. (Ver pág. 13, Tabla 2. Volumen de aguas residuales domésticas por habitante equivalente, Palma Carazo, 2003).

117,20 litros/hab.día. = 0,117 m³/hab.día. = 3,51 m³/hab.mes. > 3m³ (impuesto de 0,5 euros/m³).

Impuesto 1 = 1,76 euros/mes.

- Consumo de un habitante con recuperación de aguas grises (- inodoro) = 92,20 litros/hab.día.

92,20 litros/hab.día. = 0,092 m³/hab.día. = 2,76 m³/hab.mes. < 3m³ (impuesto de 0,37 euros/m³).

Impuesto 2 = 1,02 euros/mes.

AHORRO MENSUAL = 0,74 euros/viv.

AHORRO ANUAL = 8,88 euros/viv.

Si el inodoro tiene una demanda de 25 litros/hab.día, el ahorro total de la vivienda (4 habitantes) será de 100 litros/día.

100 litros = 0,10 m³. Por tanto, en el total de la vivienda se ahorra una cantidad de 0,20 euros/día. Al mes se producen ahorros de 6,00 euros y al año de 72,00 euros.

A esto se le suma el ahorro del impuesto de abastecimiento, con lo que el ahorro final en un año completo es de 81,24 euros.

Teniendo en cuenta el coste de la instalación, el sistema se amortizaría en **69,71 años**. Comprobamos que en el caso de una vivienda única no merece la pena la implantación de un sistema de este tipo porque el tiempo de amortización es demasiado largo.

4.1.2_ Bloque residencial urbano.

COSTE DE LA INSTALACIÓN

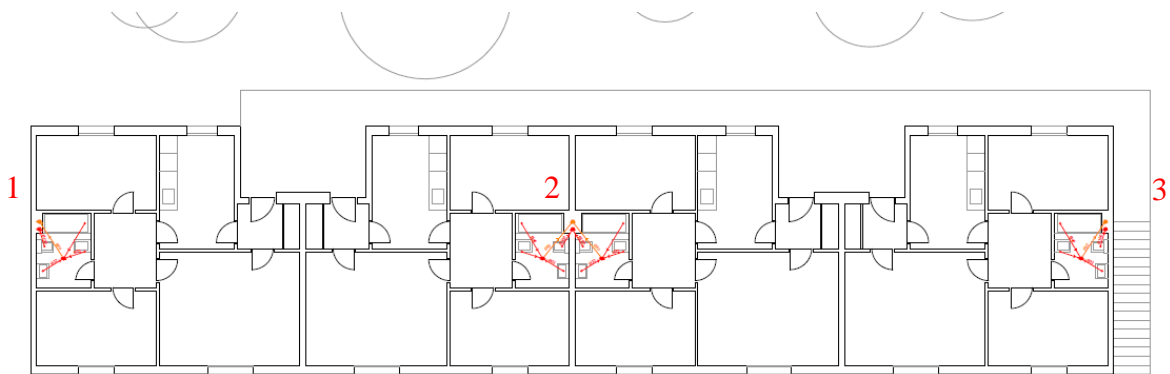
Suponemos un edificio residencial lineal de 7 plantas. Si hay 4 viviendas por planta tendremos un total de 28 viviendas. Si todas las viviendas son más o menos similares podemos mantener el coste por vivienda calculado anteriormente:

- Red de evacuación de aguas grises: 44,92 euros.
- Red de abastecimiento de las aguas regeneradas: 22,32 euros.

Este valor lo tenemos que multiplicar por las 28 viviendas que componen el bloque:

- Red de evacuación de aguas grises: 1.257,76 euros.
- Red de abastecimiento de las aguas regeneradas: 624,96 euros.

Sólo nos quedará añadir el precio de los bajantes de la **red de evacuación** de aguas grises y suministro de las nuevas aguas tratadas: consideramos que hay tres bajantes de saneamiento, tal y como se muestra en la figura.



