

## PONENCIAS

---

# Cubiertas planas fitodepuradoras. Propuesta de gestión de aguas grises en altura, para barrios de alta y media densidad.

*Alberto Gómez González<sup>1</sup>, Mariana Chanampa<sup>1</sup>, César Bedoya Frutos<sup>1</sup>, Javier Neila González<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Arquitectura.*

*Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Grupo de Investigación ABIO  
a.gomezgonzalez@abio-upm.org*

## I INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico del medio urbano, asociado a los nuevos modelos de comportamiento social frente al agua, está propiciando un aumento considerable del consumo de este recurso. Por ello, es necesaria una revisión, no sólo de los hábitos de conducta, sino también de los modelos de planeamiento urbano, de las metodologías proyectuales y de la integración de mecanismos que desde la fase de diseño favorezcan un aprovechamiento óptimo de los recursos hídricos.

El Grupo de Investigación ABIO (Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible), de la Universidad Politécnica de Madrid, desarrolla desde el año 2007, el subproyecto 10-Sistemas para la Optimización del Comportamiento Eficiente de las Viviendas, dentro del Proyecto Singular Estratégico INVISIO (Industrialización en Vivienda Sostenible), financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia. Específicamente, la línea de gestión del agua tiene como objetivo principal, el desarrollo de nuevos sistemas industrializados, que permitan la optimización de los recursos hídricos en vivienda; haciendo especial énfasis en aquellos, que a través de su aplicación, consigan una redefinición de los hábitos domésticos asociados al agua.

Por ello, la metodología de investigación, se plantea desde el estudio de medidas y sistemas que favorezcan una correcta gestión integral del ciclo del agua, especialmente sobre el área de influencia del medio urbano. El trabajo se organiza desde diferentes escalas de intervención, permitiendo la actuación sobre los hábitos de conducta del usuario, la incorporación de medidas de diseño arquitectónicas y la integración de sistemas de gestión urbanas. Las estrategias analizadas en el estudio, corresponden a los siguientes ámbitos: reutilización de agua de lluvia; reducción del consumo; optimización de sistemas de riego; depuración y disminución de evaporación en piscinas, reutilización de aguas grises, depuración de aguas residuales y sistemas de calidad del agua. El proyecto se ha organizado en cuatro fases principales, que permitan establecer aquellos ámbitos en los que es posible implementar nuevas estrategias de actuación y mejorar de las situaciones actuales. Las fases principales son:

1. Determinación del estado actual de los sistemas de Gestión de Agua y catalogación de las estrategias
2. Baremación ponderada de todas las estrategias analizadas en la primera fase de identificación y análisis de aquellas que presenten un mayor interés para desarrollo innovador, sostenible y funcional
3. Desarrollo de las estrategias seleccionadas a modo de prototipos, llegando a un grado de definición tal que permita su construcción e industrialización
4. Construcción de prototipos y análisis de resultados obtenidos derivados de su aplicación en diferentes casuísticas

## **PONENCIAS**

---

### **1. Determinación del estado actual de los sistemas de Gestión de Agua y catalogación de las estrategias existentes**

La primera etapa de localización y catalogación de las diferentes estrategias existentes en el ámbito de la Gestión del Agua, ha consistido en la búsqueda de sistemas empleados a nivel nacional e internacional, permitiendo conseguir un conocimiento global del estado actual existente en los diferentes ámbitos de tratamiento, conservación y ahorro del agua.

En esta primera fase, se han documentado, clasificado y analizado 166 estrategias, organizadas en 7 grandes categorías: Captación y acumulación de agua de lluvia, Reducción de consumo, Optimización de riego, Tratamiento de aguas grises, Depuración de aguas residuales y Calidad del agua. Para cada una de las estrategias, se ha documentado los siguientes parámetros: función principal, ubicación, relaciones entre estrategias, características básicas (descripción, objeto, ventajas e inconvenientes), grado de eficacia, componentes, consumo de energía, clima, usos compatibles, tipologías edificatorias donde sea aplicable, regulación (si existe) por el Código Técnico de la Edificación y grado de industrialización.

### **2. Baremación ponderada de todas las estrategias analizadas**

Tras la primera fase de catalogación y documentación de estrategias, se ha procedido a establecer una estrategia que defina criterios de evaluación básicos y que permita la identificación y análisis de aquellas que presenten un mayor interés en función de su posible desarrollo innovador, sostenible y funcional. Cada una de las estrategias se ha ponderado según los siguientes porcentajes: Innovación (30%), Sostenibilidad (50%), Funcionalidad (20%). Sudividiéndose a su vez los parámetros de sostenibilidad en eficacia, consumo de energía, reutilización y reciclabilidad; y los de funcionalidad en multiconceptualidad, vida útil y mantenimiento.

Después de la baremación de cada una de las estrategias, se observa la alta capacidad de desarrollo de los sistemas de tratamiento de aguas grises. El ámbito del tratamiento de aguas grises supone una oportunidad para la propuesta de nuevas estrategias innovadoras, sostenibles y funcionales aplicables además en vivienda, no sólo por el aspecto medioambiental y económico que supondría su reutilización para otras funciones en las que no se requiere agua potable, sino también por las posibilidades de innovación espacial y su relativamente fácil adaptación al ámbito doméstico. De las dos líneas desarrolladas en el proyecto, se expone en la presente comunicación la correspondiente a los sistemas comunitarios industrializables de fitodepuración a través de macrofitas en flotación. Aunque para la evaluación global de impactos y ahorros, también se tendrá en cuenta una posible adaptación de las viviendas estudiadas, mediante sistemas reductores de consumo.

