



## Sistema de tuberías para el reparto uniforme y simultáneo de agua y aire: una nueva idea para pisos filtrantes más económicos

La distribución uniforme de agua por varias tuberías a la vez está estudiada y existen fórmulas empíricas que permiten un diseño aceptable. Por el contrario, la distribución uniforme de aire a través de un tubo lleno de agua con varias bocas de salida es generalmente un problema, ya que el aire tiende a salir por las bocas más próximas a la tubería de entrada dejando el resto sin alimentación.

El reparto de aire requiere, por tanto, de una consideración diferente al del reparto de agua, ya que se necesita configurar primero una zona de alimentación, o cámara de aire, desde donde todos los tubos de salida puedan ser alimentados a la vez. La configuración de una cámara de aire dentro del tubo lleno de agua es un elemento clave para el reparto uniforme de aire por diferentes salidas.

Este concepto encuentra uso en el nuevo diseño de piso filtrante para la inyección uniforme de aire y agua patentado por la FCCA.

El diseño dispone de los siguientes componentes: un tubo de alimentación acoplado en forma cónica a un tubo de distribución; varios tubos verticales insertados en el tubo distribución y una serie de tuberías de reparto horizontales acopladas a las tuberías verticales para permitir la distribución de aire y de agua en la superficie filtrante. Las tuberías insertadas en el distribuidor disponen de orificios de diferentes tamaños y a dos alturas. Las tuberías horizontales disponen también de orificios de diferentes tamaños pero a tres alturas diferentes. La ubicación de estos orificios está relacionado con la dimensión de la cámara de aire. La figura adjunta ilustra los detalles del nuevo diseño.

### Breve descripción del funcionamiento del sistema

Para la distribución de agua el funcionamiento es el siguiente: El agua en-

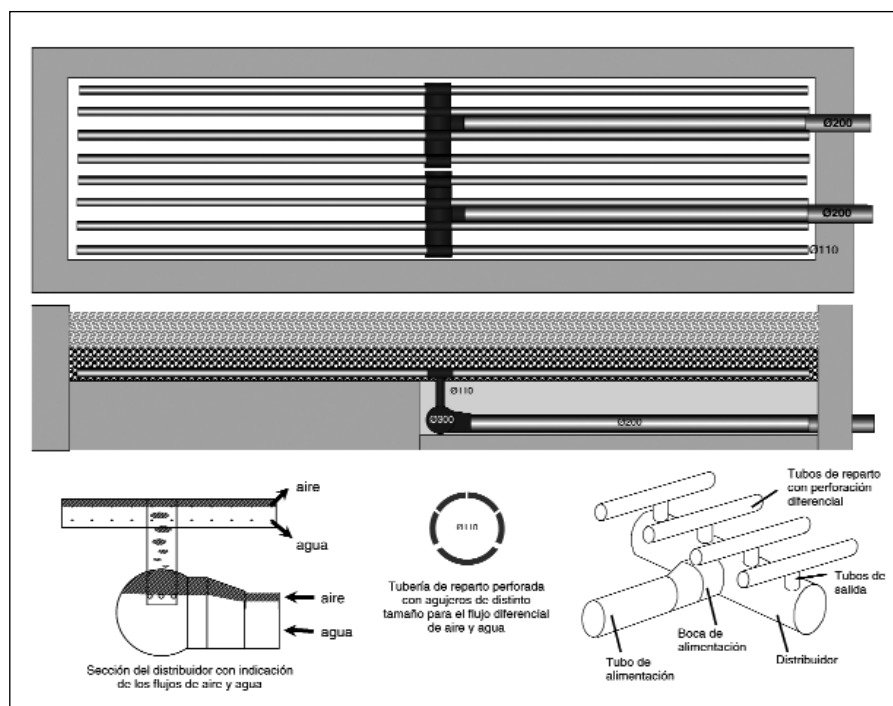
tra por la tubería de alimentación y penetra en el distribuidor a atravesando el cono de alimentación. A continuación, se distribuye dentro del distribuidor y abandona el mismo por las distintas tuberías verticales. Atendiendo a la baja pérdida de carga del distribuidor, el reparto de agua se hace de forma uniforme por todas tuberías verticales. El agua utiliza principalmente las bocas de salida de las tuberías aunque también, en parte, los orificios situados en las paredes de las tuberías. Una vez asciende por los tubos verticales, el agua penetra en las tuberías de reparto situadas horizontalmente. Aquí, el dimensionamiento de los orificios de estas tuberías permite un reparto de agua uniforme a lo largo de las mismas.