Del mismo modo que en el caso anterior, extraemos el diámetro del bajante mediante la tabla 4.3 del CTE-HS5:

Tabla 4.3 Diámetros de ramales colectores entre aparatos sanitarios y bajante

Máximo número de UD			Diámetro (mm)
Pendiente			
1 %	2 %	4 %	
-	1	1	32
-	2	3	40
-	6	8	50
-	11	14	63
-	21	28	75
47	60	75	90
123	151	181	110
180	234	280	125
438	582	800	160
870	1.150	1.680	200

Un baño tenía un total de 6 uds., así que el bajante 2 deberá acoger un total de 12 uds. (2 baños), mientras que los bajantes 1 y 3 seguirán evacuando el mismo caudal que antes. Con una pendiente del 2%, le corresponde un diámetro de 75 mm en el primer caso y 50 mm en los otros dos restantes.

Código	Diámetro DN mm	Dimensiones (mm)				Peso Kg/m	Ud. Embalaje		PRECIO (€/m)
		L	e	di	Z3		Uds. caja	Uds. palé	
Tubo PN 16 serie 3,2*									
95T0200160000	20		2,8	14,4	-	0,192	25	4000	1,86
95T0250160000	25		3,5	18,0	-	0,297	25	3000	2,96
95T0320160000	32		4,4	23,2	-	0,456	10	1600	4,81
95T0400160000	40		5,5	29,0	-	0,679	-	221	7,99
95T0500160000	50		6,9	36,2	-	1,044	-	137	11,23
95T0630160000	63	4000	8,6	45,8	-	1,576	5	500	16,97
95T0750160000	75		10,3	54,4	-	2,197	-	84	25,43
95T0900160000	90		12,3	65,4	-	3,230	-	42	36,47
95T1100160000	110		15,1	79,8	-	4,875	-	34	53,16
95T1250160000	125		17,1	90,8	-	5,746	-	23	98,08
*Bajo pedido	160		21,9	116,20	-	6,870	-	17	125,15

Un edificio de 7 plantas con una distancia a ejes de forjado de unos 4 m requiere una bajante de unos 28 m. Ya que el suministro es de tuberías de 4 m, necesitaremos 7 tuberías:

COSTE (50 mm) = 11,23 euros/m. (x2)

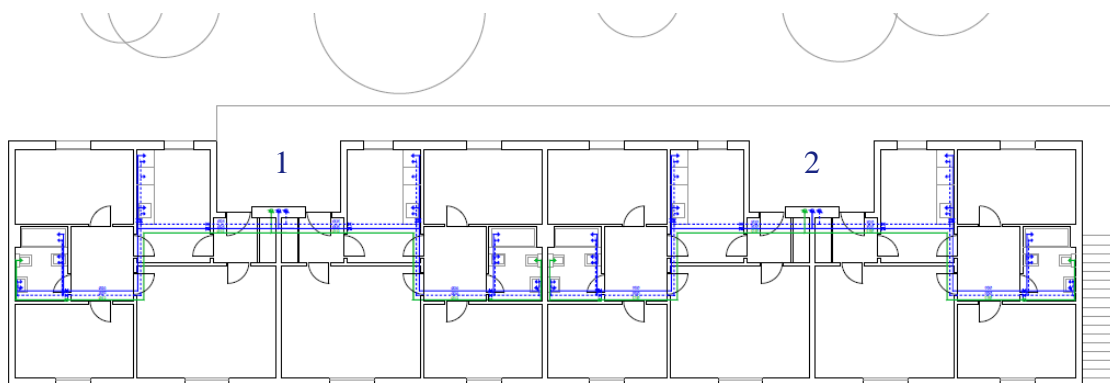
COSTE (75 mm) = 25,43 euros/m.

Multiplicando estos precios por los 28,00 m necesarios para nuestra instalación, tendremos un gasto total de **1.340,92 euros**.

La **red de evacuación completa** (viviendas + bajantes) tendrá un coste total de **2.598,68 euros**.