### **3. Desarrollo de prototipos, llegando a un grado de definición tal que permita su construcción e industrialización**

El funcionamiento y definición constructiva del sistema comunitario industrializable de fitodepuración a través de macrofitas en flotación, aplicado a un caso concreto se detalla en el apartado IV de la ponencia.

### **4. Construcción de prototipos y análisis de resultados obtenidos derivados de su aplicación en diferentes casuísticas**

La construcción de los prototipos de sistemas de fitodepuración en cubierta, está prevista para finales del año 2010, en los demostradores del proyecto EDEA, arquitectura experimental en Cáceres (España), financiado por la Unión Europea en el marco del programa Life+; en el proyecto de vivienda sostenible de Tembleque, Toledo (España), financiación privada; y en el proyecto de rehabilitación sostenible de vivienda en Pozuelo, Madrid (España) de financiación privada.



## PONENCIAS

### II REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES

No existe todavía un consenso a la hora de catalogar que tipos de aguas pueden considerarse como grises. Mientras algunos autores, las definen como todas aquellas utilizadas, menos las empleadas para la descarga de inodoros, lo que incluye las procedentes de la higiene personal, lavadoras, lavavajillas y sumideros de cocinas (2); otros consideran sólo las de lavabo, ducha/bañera, bidet y lavadora (3).

En caso de plantear la reutilización conforme a la primera situación, el agua procedente de cocinas aumentaría considerablemente los niveles de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y fósforo, igualándolos en algunos casos a las cargas de inodoros (4). Además esta hipótesis incrementaría considerablemente la red separativa de recogida de aguas grises a instalar, dificultaría el control de vertidos de productos químicos por desagües, aumentaría la cantidad de sólidos en suspensión y su dificultad de filtrado; mientras que la diferencia de volumen de agua reutilizable, respecto la segunda opción, no alcanzaría el 17%. Por esta razón y teniendo en cuenta también los límites económicos y constructivos de las intervenciones en rehabilitación urbana, se recogerán únicamente para su tratamiento las aguas procedentes de lavabo, bañera/ducha, bidé, y lavadora.

Aunque al evitar la captación de desagües de cocina se reduce considerablemente la carga orgánica; se debe tener en cuenta que uno de los principales problemas de las aguas grises es la elevada fluctuación de los niveles de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y de Demanda Química de Oxígeno (DQO); principalmente a causa de las diferencias de hábitos de conducta de cada usuario y el incremento considerable en los casos de existencia de niños en la vivienda (2).

Según datos del Instituto Nacional de Estadística, mientras el consumo diario en lavabos y duchas es de 60 litros/persona (INE 2005), la descarga de inodoros requiere una media diaria de 45 litros/persona (INE 2005), lo que prácticamente equipara ambos consumos. Si se incluye el agua de lavadoras, el aporte diario a la red de saneamiento se incrementa hasta los 138 litros/persona. Valores que justifican el tratamiento de las aguas grises para su reutilización en inodoros y riego. De este modo, se consigue una reducción mayor a la mitad del consumo total, tanto en gasto de agua potable como en el volumen vertido a la red de saneamiento. Además hay que tener en cuenta la importancia que las medidas de ahorro de consumo tienen sobre países como España, y más concretamente en Madrid, donde la mayor parte del territorio está sometida a bajos niveles pluviométricos durante gran parte del año.

El siguiente cuadro expresa los consumos medios de agua potable por persona y día en vivienda, comparándolos con los consumos estimados por la Fundación Ecología y Desarrollo, en el caso de aplicación de medidas correctoras.

	Consumo (litros/persona día) (INE 2005)	Consumo (litros/persona día) (ECODES)
Ducha/bañera, lavabo y bidé	<b>60</b>	<b>46</b>
Descarga de inodoros	45	16
Lavadora	<b>33</b>	<b>18</b>
Cocina y bebida	19	13
Limpieza	10	7
<b>Total producción aguas grises</b>	<b>93</b>	<b>64</b>

Tabla 1. Comparativa de consumos totales de agua según los datos estadísticos del Instituto Nacional de Estadística (INE) del 2005, y los datos propuestos por la Fundación Ecología y Desarrollo (ECODES) resultado de la aplicación de estrategias de ahorro. Elaboración propia

## PONENCIAS

---

### III FITODEPURACIÓN

#### 3.1 Principio de funcionamiento

La fitodepuración consiste en la limpieza del agua contaminada mediante procesos biológicos, desarrollados principalmente en la masa rizomática de las plantaciones acuáticas (1).

Las plantaciones acuáticas se caracterizan por haber desarrollado mecanismos de adaptación a un medio con amplia disponibilidad hídrica pero pobre en oxígeno. Presentan epidermis muy delgadas que reducen la resistencia al paso de gases, agua y nutrientes; y tejidos con un gran desarrollo de los espacios intercelulares, que configuran una estructura de canales aeríferos para el almacenamiento y circulación del aire con oxígeno. De este modo, se facilita la difusión de gases entre los diferentes órganos de la planta y la transferencia de oxígeno desde las zonas exteriores (órganos fotosintéticos) hacia la rizosfera, contribuyendo a la oxigenación del agua y al desarrollo de colonias de bacterias aerobias (1).

Será por tanto en las raíces, donde las bacterias aerobias serán las responsables de los procesos de oxidación de sustancias orgánicas, de amonificación, nitrificación y de-nitrificación. De modo que una vez descompuestos, serán absorbidos por la planta a través de su masa rizomática. En el caso de reutilización de aguas grises, las concentraciones son bastante inferiores respecto a las aguas residuales; por lo que la depuración será más rápida.