Para la distribución de aire y con el sistema lleno de agua el funcionamiento es el siguiente: El aire inyectado en la tubería de alimentación avanza por la parte superior de la tubería y entra en el distribuidor a través del cono de alimentación. El cono de alimentación

permite al aire avanzar directamente por la parte superior del tubo de distribución sin crear turbulencias. A continuación, el aire comienza a salir por los pequeños orificios situados en la parte superior de los tubos verticales insertados pero, inmediatamente, y debido al diámetro insuficiente de estos orificios, empieza a acumularse en la parte alta del distribuidor hasta formar una cámara de aire a lo largo de todo el distribuidor. El grosor de dicha cámara va aumentando hasta alcanzar los orificios inferiores en los tubos verticales insertados. A partir de este momento la cámara de aire alimenta a todos los tubos verticales por igual. En caso de caudal en exceso, la cámara seguirá aumentando de tamaño y el aire saldrá finalmente por la boca de las tuberías.

Una vez dentro de los tubos verticales, el aire asciende hasta las tuberías de reparto. Aquí, el aire volverá a acumularse en la parte superior de las tuberías y a avanzar a lo largo de las

Pasa a la página 4



# Sobre la reinyección de aguas depuradas en acuíferos costeros degradados para compensar la sobreexplotación: ¿Utopía o realidad?

Por Dr. Ing. Manuel Hernández Suárez\*

El concepto tradicional de la recarga de acuíferos ha sido objeto de investigación en diversas partes del mundo desde hace décadas[1][2][3][4]. Por consiguiente, la literatura publicada en este campo es extensa, y abarca prácticamente todos los aspectos. Desde las consideraciones hidrogeológicas y los problemas microbiológicos de la contaminación con fecales, pasando por la obstrucción de los pozos de inyección y el estudio de la capacidad de recarga con simulación matemática, hasta los estudios de costes de las distintas opciones posibles.

Por eso, empezar a analizar este problema para un posible proyecto de investigación supone enfrentarse a una enorme cantidad de literatura capaz de desanimar al trabajador más tenaz. No obstante, un análisis somero del tema nos revela algunas de las razones por las que un proyecto de recarga pudiera llegar a ser un éxito o un fracaso.

En primer lugar, lo más importante es contar con un agua residual de calidad. ¿Qué calidad? En principio equiparable a urbana, esto es, después de una ultrafiltración y desinfección o en algunos casos hasta después de una ósmosis.

¿Y por qué hace falta que el agua sea tan pura? sería la siguiente pregunta. El hecho de que hayan sólidos en suspensión es obvio que se sabe un problema ya que éstos obstruyen los poros del subsuelo y poco a poco reducen la capacidad de absorción del mismo, con lo que se requieren frecuentes purgas de extracción a grandes caudales [5]. Otro contaminante importante son las bacterias. La presencia de *escherichia coli*, por ejemplo, puede ser un problema en acuíferos donde luego se extrae el agua para abastecimiento. La presencia de bacterias junto a la materia orgánica implica también la descomposición de esta última. La descomposición de materia orgánica en el subsuelo se realiza en condiciones anaeróbicas por lo que se genera CO<sub>2</sub> así como otros gases y compuestos orgánicos tipo ácido húmicos frecuentes en zonas pantanosas. Estos compuestos contribuyen también a la obstrucción de los poros del suelo [5]. El agua residual contiene nitratos en más o menos cantidad. Estos nitratos se convierten en gas

nitrógeno (desnitrificación) en condiciones anaeróbicas. Esta desnitrificación suele ser sólo parcial por lo que al final ocurre también una acumulación de nitratos en el subsuelo [6]. Otros contaminantes más resistentes a la depuración y a la biodegradación son también fuente de posible contaminación en la reinyección.

Puede concluirse pues, que la necesidad de tener que contar con un agua limpia, limita la implantación de los proyectos de inyección. De hecho, los proyectos con éxito han requerido de la utilización de tratamientos terciarios incluido ósmosis inversa. Un esquema de los sistemas de tratamiento utilizados antes de la reinyección se adjunta en la Figura 1 [4].

Aparte de los problemas del agua, aparecen también, obviamente, los problemas hidrogeológicos. Hace falta una cierta permeabilidad del acuífero así como una capacidad de desplazamiento de las masas de aguas subterráneas suficiente para facilitar una reinyección en cantidades que justifiquen los costes de inversión.