En este caso, al tratarse de un bloque urbano volveremos a plantear como único destino el inodoro, debido a la inexistencia de jardines y parques privados. Con una cantidad de agua regenerada de 36,975 litros/hab.día tal y como expusimos en el apartado anterior, y teniendo en cuenta que el edificio lo componen 112 personas (4 habitantes por casa), el volumen total de agua regenerada será de 4.141,20 litros/día. El inodoro exigirá una demanda de 2.800 litros/día, con que sobrarán litros para cubrir otras demandas como la limpieza del hogar, etc.

Por otro lado, la **red de abastecimiento** de agua se compone de dos bajantes:



El CTE-HS5. Evacuación de aguas, establece el caudal instantáneo mínimo para cada aparato:

Tabla 2.1 Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato

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

En el caso anterior el diámetro de 12 mm para el inodoro cumplía muy holgadamente. Vamos a comprobar si ese diámetro sirve para el abastecimiento del doble de caudal mediante la verificación de las velocidades de las tuberías:

$$K_{AFS} = \frac{1}{\sqrt{3}} \rightarrow \frac{1}{\sqrt{3}} * 0,20 = 0,12 \text{ l/s}$$

$$V = \frac{4000 * 0,12}{\pi * 12^2} = 1,06 \text{ l/s}$$

Como observamos, también cumple con el diámetro establecido para un único baño, ya que la restricción está en $0,5 > v > 3,5$ m/s para tuberías de polipropileno.

Código	Diámetro DN mm	Dimensiones (mm)					Ud. Embalaje		PRECIO (€/m)
		L	e	di	Z3	Peso Kg/m	Uds. caja	Uds. palé	
Tubo PN 16 serie 3,2*									
95T0200160000	20		2,8	14,4	-	0,192	25	4000	1,86
95T0250160000	25		3,5	18,0	-	0,297	25	3000	2,96
95T0320160000	32		4,4	23,2	-	0,456	10	1600	4,81
95T0400160000	40		5,5	29,0	-	0,679	-	221	7,99
95T0500160000	50		6,9	36,2	-	1,044	-	137	11,23
95T0630160000	63	4000	8,6	45,8	-	1,576	5	500	16,97
95T0750160000	75		10,3	54,4	-	2,197	-	84	25,43
95T0900160000	90		12,3	65,4	-	3,230	-	42	36,47
95T1100160000	110		15,1	79,8	-	4,875	-	34	53,16
95T1250160000	125		17,1	90,8	-	5,746	-	23	98,08
95T1600160000	160		21,9	116,20	-	6,870	-	17	125,15

Consideramos los 28 m de longitud de bajante comentados anteriormente:

$$\text{COSTE (20 mm)} = 1,86 \text{ euros/m. (x2)}$$

Multiplicando el precio por los 28 m de longitud de suministro del producto y teniendo en cuenta que hay dos bajantes, tendremos un gasto total de **104,16 euros**.

La **red de abastecimiento completa** (viviendas + bajantes) tendrá un coste total de **729,12 euros**.

En cuanto al **sistema de tratamiento**:

FORMATO HORIZONTAL ENTERRAR

REFERENCIA	AGUA REGENERADA (l/día)	D mm	L mm	PVP €
GREM 2500	2.500	1.600	2.900	14.976
GREM 3500	3.500	1.600	3.900	15.262
GREM 5000	5.000	1.600	6.300	20.421
GREM 10000	10.000	2.500	5.120	29.940

Incluida asistencia técnica de instalación en España, Francia y Portugal.

Con una cantidad de agua regenerada de 4.141,20 litros/día, necesitaremos el sistema GREM 10000, con un precio de **20.940 euros**.

AHORROS DE AGUA Y AMORTIZACIÓN DEL SISTEMA

El gasto total de la instalación es el siguiente:

UNIDAD	COSTE (euros)
Red de saneamiento	2.598,68
Red de abastecimiento	729,12
Sistema de tratamiento	20.940
TOTAL	24.267,80

En España el precio del agua actual es de 2,01 euros/m³ (Fuente: EMASESA).