A su vez, los microorganismos extraen energía de las sustancias orgánicas presentes en el sistema, a la vez que usan sales nutritivas disueltas en el agua para su propio desarrollo. Su existencia supone el control frente a la proliferación excesiva de otros microorganismos y virus patógenos.

#### 3.2 Ventajas del sistema frente a las problemáticas principales de los sistemas de fitodepuración tradicionales

La principal ventaja de los sistemas de fitodepuración frente a otros tratamientos, reside en que la energía necesaria para su limpieza viene generada por la acción fotosintética de las plantas.

Los primeros sistemas de tratamiento a través de fitodepuración mediante bancales (Reed bed treatment systems-RBTS) fueron investigados por primera vez en 1960 en Alemania, por Siedel and Kickuth (6). Estos sistemas estaban basados en la eliminación de contaminantes del agua a su paso por amplios canales de arena o grava donde se enraizaban las plantaciones acuáticas; fundamentándose en el principio de desarrollo de bacterias aerobias alrededor de la masa rizomática. Tras una fase de desbaste y filtrado, se utilizan comúnmente como tratamiento secundario o terciario de aguas residuales. Entre los diferentes sistemas, destacan los de flujo horizontal superficial y los de flujo horizontal subsuperficial; de modo que la construcción de bancales logra unos rendimientos por área construida, hasta 100 veces mayores que los sistemas de de lagunaje tradicionales (7).

Sin embargo, a pesar de su elevada efectividad, cercana a una eliminación de DBO y DCO del 80-90% (7); los principales problemas de estos sistemas para su aplicación en medios urbanos de alta y media densidad, derivan de su todavía elevada superficie necesaria. Además, al encontrarse en un medio poroso de arena o grava, su peso en cubierta incrementa y el crecimiento horizontal y vertical de las raíces, acaba colmatando el sustrato, dificultando su mantenimiento.

Por ello, mientras los sistemas tradicionales se fundamentan en cuatro componentes principales: Vegetación, capa de agua, sustrato y poblaciones microbiológicas; la estrategia desarrollada propone la eliminación del sustrato mediante la utilización de macrofitas en flotación, para de este modo aumentar la superficie de contacto de raíces-bacterias con el agua, optimizar el volumen de depuración y disminuir

## PONENCIAS

el peso en caso de ubicarse en cubierta. La técnica de macrofitas en flotación, desarrollada por el Grupo de Investigación de Agroenergética de la Universidad Politécnica de Madrid y dirigido por el catedrático J. Fernández, se caracteriza por el empleo de higrófitos que se extrapolan de su medio habitual a un medio acuático, aprovechando el gran volumen rizomático que desarrollan en sus primeras fases de crecimiento en el terreno. La innovación respecto a este sistema, construido tradicionalmente in situ y utilizado para grandes superficies, como el caso de Lorca (1); consiste en la industrialización de los bancales para reducir su ancho, aumentar el contacto entre bacterias de la masa rizomática y agua, y de este modo disminuir la superficie necesaria y el peso para su aplicación en cubierta.

En la siguiente tabla, se muestra una estimación sobre la disminución de superficie necesaria para los sistemas tradicionales de macrofitas en flotación y para el sistema optimizado de bancales industrializables. Teniendo en cuenta un incremento de la superficie necesaria del 20% para incluir zonas transitables en el caso de bancales industrializados, se consigue una optimización del espacio cercana al 80%.

Sistemas tradicionales de flotación		Optimización de recorrido de agua por bancales	
total habitantes eq.	1.680	total volumen a depurar	156,2 m <sup>3</sup>
m <sup>2</sup> /hab. Eq. <sup>1</sup>	5	altura de bancales	0,5 m
<b>total superficie necesaria</b>	<b>8.400 m<sup>2</sup></b>	total superficie necesaria diaria	312,5 m <sup>2</sup> /día
		pérdidas evaporación	30 %
		periodo de fitodepuración	7 día
		total superficie necesaria	1.531,2 m <sup>2</sup>
		<b>total inc. zonas transitables</b>	<b>1.840 m<sup>2</sup></b>

<sup>1</sup> J. Fernández, Filtros de macrofitas en flotación. Ed. Ayuntamiento de Murcia, 2005.

Tabla 2. Comparativa de superficies necesarias según el sistema de flotación. Elaboración propia

## IV SISTEMA INDUSTRIALIZADO DE FITODEPURACIÓN

El sistema industrializado de fitodepuración es una estrategia que propone el tratamiento de las aguas grises para su posterior reutilización en riego de jardines y descarga de inodoros, contribuyendo tanto al ahorro de agua potable en usos que no lo requieren como a disminuir el volumen de agua que a diario sobrecarga las redes de saneamiento.

Se propone un sistema centralizado de recogida y tratamiento basado en el siguiente funcionamiento: Las aguas grises de cada vivienda, procedentes de ducha/bañera, bidé, lavabo y lavadora, son recogidas por una red separativa. Se hacen pasar por un prefiltro para la eliminación de sólidos en suspensión y se acumulan en un depósito primario. De forma diaria, bien por bombeo o bien por gravedad, se impulsan a otro depósito centralizado, y desde ahí a los bancales de tratamiento. Los bancales son módulos prefabricados que albergan las macrofitas en flotación, formando un circuito que determina el recorrido del agua. De este modo se optimiza el contacto de las aguas grises con las raíces de las plantaciones acuáticas, donde se desarrollan las bacterias aerobias responsables de la fitodepuración.

El tiempo necesario para una correcta depuración son 7 días (1), transcurridos los cuales el agua es expulsada y almacenada en depósitos modulares, para su posterior reutilización. La construcción modular del sistema permite su crecimiento en superficie, por agregación de bancales, de acuerdo con la demanda existente; de modo que si bien en la presente ponencia se ha estudiado un caso concreto, su extrapolación es posible a otras situaciones.

