
LA TECNOLOGÍA DE PANTALLAS REACTIVAS PERMEABLES

MARTÍ MATA, Manuel

Ingeniero Civil. Jefe de Proyectos. División de Protección Ambiental de Suelos. Geotecnia y Cimientos S.A.

RESUMEN

La tecnología de las pantallas reactivas permeables es una de las técnicas de reciente aplicación para el tratamiento de las aguas subterráneas contaminadas. Se trata de un sistema de remediación pasivo de protección a los posibles receptores de una pluma de contaminación.

Es aplicable para el tratamiento de la mayoría de los contaminantes presentes en cualquier emplazamiento. La pantalla reactiva consiste en emplazar en el acuífero un medio reactivo a través del cual circulan los contaminantes. La configuración típica presenta dos versiones: pantalla continua y pantalla puerta-embudo. La construcción de la pantalla se realiza mediante técnicas convencionales u otros métodos, en función de la profundidad a la que es necesaria implantar el medio reactivo.

Destaca en esta tecnología la ausencia de prácticamente la mayoría de los costes de operación y mantenimiento, ya que una vez instalada, sólo es necesario mantener un control sobre las aguas subterráneas aguas abajo de la pantalla.

PALABRAS CLAVE: Pantallas reactivas permeables, tratamiento pasivo de aguas subterráneas contaminadas.

INTRODUCCIÓN

En este artículo se pretende introducir brevemente una tecnología de reciente aplicación para el tratamiento de contaminantes disueltos en las aguas subterráneas. Se trata de las pantallas permeables reactivas, un sistema pasivo de remediación de acuíferos y de protección a receptores situados aguas abajo de emplazamientos contaminados.

Las pantallas reactivas consisten en emplazar en el subsuelo un medio reactivo a través del cual circula el agua subterránea contaminada. Presenta dos configuraciones típicas: pantalla continua, donde toda la pantalla contiene medio reactivo, y pantalla puerta-embudo, que comprende secciones impermeables (embudo) y una zona de tratamiento (puerta). El medio reactivo es la zona donde se produce la descontaminación de las aguas subterráneas, mediante procesos químicos, físicos y biológicos. Se trata de una tecnología pasiva, ya que el agua subterránea fluye gracias a su propio gradiente hidráulico, sin influencias externas de bombeos.

Las primeras pantallas reactivas comenzaron a instalarse en los Estados Unidos, Canadá y Europa a mediados de los años 90. Se trata, por tanto, de una tecnología de aplicación reciente.

APLICABILIDAD

Esta tecnología es aplicable a la mayoría de los contaminantes presentes en las aguas subterráneas, ya que en función de la contaminación detectada se puede elegir el tipo de medio reactivo a utilizar para su tratamiento.

En la siguiente tabla se reflejan los diferentes contaminantes que se pueden tratar, y el tipo de medio reactivo necesario:

CONTAMINANTE	TIPO DE MATERIAL REACTIVO
Metales pesados Radionucleidos Nitratos	Turba
	Oxidrido férrico
	Bentonita
	Zeolitos
	Hidroxisilita
	Hierro valencia cero
	Ditionita
	Caliza
	Semines
	Hierro valencia cero
DCE, TCE, PCE BTEX Nitrobenceno DCA, TCA	Microorganismos
	ORC
	Ditionita
	Zeolitos
	Silicatos
	Organobentonitas

Tabla 1. Contaminante y tipo de material reactivo aplicable.

El medio reactivo de mayor utilización y mejor estudiado es el hierro de Valencia cero (Fe), al ser uno de los medios reactivos mas versátiles, además de ser relativamente económico. A continuación se señalan los contaminantes que no son susceptibles de tratamiento por el hierro de valencia cero:

Diclorometano, 1,2 dicloroetano, cloroetano, clorometano, clorobencenos, clorofenoles, ciertos pesticidas, PCB's, mercurio, cloruros, perclorato.

El medio reactivo utilizado provoca cambios en la geoquímica del acuífero, modificando el pH, la conductividad, el potencial redox, cationes, aniones, etc., como parte de los procesos de tratamiento. La elección del material reactivo deberá considerar estos cambios.