Si el inodoro tiene una demanda de 25 litros/hab.día, el ahorro total del edificio (112 habitantes) será de 2.800 litros/día.

2.800 litros = 2,80 m³. Por tanto, en el total de la vivienda se ahorra una cantidad de 5,63 euros/día. Al mes se producen ahorros de 168,90 euros y al año de 2.026,80 euros.

A esto se le suma el ahorro del impuesto de abastecimiento calculado en el apartado anterior (8,88 euros/año/viv.), con lo que el ahorro final es de 2.274,72 euros.

Teniendo en cuenta el coste de la instalación, el sistema se amortizaría en **10,97 años**. En un edificio residencial sí se puede llegar a amortizar en un período medio de tiempo. Con el precio anterior del agua (1,38 euros/m³, según Palma Carazo, 2003) la amortización se produciría en un período mayor de tiempo. Cuanto más cara está el agua menos se tarda en amortizar el sistema.

4.1.3_ Barrio residencial.

COSTE DE LA INSTALACIÓN

Consideramos una barriada compuesta por 20 edificios de similares características al descrito anteriormente (en total 560 viviendas).

En este caso, el agua regenerada se puede destinar a aplicaciones más interesantes como es el riego de la vegetación comunitaria.

El Art 10 LOUA establece: “Son necesarios parques, jardines y espacios libres públicos en proporción adecuada a las necesidades sociales actuales y previsibles, que deben respetar un estándar mínimo entre 5 y 10 metros cuadrados por habitante o por cada 40 m² de techo destinado a uso residencial, a determinar reglamentariamente según las características del municipio [Actualmente se establece el coeficiente de dos con cuatro (2,4) habitantes por vivienda, para el cálculo de la población derivada de las viviendas previstas en los instrumentos de planeamiento urbanístico].”

Por tanto, aunque para el estudio hayamos considerado una media de 4 habitantes por vivienda, a efectos urbanísticos consideraremos la cifra de 2,4 hab./viv., que aplicado al ejemplo de una barriada de 560 viviendas equivale a 1.344 habitantes.

Si suponemos que se han destinado una media de 7 m² por cada habitante, tendremos un total de 9.408 m² de superficie destinada a parques, jardines y espacios libres públicos. Además, si consideramos que el 70% de esta superficie se encuentra cubierta por especies vegetales que necesitan ser regadas, la superficie final será de 6.585,60 m².

La demanda de agua que requiere un manto de césped fluctúa entre 0,60-3,60 litros/m²día de media anual. Tomaremos un valor medio de 2,1 litros/m²día. En total, sería necesario un suministro de 13.829,76 litros diarios.

Con una cantidad de agua regenerada de 36,975 litros/hab.día y teniendo en cuenta que el barrio lo componen 2.240 personas (4 habitantes por casa), el volumen total de agua regenerada será de 82.824,00 litros/día. El inodoro exigirá una demanda de 56.000 litros/día.

Comprobamos que del total de agua regenerada puede servir perfectamente a inodoros y a zonas verdes.

El coste de la **red de saneamiento y abastecimiento** un edificio es:

- Red de evacuación de aguas grises: 2.598,68 euros.
- Red de abastecimiento de las aguas regeneradas: 729,12 euros.

Este valor lo tenemos que multiplicar por los 20 edificios que componen el barrio:

- Red de evacuación de aguas grises: **51.973,60 euros.**
- Red de abastecimiento de las aguas regeneradas: **14.582,40 euros.**

En cuanto al **sistema de tratamiento**:

FORMATO HORIZONTAL ENTERRAR

REFERENCIA	AGUA REGENERADA (l/día)	D mm	L mm	PVP €
GREM 2500	2.500	1.600	2.900	14.976
GREM 3500	3.500	1.600	3.900	15.262
GREM 5000	5.000	1.600	6.300	20.421
GREM 10000	10.000	2.500	5.120	29.940

Incluida asistencia técnica de instalación en España, Francia y Portugal.