## PONENCIAS

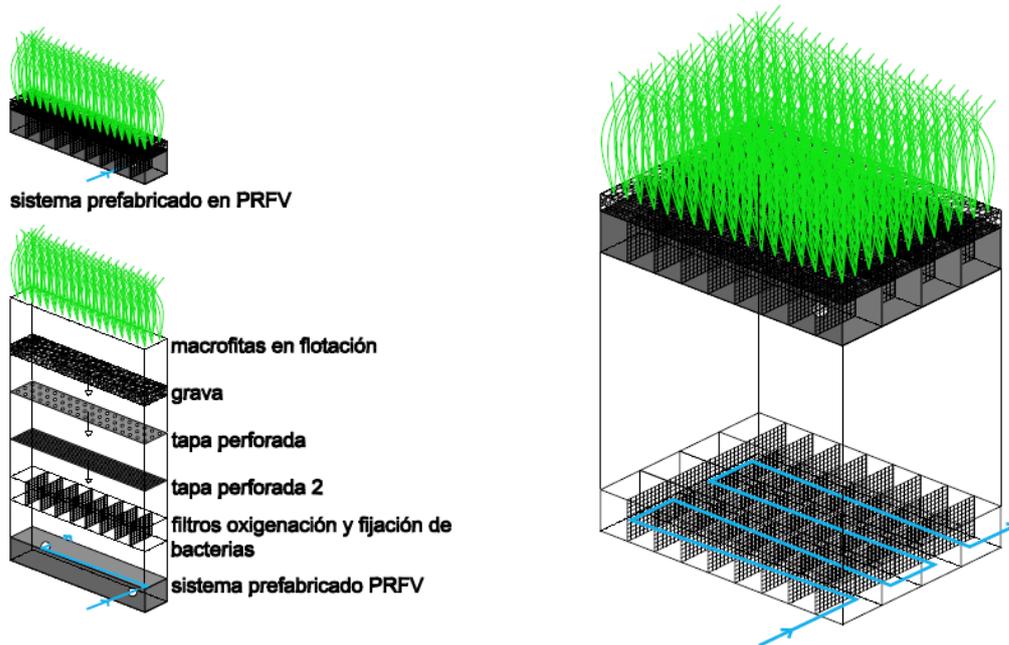


Figura 1. Sistema industrializado de fitodepuración. Elaboración propia

## VII CONDICIONANTES DE LOS MEDIOS URBANOS DE ALTA Y MEDIA DENSIDAD

### 7.1 Distribución demográfica en España

La distribución de la población en España difiere de la de la mayoría de los países de Europa Occidental, principalmente de aquellos donde los sistemas de fitodepuración han presentado un mayor desarrollo, como son las Islas Británicas y centro Europa. La densidad de población en España es de unos 91,4 hab/km<sup>2</sup>, mientras la de otros países de dimensiones similares como Alemania, alcanza los 250 hab/km<sup>2</sup> o Reino Unido los 243 hab/km<sup>2</sup>.

Sin embargo, la población española se caracteriza por su concentración en ciudades de tamaño mediano o grande, distribuida en áreas metropolitanas costeras y zonas de valle próximas densamente pobladas; y casos puntuales de áreas metropolitanas interiores, como las de Madrid, Zaragoza, Córdoba y Valladolid. De modo que el 45% de la población se concentra en sólo 7 provincias.

### 7.2 Área metropolitana de Madrid. Alcalá de Henares

El área metropolitana de Madrid constituye la tercera más grande de la Unión Europea, después de Londres y París. Su desarrollo a partir de los años 1960, provocó el crecimiento de las ciudades periféricas, mediante un modelo de alta y media densidad, propiciado por la construcción de bloques en altura y la carencia de zonas verdes.

Respecto a la gestión del agua, este modelo de crecimiento fomentó la construcción de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR), en zonas inicialmente aisladas, donde se depurarían las aguas residuales de todas los habitantes del núcleo urbano. Con el tiempo, estas instalaciones se han visto desbordadas, al mismo tiempo que el desarrollo urbanístico las ha vuelto a incorporar de nuevo a las áreas urbanas. El principal problema de estas instalaciones es su saturación, favorecida por la falta de separación entre aguas grises y residuales, lo que reduciría el agua a tratar considerablemente. Además, la progresiva impermeabilización de los suelos urbanos, favorece que en periodos de lluvias las EDAR reciben un volumen de aguas contaminadas mayor del que pueden depurar.

## PONENCIAS

Por esta razón, se considera que la intervención en el ciclo urbano del agua es indispensable para un correcta gestión de este recurso, evitando el sobredimensionamiento innecesario de los equipamientos de depuración. La incorporación de estaciones de tratamiento de aguas grises a escalas de distrito, contribuirá en gran medida a la reducción de los consumos de agua potable en usos que no lo requieren, al mismo tiempo que permitirá aumentar la eficacia de las instalaciones de tratamiento de aguas a nivel global. Por ello, se propone aprovechar el estudio de los espacios de oportunidad de las ciudades de alta y media densidad, donde a través de la rehabilitación urbana se reaprovechen las áreas de cubierta para la localización de instalaciones controladas de fitodepuración; cuyo beneficio no estará asociado únicamente a la reducción de consumo de agua, sino también a los efectos positivos del comportamiento higratérmico que las cubiertas aljibe presentan y a las ventajas que la naturalización arquitectónica supone para los habitantes de las ciudades contemporáneas.