Las pantallas reactivas son aplicables en aquellos emplazamientos donde, o bien las aguas subterráneas presentan concentraciones de contaminantes muy bajas, o bien las tecnologías convencionales de bombeo y tratamiento en superficie han agotado su capacidad de disminuir la concentración de los contaminantes.

En la tabla siguiente se muestra la tipología de la contaminación en algunos de los emplazamientos donde han sido instaladas pantallas reactivas:

FECHA	TIPO PANTALLA	MATERIAL REACTIVO	CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN (mg/l)
1995	Puerta embudo	Fe (0)	VC	0,5
			C-DCE	1,4
			TCE	0,2
1995	Continua	Fe (0)	C-DCE	2
1995	Reactor	Fe (0)	TCE	300
1996	Puerta embudo	Fe (0)	TCE	0,4
1995	Continua	Fe (0)	TCE	10
			Cr VI	10
1996	Puerta embudo	Fe (0)	TCE	0,7
			DCE	0,7
			VC	0,015

Tabla 2. Pantallas reactivas instaladas y contaminantes tratados.

El medio reactivo utilizado en las pantallas reactivas sufre procesos de degradación, como puede ser la formación de precipitados que coagulen los poros y que inutilicen la pantalla en el futuro. Debido a la reciente aplicación de esta técnica, se trata de un área que requiere mayor investigación.

CARACTERIZACIÓN

Como parte de los pasos previos al diseño de la pantalla reactiva, es necesario proceder a la caracterización hidrogeológica del emplazamiento y la caracterización de la distribución de la contaminación.

Es necesario establecer las dimensiones espaciales y la distribución de la contaminación. Para ello se deberá proceder a la realización de catas, sondeos piezométricos, etc., en suficiente número para definir la distribución tridimensional de la contaminación.

En segundo lugar, es necesaria la caracterización hidrogeológica del emplazamiento. Se determina la piezometría en las diferentes épocas del año, las vías preferenciales de flujo subterráneo, las capas permeables e impermeables del acuífero, el grado de confinamiento, etc. Otra de las áreas a investigar es la geoquímica del emplazamiento, determinando las concentraciones de cationes y aniones susceptibles de precipitarse, el pH, conductividad, potencial redox, etc.

La caracterización de la población bacteriana podrá determinar la mejora del tratamiento de los contaminantes o la pérdida de efectividad de la pantalla. Este es un campo donde una mayor investigación es absolutamente necesaria.

La determinación de los niveles de contaminantes a alcanzar aguas abajo de la pantalla reactiva podrá realizarse sobre la base de normativas aplicables o mediante la realización de un análisis cuantitativo de riesgos donde, en función de los usos del suelo y de las aguas subterráneas y de la situación de los receptores, se definen las concentraciones de contaminantes susceptibles de generar situaciones de riesgo.

ENSAYOS PREVIOS

Una vez definidos el tipo de contaminación que se encuentra en el emplazamiento y el medio reactivo apropiado, se realizan ensayos de laboratorio destinados a la consecución del parámetro que condiciona el rendimiento de la pantalla, su espesor.

Para ellos normalmente se suelen realizar ensayos tipo batch y ensayos de columnas. Los ensayos tipo batch son más sencillos que las columnas, aunque no tan precisos. En general, se recomienda la utilización de ensayos de columnas. En estos ensayos se deberán incluir en la metodología todos los subproductos de la degradación de contaminantes. El espesor determinado será aquel que permita el tratamiento de los contaminantes detectados y de sus subproductos hasta niveles fuera de riesgo.

DISEÑO

Una vez realizados los ensayos de laboratorio y las caracterizaciones del emplazamiento ya mencionadas, se puede proceder al diseño de la pantalla reactiva, ya que se conoce tanto la distribución de la contaminación como el espesor mínimo de la pantalla. El uso de modelos hidrogeológicos es recomendado para determinar la configuración final de la pantalla.

Normalmente, la pantalla reactiva presenta dos configuraciones típicas: pantalla continua o pantalla funnel and gate (puerta embudo).