¿Todo la literatura existente se resume entonces en dos problemas: La calidad del agua y las condiciones hidrogeológicas? ¿No se requiere una construcción específica de los pozos de inyección? Aparentemente no, y los pozos de inyección se construyen igual que los de extracción.

Asumiendo que se dispone de unas condiciones hidráulicas adecuadas el problema se resume, por tanto, en producir un agua que pueda ser inyectada.

## La realidad de algunos acuíferos costeros

En las zonas áridas y semiáridas, muchos acuíferos costeros están sobre-explotados y salinizados por la intrusión marina. El nivel freático suele estar por debajo del nivel del mar; la recarga suele ser mínima y existe contaminación con nitratos y a veces también de organismos fecales.

La salinidad de estos acuíferos alcanza los 3.000 ó 10.000 µS/cm y los niveles de nitratos superan con creces los 50 mg NO<sub>3</sub>/L. La degradación de estas aguas subterráneas ha sido paulatina. De forma que llegado este

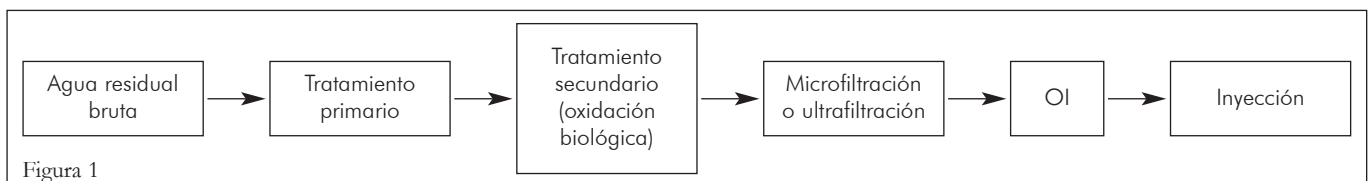


Figura 1

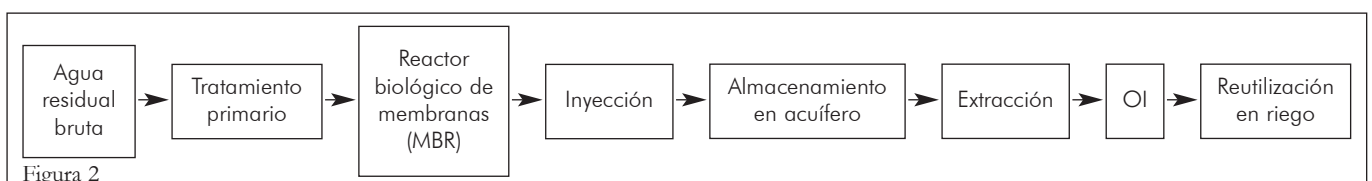


Figura 2

punto sólo se extraen para desalarlas en plantas de ósmosis inversa (OI) antes de usarlas generalmente para regar. Las plantas de OI hacen de filtro para las sales, los contaminantes, las bacterias y los virus. Y la degradación de los acuíferos continúa. Y la intrusión marina aumenta. Y las plantas se ven abocadas a continuas mejoras para contrarrestar la creciente salinidad.

La Directiva Marco de la U.E. requiere la recuperación de estos acuíferos. Misión imposible pudieran pensar alguno atendiendo a la falta de fuentes alternativas. Habrá que desalar agua de mar y proteger los acuíferos, dirán otros, ya que llover no llueve ni ha llovido nunca suficiente. Ahora bien, antes de desalar agua de mar habría que preguntarse ¿Se podrían reinyectar aguas residuales bien tratadas para compensar la extracción y mejorar, aunque sea en algo la calidad de los acuíferos? ¿Es más barato que la desalación de agua de mar? ¿Se consume menos energía? ¿Tendría un impacto ambiental menor que la desalación de agua de mar? Todo apunta a que hay que ver la calidad del agua depurada para poder contestar a estas preguntas.