### 7.3 Caso de estudio

Se ha seleccionado como caso de estudio, un conjunto de viviendas situadas en el área metropolitana de Madrid, concretamente en la ciudad de Alcalá de Henares. La densidad de la zona y la localización de amplias áreas de cubierta plana sobre sector terciario, ha determinado la elección del lugar como ejemplo de actuación. La zona de intervención es la formada por las 2 manzanas delimitadas por la vía Complutense con las calles Ribera, Murillo, Caballería Española, Juan de Arellano y Avda. Manuel Azaña.



Figura 2,3,4. Localización del área de actuación. Fuente: Dirección General del Catastro.

La zona estudiada se construyó a finales de la década de 1970, y está compuesta por dos manzanas de bloque en forma de U enfrentadas, entre las cuales se sitúa un volumen de uso terciario. El edificio de viviendas tiene siete plantas más bajo comercial y una planta sótano de instalaciones y almacenes comerciales; mientras que en la zona central de la manzana se encuentra una planta de aparcamiento subterráneo. Las viviendas tienen una superficie media construida de 100 a 130 m<sup>2</sup>, cuatro habitaciones y dos baños; lo que determina una media de 3 habitantes equivalentes por vivienda para el cálculo de producción de aguas grises.

manzana A		manzana B		edificio dotacional	
supf. de cubierta edificada (m2)	4.300	supf. de cubierta edificada (m2)	4.400	supf. de cubierta edif. (m2)	4.690
supf. Manzana (m2)	7.100	supf. Manzana (m2)	6.900		
densidad por manzana (hab/km2)	118.310	densidad por manzana (hab/km2)	121.739		
<b>Total</b>					
supf. de cubierta edificada (m2)	<b>13.390</b>	supf. total incl. viario (m2)	<b>20.900</b>	densidad incl. Viario (hab/km2)	<b>80.383</b>

Tabla 3. Superficies y densidades de la zona de actuación. Elaboración propia

## PONENCIAS

El conjunto de viviendas está formado por 10 portales por manzana, y 4 viviendas por portal, lo que hacen un total de 280 viviendas. Teniendo en cuenta los dos bloques, el número de habitantes equivalentes total a considerar es de 1.680.

Por otro lado, el bloque de uso terciario, está dedicado a comercio de una sólo planta más otra planta de aparcamiento subterráneo. Su cubierta plana, se presenta como un área de oportunidad para la reinterpretación de nuevos usos, ya que de los 4.690 m<sup>2</sup>, la mayor parte se encuentra libre, salvo dos pequeñas edificaciones de una planta y las instalaciones de la zona comercial que se sitúa debajo.

### VI ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN

Se ha estudiado la intervención sobre la cubierta plana del núcleo central de equipamientos, aprovechando su alto porcentaje de superficie libre. De este modo se consigue un área de actuación en la el ciudadano no tiene contacto directo con la zona de tratamiento, al mismo tiempo que se proporciona a las viviendas de toda la zona la visión de un nuevo jardín urbano.

Las aguas grises de cada uno de los portales serán recogidas por una red separativa y conducidas a un depósito primario, desde el que serán bombeadas cada 24 horas al sistema centralizado secundario. La situación de los baños de la vivienda, agrupados de modo que comparten tabique de instalaciones, favorece significativamente la reducción de obra en el interior y los costes del trazado de la nueva red; al igual que la red de impulsión para descarga de inodoros.

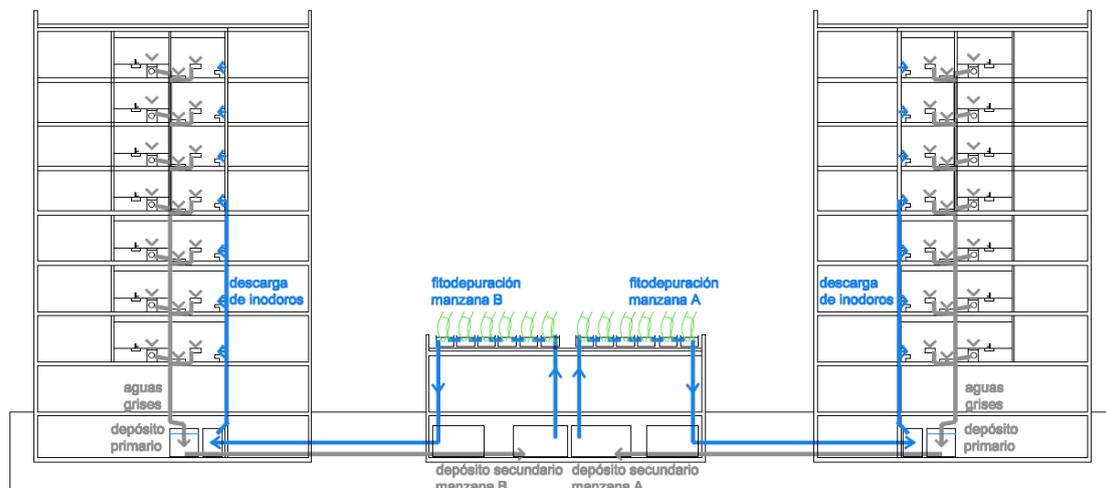


Figura 5. Sistema de intervención sobre el conjunto existente. Elaboración propia

Las aguas recogidas en el depósito secundario, son impulsadas a la zona de bancales de fitodepuración, dimensionada para asegurar el tratamiento de todas las aguas que por ahí circulen, durante un periodo mínimo de 7 días. Una vez depurada, el agua será de nuevo almacenada, para reutilizarse en descarga de inodoros y en riego por goteo subterráneo de las zonas verdes adyacentes.