Con una cantidad de agua regenerada de 82.824,00 litros/día, necesitaremos ocho sistemas GREM 10000 y un sistema GREM 3500, con un precio total de **254.782 euros**.

AHORROS DE AGUA Y AMORTIZACIÓN DEL SISTEMA

El gasto total de la instalación es el siguiente:

UNIDAD	COSTE (euros)
Red de saneamiento	51.973,60
Red de abastecimiento	14.582,40
Sistema de tratamiento	254.782
TOTAL	321.338,00

En España el precio del agua actual es de 2,01 euros/m³ (Fuente: EMASESA).

Si el inodoro tiene una demanda de 25 litros/hab.día, el ahorro total de la barriada (2.240 habitantes) será de 56.000 litros/día.

56.000 litros = 56 m³. Por tanto, en el total de la vivienda se ahorra una cantidad de 112,56 euros/día. Al mes se producen ahorros de 3.376,80 euros y al año de 40.521,60 euros.

A esto se le suma el ahorro del impuesto de abastecimiento (8,88 euros/año/viv.), con lo que el ahorro final es de 46.057,20 euros.

Teniendo en cuenta el coste de la instalación, el sistema se amortizaría en **7,93 años**. En este caso sí es muy rentable hacer un sistema de regeneración de aguas, ya que el tiempo de amortización es bajo. Sin embargo plantea problemas como que, al ser un barrio, los espacios verdes son de dominio público y los habitantes no tienen que costear el agua destinada al riego. Esto sería más aplicable a cualquier conjunto de bloques de viviendas situados en la periferia y que tengan jardines en propiedad. Sin embargo, se comprueba que la mayor parte del volumen de agua regenerada se destina al abastecimiento de inodoros, por lo que es una buena solución en cualquier caso.

4.2_ Resultados.

El estudio realizado muestra que la viabilidad de aplicación del sistema depende de la cantidad de personas a las que suministra la red, siendo una práctica totalmente inviable en el caso de una única vivienda unifamiliar y más aceptable para su aplicación en un edificio residencial. Aunque la barriada reporta unos mejores resultados, es improbable su implantación debido a que las superficies verdes exteriores suelen ser de dominio público y por tanto su pago no lo afronta el usuario. Este sistema tiene mayor futuro en agrupaciones de viviendas unifamiliares o bloques con zonas verdes en los que el usuario afronte el coste del riego de los mismos.

5_ CONCLUSIONES

El tratamiento de aguas grises puede ser una buena alternativa para el ahorro de agua en la actualidad. Sin embargo requiere unos costes iniciales y de mantenimiento muy elevados en muchos casos que no los hace rentable, debido a que todavía no se ha desarrollado lo suficiente para que su comercialización salga económica. De todos modos ya se encuentran aplicaciones de estas técnicas, sobretodo en otros países de Europa. Sus aplicaciones son, sobre todo, el abastecimiento de inodoros y el riego de zonas verdes. Las viviendas urbanas plantean problemas de espacio para albergar la instalación, por lo que este factor será un inconveniente a tener en cuenta.

Su aplicación está enfocada no tanto a la búsqueda de un ahorro importante de la factura del agua, si no más bien a un cambio de conciencia con respecto al aprovechamiento del recurso y su protección como un bien natural. Es necesario que abramos la mente hacia nuevas tecnologías para conseguir un mundo más sostenible.

6_ BIBLIOGRAFÍA

AMR M. ABDEL-KADER, *Studying the efficiency of grey water treatment by using rotating biological contactors system*, Journal of King Saud University – Engineering Sciences (2013) 25, 89–95.

CARME SANTASMASAS, MIQUEL ROVIRA, FREDERIC CLARENS, CÉSAR VALDERRAMA, *Grey water reclamation by decentralized MBR prototype*, Resources, Conservation and Recycling 72 (2013) 102–107.

CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE), HS4. Suministro de agua; SUA1. Seguridad frente a riesgo de impacto; SUA2. Seguridad frente a riesgo de caídas; S11. Propagación interior; HS3. Calidad del aire interior.

DEL MORAL, L. ET AL, *Propuestas de intervención en el caso de estudio barrio de las huertas (Sevilla). Propuestas para la gestión económicamente eficiente de los recursos agua y energía*, Proyecto de Investigación AQUA-RIBA, 2014.

FANGYUE LI, KNUT WICHMANN, RALF OTTERPOHL: *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses*, Science of the Total Environment, 407 (2009) 3439–3449.

GIDEON P. WINWARD, LISA M. AVERY, RONNIE FRAZER-WILLIAMS, MARC PIDOU, PAUL JEFFREY, TOM STEPHENSON, BRUCE JEFFERSON, *A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse*, Ecological Engineering 32 (2008) 187–197.

GIDEON P. WINWARD, LISA M. AVERY, TOM STEPHENSON, BRUCE JEFFERSON, *Chlorine disinfection of grey water for reuse: Effect of organics and particles*, Water Research 42 (2008) 483 – 491.

GTAR. Barrio sin CO₂, <http://aula.aguapedia.org/mod/resource/view.php?id=3992>.

H. AL-HAMAIEDEH, M. BINO, *Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants*, Desalination 256 (2010) 115–119.

IGNACIO JAVIER PALMA CARAZO, *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*, Presentación de Luis Jesús Arizmendi Barnes, EUNSA, 2003.

JING SUN, SHIHU HU, KESHAB RAJ SHARMA, HERIBERTO BUSTAMANTE, ZHIGUO YUAN, *Impact of reduced water consumption on sulfide and methane production in rising main sewers*, Journal of Environmental Management 154 (2015) 307-315.

L. HERNÁNDEZ-LEAL, H. TEMMINK, G. ZEEMAN, C.J.N. BUISMAN, *Removal of micropollutants from aerobically treated grey water via ozone and activated carbon*, Water Research 45 (2011) 2887-2896.

LINA ABU GHUNMI, GRIETJE ZEEMAN, MANAR FAYYAD, JULES B. VAN LIER, *Grey water treatment in a series anaerobic – Aerobic system for irrigation*, Bioresource Technology 101 (2010) 41–50.

L. NI, S.K LAU, H. LI, T. ZHANG, J.S STANSBURY, JONATHAN SHI, JILL NEAL, *Feasibility study of a localized residential grey water energy-recovery system*, Applied Thermal Engineering 39 (2012) 53-62.

NOÉMIE NEVERRE, PATRICE DUMAS, *Projecting and valuing domestic water use at regional scale: A generic method applied to the Mediterranean at the 2060 horizon*, Water Resources and Economics 11 (2015) 33–46.

PAULA VIEIRAA, CATARINA JORGE, DÍDIA COVAS, *Novel performance assessment indices for domestic water use*, Procedia Engineering 119 (2015) 813 – 819.

PRABIR SARKAR, BHAANUJ SHARMA, URAL MALIK, *Energy generation from grey water in high raised buildings: The case of India, IRAN*, Renewable Energy 69 (2014) 284-289.

S. CURCIO, V. CALABRÒ, G. IORIO, *An experimental analysis of membrane bioreactor performances with immobilized chymosin*, Journal of Membrane Science 173 (2000) 247–261.

VÍCTOR MATAMOROS, VICTÒRIA SALVADÓ, *Evaluation of a coagulation/flocculation-lamellar clarifier and filtration-UV-chlorination reactor for removing emerging contaminants at full-scale wastewater treatment plants in Spain*, Journal of Environmental Management 117 (2013) 96-102, p. 1.

XIAOYU LIU, SIU-KIT LAU, HAORONG LI, *Optimization and analysis of a multi-functional heat pump system with air source and gray water source in heating mode*, Energy and Buildings 69 (2014) 1–13.