	Tratamiento secundario	Bioreactores membranas (MBR)
DBO (mg O <sub>2</sub> /L)	30	<5
SST (mg/L)	30	<5
Nitrógeno total (mg/L)	16	<1,0
Turbidez (NTU)	25	<0,2
Coliformes totales (NMP/100 mL)	2.2	<1

### La calidad de las aguas depuradas

Bien es sabido, entonces, que la calidad normal de un agua depurada con tratamiento secundario no es suficiente para la reinyección en acuíferos, por las dificultades que genera con la obstrucción de los pozos. Ahora bien, los reactores biológicos de membranas o MBR permiten obtener un agua de calidad extraordinaria gracias a las membranas de micro o ultrafiltración (UF) de que disponen. Son aguas depuradas con bajos niveles de sólidos en suspensión, sin bacterias y prácticamente sin virus, y también con unos niveles de nitratos bajos. La tabla adjunta compara la calidad de las aguas depuradas con reactores de membranas con las de una depuración secundaria normal.

En principio, pues, pudiera ser viable una reinyección directa después la depuración, si las condiciones hidrogeológicas fueran adecuadas. Sería un tema investigar.

### La reutilización y la reinyección

Los proyectos de reutilización de aguas residuales existentes emplean generalmente el agua tratada en regadíos. La demanda es, por tanto, estacional. En muchos casos, los proyectos van acompañados de una desalación por ósmosis inversa o por electrodiálisis reversible. Esta última es útil sobre todo cuando hay problemas de turbidez y sólidos en suspensión.

La reinyección del agua depurada después de un reactor de membranas posibilitaría el almacenamiento del agua en invierno y su reutilización en verano. La desalación seguiría siendo necesaria, evidentemente, aunque puede que mejore la calidad microbiológica por una "geopurificación" natural del agua.

Así pues, en los programas de reutilización, la reinyección podría ser un elemento nuevo a considerar atendiendo a que consigue un efecto regulador además de beneficios paralelos como son la prevención de la intrusión marina; la restauración de los niveles freáticos; el almacenamiento del agua y la extracción equilibrada; la mejora de la calidad del agua y la flexibilidad en la gestión del acuífero. El esquema de la Figura 2 ilustra el papel de la reinyección en los programas de reutilización.

El rendimiento de los reactores de membranas es clave para el funcionamiento de la reinyección y, consecuentemente, de todo el proyecto. En este sentido el Centro Tecnológico del Agua ([www.tzw.de](http://www.tzw.de)) de la Asociación Alemana del Gas y del Agua ([www.dvgw.de](http://www.dvgw.de)) ha comenzado el pasado mes de enero en el valle del Jordán un importante proyecto de investigación con la colaboración de la firma Huber, con el objetivo de definir los puntos críticos del sistema y las condiciones mínimas que se requieren.

### Conclusiones

Como resultado a este breve repaso sobre las posibilidades de reinyección de las aguas depuradas para la recuperación de acuíferos degradados y el aprovechamiento en los programas de reutilización, cabe decir que es evidente que la viabilidad de un proyecto de este tipo requiere de un estudio caso por caso, con el fin de analizar todos los factores que intervienen, tanto desde el punto de vista técnico, como ambiental y económico. Sin embargo, los avances en la depuración con membranas parecen haber abierto nuevas posibilidades que requieren consideración. La investigación sobre estos temas va a ser, por tanto, un área de interés creciente en los próximos años.

### Referencias

- [1] Groundwater Recharge, USDA, Soil Conservation Service, Eng. Div. Technical Release 36, Geology, June 1967.
- [2] Pyne, R. David G. Groundwater recharge and wells: A guide to aquifer storage recovery. 1995, CRC Press, Inc. ISBN 1-56670-097-3.
- [3] Kaledhonkar, M.J. et al. Artificial Groundwater Recharge through Recharge Tube Well: A case study. IE(I) Journal-AG, Vol-83, June 2003.
- [4] Li, Q et al. Feasibility of recharging reclaimed wastewater to the coastal aquifers of Perth, Western Australia. Process Safety and Environmental Protection, 84(B4), 237-246.
- [5] Roque, F. Experiencias prácticas con la reinyección de aguas depuradas en el Sur de Gran Canaria, Elmasa, (comunicación personal).
- [6] Griggs E.M.; Kump L.R.1; Bohlke J.K. The fate of wastewater-derived nitrate in the subsurface of the Florida Keys: Key Colony Beach, Florida. Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 58, Nr 3, Nov. 2003, pp. 517-539(23), Elsevier.

\* Manuel Hernández Suárez es director de la Fundación Centro Canario del Agua ([mhs@fcc.a.es](mailto:mhs@fcc.a.es)).