### V COMPONENTES DEL SISTEMA

A continuación se exponen los componentes principales del sistema. El orden de exposición está en correlación con el ciclo que el agua va realizando durante el proceso de captación y recogida, tratamiento de fitodepuración y posterior almacenaje.

## PONENCIAS

---

### 5.1 Red separativa

La primera intervención sobre el parque existente de viviendas, consiste en realizar una red separativa de aguas grises que recoja el agua procedente de duchas/bañeras, bidés, lavabos y lavadoras, mediante un sistema centralizado que canalice el flujo de varias viviendas al depósito primario de acumulación. En el caso de estudio, la agrupación de núcleos húmedos dispuestos de modo contiguo, favorece en gran medida el trazado de la red, disminuyendo el impacto de la obra necesaria y el coste de la misma.

Respecto a la red separativa de cada baño, se recomienda la incorporación de sifones individuales en todos los aparatos, frente a la solución tradicional de bote sifónico. De este modo se evitan servidumbres con viviendas inferiores, optimiza el espacio y se minimiza la apertura de rozas en tabiques y perforaciones en forjado. Además, la aplicación de sifones individuales acorta la distancia del cierre hidráulico al desagüe del aparato, disminuyendo la probabilidad de atascos y malos olores.

### 5.2 Trampa de grasas

El caso de estudio, se propone el filtrado y separación de grasas y sólidos de modo individualizado por portales. Las bajantes principales de las cuatro redes separativas de cada portal confluyen en una trampa de grasas centralizada, donde se decantarán los sólidos por peso en su parte inferior, y las grasas y parte de jabones no disueltos flotarán en su superficie. La ventaja del caso de estudio, reside en el mantenimiento del sistema; ya que el mismo personal se encargará del cuidado periódico del buen funcionamiento de las instalaciones de los 20 portales existentes en la intervención.

### 5.3 Depósito primario de acumulación de aguas grises

Las aguas grises prefiltradas procedentes de la trampa de grasas, son acumuladas en un primer tanque de almacenamiento, situado en la zona de instalaciones que cada portal dispone. El tanque incorpora un sistema regulador de volumen, tipo boya y un indicador de nivel. De este modo se evitará tanto el desbordamiento como la falta de volumen de agua. Además, se dispondrá una derivación de aguas grises a la red de saneamiento en caso de que la producción sea mayor que el volumen del tanque; y a su vez se proveerá de una toma de agua que permita el mantenimiento de un volumen mínimo.

Para evitar el desarrollo de bacterias, las aguas grises prefiltradas permanecerán un máximo de 24 horas en el depósito primario de acumulación. Además, debido a su situación en sótanos, se muestra protegido de las altas temperaturas, con una temperatura baja y relativamente constante. Cada uno de los depósitos primarios, contará con una bomba sumergible que impulsará periódicamente las aguas prefiltradas al sistema centralizado de acumulación. Es necesario que la bomba elegida pueda funcionar en seco sin riesgos de deterioro en caso de avería de la red de abastecimiento de aguas grises.

### 5.4 Depósitos centralizados de acumulación de aguas grises

El agua que ha sido impulsada por cada uno de los portales, es recogida en dos depósitos, uno por manzana, desde el que se impulsará a los banales de fitodepuración situados en cubierta. Teniendo en cuenta que el agua es impulsada a diario, el número total de habitantes equivalentes para el conjunto de las dos manzanas es de 1.680, y el consumo medio diario por persona es de 93 litros; si no existieran los depósitos primarios, el tanque centralizado tendría que tener un volumen de 156,240 m<sup>3</sup>. Sin embargo, la existencia de tanques individualizados por portales, permite el control del agua que llega al tanque centralizado, de modo que se van alternando las impulsiones a éste periódicamente. El número de portales por manzana es de 10, lo que permite que cada portal acumule las aguas de 28 viviendas durante 24 horas, y las impulse al depósito centralizado correspondiente con un desfase de dos horas, respecto del portal contiguo. De este modo, cada segundo depósito servirá de receptor de las aguas provenientes cada una de las manzanas, y desde el se impulsarán las aguas recibidas a los banales de

## PONENCIAS

fitodepuración; que se organizarán en dos circuitos independientes, uno por manzana. El sistema de organización permite la reducción de cada tanque hasta unas dimensiones de 7 m<sup>3</sup>.

### 5.5 Red de impulsión de aguas grises a bancales

El agua de cada uno de los depósitos secundarios será impulsada a cada sistema de bancales correspondiente en cubierta. Para la definición de la red de impulsión se tendrá en cuenta que parte de su recorrido transcurre por el exterior de la edificación. Debiéndose proteger de los agentes atmosféricos, de posibles ataques de roedores y de manera especial de la radiación ultravioleta.

### 5.7 Bancales prefabricados

Las aguas grises son derivadas a los bancales prefabricados donde se procederá a su fitodepuración. Cada bancal se organiza en tres espacios diferenciados para un mejor filtrado y una minimización de las interferencias que la masa rizomática pueda ejercer sobre las canalizaciones entre bancales. Para ello, el bancal se subdivide en dos pequeñas zonas a los extremos separadas del espacio central mediante un filtro de malla metálica inoxidable.

Las dimensiones modulares y el planteamiento de crecimiento del sistema por agregación de bancales, facilitan la puesta en obra y el transporte de piezas de tamaño medio. Además, se consigue la adaptación a diferentes casuísticas en función de las necesidades de cada edificación. Los bancales se construyen en PRFV y para favorecer su comportamiento mecánico, cuentan tanto con refuerzos transversales de atado, como el efecto de la plataforma de sujeción de macrofitas. El tamaño de los bancales será de 10x1,5 m; para ello se ha tenido en cuenta la adaptación dimensional a los sistemas de transporte y la relativa facilidad de reparación y/o sustitución de elementos modulares de relativo pequeño tamaño. La plataforma, contribuye a la sujeción de las plantaciones acuáticas y a la estabilidad del sistema, y además permite la creación de una cámara de aire entre la lámina de agua superior y la capa de grava, lo que permite la aireación y reducción de emisión de olores. Ese espacio sirve además de zona de seguridad frente al desbordamiento en caso de lluvia; situación que se ve a su vez complementada con la incorporación puntual de sumideros de regulación en los bancales intermedios.

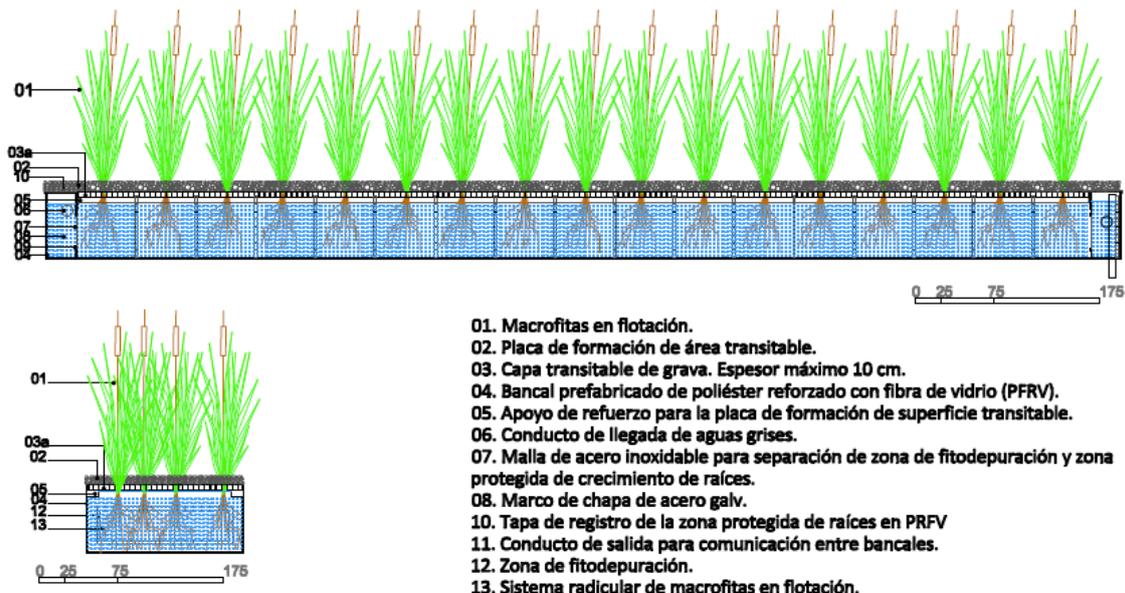


Figura 6. Bancal industrializado modular. Elaboración propia

## PONENCIAS

### 5.9 Sistema de acumulación de aguas tratadas

La circulación del agua en los bancales se realiza mediante sistema de pistones, de modo que al añadir a diario el nuevo caudal, el primer módulo se desborda hacia el segundo, y así sucesivamente. El agua depurada, es desbordada al depósito de acumulación, desde el que se suministrará agua a cada portal para descarga en inodoros, y el agua restante servirá de apoyo para riego por goteo subterráneo.

### 5.9 Refuerzo estructural

La relación entre la superficie del sistema propuesto y el número de habitantes es relativamente baja, de modo que para una vivienda unifamiliar sería necesaria una área inferior a 3 m<sup>2</sup> en la cubierta. Sin embargo, para el caso estudiado, al concentrar todo el área de fitodepuración sobre una cubierta existente y dar servicio a 1.680 habitantes equivalentes, la estructura debería reforzarse en la zona de bancales, para una sobrecarga extra mínima de 600 kg/m<sup>2</sup>.

## VI SELECCIÓN DE ESPECIES

La selección de propuestas se ha realizado, teniendo en cuenta la climatología continental de inviernos y veranos rigurosos. La situación en cubierta, optimiza la captación de la radiación solar y favorece los procesos de fotosíntesis. Con una proporción de 10 plantaciones por m<sup>2</sup>, se colocarían unas 15.300 plantas. Respecto a la longitud de raíces, todas tienen una buena adaptación a los 50 cm de bancales (5).

Imágen	Especie vegetal	Condiciones climáticas <sup>(1)</sup>	Morfología y crecimiento <sup>(1)</sup>
	Phragmites australis (carrizo) Familia: Poaceae	-clima continental -temperatura óptima de 12-23 °C -sobrevive temperaturas extremas -5°C	-Tallos flexibles -Hojas verdes grisáceas de 50 cm de long. - altura hasta 4 m
	Typha latifolia L. (enea) Familia: Typhaceae	-clima mediterráneo semiárido -temperatura óptima de 20 °C	-Hojas 8 mm ancho,color verde grisáceo -Floración de 4-7 mm de ancho marrón -altura > 2 m
	Scirpus Holoschoenus (junco de bolas) Familia: Cyperaceae	-clima mediterráneo templado soleado -temperatura desarrollo óptimo 16-27°C	-Hojas tipo gramíneas -Inflorescencias en espigas de color pardo -altura hasta 3 m

Tabla 4. Características principales de las especies seleccionadas para el proyecto. Fuente: (1) J. Fernández. Filtros de macrofitas en flotación. Ayuntamiento Murcia, Murcia, 2005. Elaboración propia

## VIII CUANTIFICACIÓN DE RESULTADOS

La incorporación de sistemas de tratamiento de aguas grises al ciclo de gestión de agua urbana, tiene significativas ventajas. Por un lado, permite la reducción del consumo de agua potable para usos que no lo requieren en más de un 50%; mientras que por otro disminuye significativamente el volumen recibido por las E.D.A.R.