Además del apoyo del Gobierno de Canarias y los 7 Consejos Insulares de Aguas, la Fundación Centro Canario del Agua cuenta con el patrocinio de 34 empresas y profesionales del agua. Para más información, entrar en [www.fcca.es](http://www.fcca.es)

## Regeneración de resinas de intercambio iónico con salmueras de desaladoras: una idea a investigar

La FCCA y la Cátedra de Ingeniería Química de la Universidad de La Laguna han llegado a un acuerdo para colaborar en la realización de trabajos de fin de carrera en temas de aguas. De momento se ha acordado colaborar en tres proyectos concretos: regeneración de resinas de intercambio iónico con salmueras de desaladoras, técnicas de ablandamiento de las aguas muy duras y precipitación de fluoruros.

Las resinas de intercambio iónico se utilizan con frecuencia, tanto a nivel doméstico como industrial, para quitarle la dureza al agua. Esto es, las resinas que absorben el Ca y el Mg y a cambio ceden Na, tienen una gran durabilidad. Pueden funcionar sin problemas hasta 50 años. Sin embargo, este proceso de ablandamiento conlleva un problema a la hora de regenerar las resinas ya que requiere limpieza primero y luego un lavado con salmueras de cloruro sódico de altas concentraciones ( $\approx 3$  mol/L). Esto acarrea problemas de vertidos salinos en zonas industriales.

La posibilidad de regenerar las resinas con salmueras de las desaladoras de agua de mar (salinidad  $\approx 1$  mol/L) podría ser una solución interesante medioambientalmente hablando ya que los vertidos de salmuera de la desaladora no se verían afectados al ser un caudal pequeño respecto al de la desaladora. Por otro lado, desde el punto de vista económico, pudiera ser una forma de revalorizar la salmuera y de concentrar la actividad de regeneración de resinas en un punto.

En línea con esta nuevo acuerdo de colaboración se han realizado trabajos preliminares para estudiar la reducción de la concentración de fluoruros por medio de precipitación de fluoruro cálcico en lechos de calcita. Los resultados iniciales han sido positivos y se ha acordado la instalación de una planta piloto.

## A quite revolution in the remineralization market Upflow limestone contactors of constant height becoming a standard

The demand for the Canary Islands Water Center patented equipment for upflow limestone contactors of constant height has increased substantially in recent months. A total of 27 installations are either at operation or under construction. It reflects the tendency in the desalination market to provide potable water quality directly as plant output. Improvements in the design of the plants and the use of new manufacturing techniques for the internal plastic parts have reduced costs substantially, thus making it more competitive against the traditional  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  techniques. The new plants incorporate also a recovery loop of turbid water generated during sponging of the beds, thus making it more reliable for long term operation and opening new grounds for using lower quality limestone.

Year	Nr. of installations	Total m <sup>3</sup> /d
2003	2	1.000
2004	5	5.720
2005	3	22.096
2006	9	403.246
2007*	9	330.800

\* Up to March 2007



Courtesy of ACCIONA Agua



Courtesy of ACCIONA Agua



Courtesy of UTE IDAM Alcanite II

## Sistema de tuberías para el reparto uniforme y simultáneo de agua y aire: una nueva idea para pisos filtrantes más económicos

Viene de la página 1

mismas, dado que el diámetro de los orificios situados en la parte superior del tubo son insuficiente para dejar salir todo el aire que entra en la tubería. El grosor de estas cámaras de aire aumenta hasta llegar a los orificios de mediano tamaño situados aproximadamente a la mitad de las tuberías. De esta forma se generan unas cámaras de aire a lo largo de las tuberías horizontales que ocupan aproximadamente la mitad superior de las tuberías. El

aire pasa entonces a distribuirse por igual por toda la superficie filtrante.

Al parar la inyección de aire y volver a hacer circular solo agua a través del sistema, el aire acumulado en la parte alta del distribuidor se ve presionado y va saliendo del distribuidor a través de los orificios superiores de las tuberías insertadas hasta que el distribuidor vuelve a quedar completamente lleno de agua y libre de aire. Lo mismo ocurre en las tuberías de reparto horizontales donde los orificios supe-

riores permiten la salida de todo el aire atrapado en ellas.

Para la distribución de aire y agua de forma conjunta se unen los dos procesos descritos sin que interfieran el uno con el otro, dado que el aire discurre por la parte superior de los tubos, mientras que el agua circula por la parte inferior. El diseño de este piso filtrante, patentado por la FCCA, se basa en ensayos piloto realizados en su laboratorio de Arinaga, Gran Canaria.