Se han estudiado diferentes casuísticas, para cuantificar el impacto de la reutilización de las aguas grises, en función de su procedencia, de la existencia de medidas correctoras de reducción de consumo y de la posibilidad de recambio de inodoros por otros de doble descarga de tanque de 3 y 6 litros. De la comparativa se deduce que en caso de recogida única de agua de duchas, bañera, bidet y lavabo, sin realizar medidas de reducción de consumo, el agua tratada no llegaría a cumplir la demanda total de descarga de inodoros. Sin embargo, en el resto de casuísticas sobraría un porcentaje siempre superior al 50% para riego. El estudio no ha cuantificado el impacto económico, pero teniendo en cuenta que las medidas correctoras de reducción de consumo se pueden ir realizando progresivamente, el caso más favorable es la hipótesis C, incluyendo la recogida también de aguas procedentes de lavadora.

## PONENCIAS

En los desarrollos urbanos españoles de los años 70 y 80, existen multitud de situaciones similares a la de la zona analizada; donde aparecen grandes superficies de cubiertas planas reutilizables para nuevos usos. La incorporación de sistemas industrializables de fitodepuración sobre estos espacios, permite no solo la optimización de la gestión del ciclo de agua, sino que aporta nuevas condiciones de calidad visual y ambiental a los distritos donde se aplica; alterando positivamente el paisaje urbano actual.

AGUAS DUCHAS/BANERA, BIDET Y LAVABO				AGUAS DUCHAS/BANERA, BIDET, LAVABO Y LAVADORA			
<b>hipótesis A únicamente fitodepuración</b>				<b>hipótesis A únicamente fitodepuración</b>			
<b>estimación posibilidad reutilización media diaria</b>				<b>estimación posibilidad reutilización media diaria</b>			
total hab. Equivalentes	1.680			total hab. Equivalentes	1.680		
producción aguas grises (l/hab.eq)	60			producción aguas grises (l/hab.eq)	93		
total litros	100.800			total litros	156.240		
total incluyendo pérdidas 30%	70.560	100,00%		total incluyendo pérdidas 30%	109.368		
descarga de inodoros (l/hab.eq)	45			descarga de inodoros (l/hab.eq)	45		
total litros	75.600	107,14%		total litros	75.600	100,00%	
aporte agua necesario (litros)	-5.040	-6,67%		aporte agua necesario (litros)	33.768	44,67%	
<b>hipótesis B incluyendo recambio de inodoros de bajo consumo</b>				<b>hipótesis B incluyendo recambio de inodoros de bajo consumo</b>			
<b>estimación posibilidad reutilización media diaria</b>				<b>estimación posibilidad reutilización media diaria</b>			
total hab. Equivalentes	1.680			total hab. Equivalentes	1.680		
producción aguas grises (l/hab.eq)	60			producción aguas grises (l/hab.eq)	93		
total litros	100.800			total litros	156.240		
total incluyendo pérdidas 30%	70.560	100,00%		total incluyendo pérdidas 30%	109.368	100,00%	
descarga de inodoros (l/hab.eq)	16			descarga de inodoros (l/hab.eq)	16		
total litros	26.880	38,10%		total litros	26.880	24,58%	
reutilización en riego	43.680	61,90%		reutilización en riego	82.488	75,42%	
<b>hipótesis C incluyendo medidas correctoras globales en viviendas</b>				<b>hipótesis C incluyendo medidas correctoras globales en viviendas</b>			
<b>estimación posibilidad reutilización media diaria</b>				<b>estimación posibilidad reutilización media diaria</b>			
total hab. Equivalentes	1.680			total hab. Equivalentes	1.680		
producción aguas grises (l/hab.eq)	46			producción aguas grises (l/hab.eq)	64		
total litros	77.280			total litros	107.520		
total incluyendo pérdidas 30%	54.096	100,00%		total incluyendo pérdidas 30%	75.264	100,00%	
descarga de inodoros l/hab.eq	16			descarga de inodoros l/hab.eq	16		
total litros	26.880	49,69%		total litros	26.880	35,71%	
reutilización en riego	27.216	50,31%		reutilización en riego	48.384	64,29%	

Tabla 5. Comparativa de las diferentes casuísticas estudiadas. Elaboración propia

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de PROSOJARD S.L por sus importantes contribuciones.

## REFERENCIAS

- (1) J. Fernández. Filtros de macrofitas en flotación. Ayuntamiento de Murcia, Murcia, 2005.
- (2) B. Jefferson. "Grey Water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse". *Water Science and Technology*, Vol. 50, nº 2 (2004), pp. 157-64.
- (3) E. Nolde, "Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings-over ten years experience in Berlin". *Urban Water*, Vol.1 (1999), pp 275-284.
- (4) D. Butler et al, "Characterising the quantity and quality of domestic wastewater inflows". *Water Science and Technology*, Vol. 31. nº 7 (1995), pp. 13-24.
- (5) B. Pucci, Linee Guida per la progettazione e gestione di zone umide artificiali per la depurazione dei reflui civili, Italian Environmental Protection Agency, 2005
- (6) G.A. Moshiri. Constructed Wetlands for Water Quality Improvement, CRC Press, 1993.
- (7) R.L., Knight, "Wetlands for wastewater treatment data base". *Int. Conf. Wetlands in Water Pollution Control*, Sydney, 1992.