Pantalla continua

En esta configuración la pantalla presenta material reactivo en toda su longitud. La pantalla se localiza perpendicular a la dirección de la pluma contaminante, y su longitud se determina en función de la anchura de la pluma contaminante. El espesor de la pantalla está determinado por el tiempo necesario para la degradación de los contaminantes hasta niveles fuera de riesgo aguas abajo de la pantalla.

Funnel and gate

En este diseño, la pantalla reactiva está formada por una o dos secciones impermeables (funnel), que canalizan la pluma contaminante hacia la zona de tratamiento repleta de material reactivo (gate).

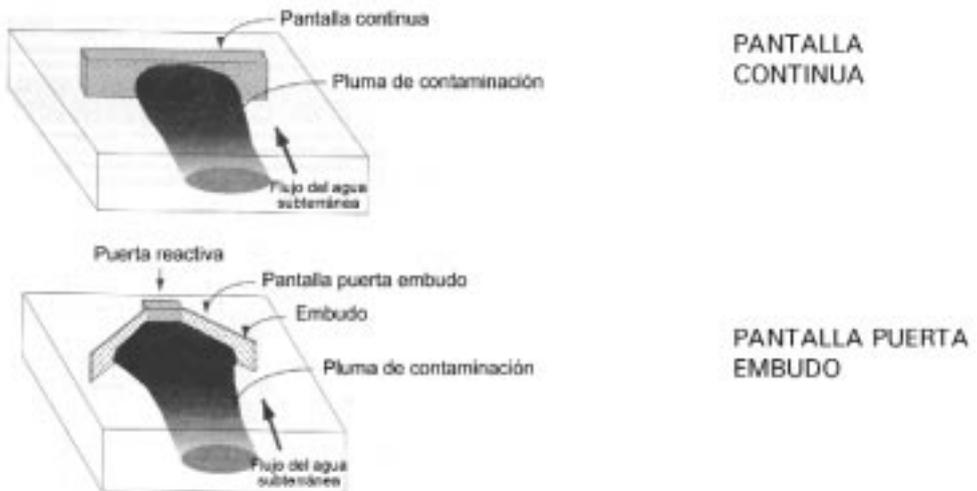


Figura 1. Configuración de pantallas reactivas.

En ambas configuraciones, la situación ideal es empotrar la pantalla en una capa impermeable del sistema acuifero, siempre y cuando se consiga de esta forma el tratamiento de la pluma contaminante en profundidad. El empotramiento en la sección impermeable del acuifero evita que el contaminante fluya bajo la pantalla.

En caso de tener que colgar la pantalla, se determina mediante modelos hidrogeológicos la profundidad de pantalla necesaria para evitar el ya comentado flujo de contaminantes bajo la zona de tratamiento.

Es necesario igualmente la consideración de la permeabilidad del material reactivo y de las formaciones del acuífero. La permeabilidad del medio reactivo deberá ser mayor que la de los materiales del acuífero, ya que en caso contrario los contaminantes no entrarían en contacto con el medio reactivo al encontrar otra vía preferencial de flujo.

CONSTRUCCIÓN

Las técnicas para la construcción de las pantallas son varias y diversas. La elección de la más adecuada para cada caso se deberá realizar en función de la profundidad de la pantalla, de la litología de los materiales, y del coste asociado.

Uno de los factores más importantes a la hora de la implementación final de la pantalla reactiva, es que el espesor final de la pantalla puede verse condicionado por la técnica constructiva, por lo que al menos se deberán establecer controles para asegurar que el espesor final sea al menos el diseñado.

Excavación convencional

La excavación convencional consiste en la utilización de retroexcavadoras, apantalladoras convencionales, etc. En algunos casos la profundidad máxima puede llegar a alcanzar los 20 m. Como métodos de sujeción de las paredes de la excavación, se pueden utilizar paredes estructurales, o lodos, que deberán ser polímeros biodegradables.

Zanjadoras

Se trata de un tipo de maquinaria muy adecuado para la construcción de pantallas de poca profundidad. La técnica consiste en la excavación y relleno de la zanja mediante la misma máquina, por lo que se consiguen ritmos de excavación muy destacados.

Tremie Tube/Mandrel

Consiste en la introducción de un tubo hueco de punta perdida que una vez alcanzada la profundidad deseada (hasta 15 m) se rellena del material deseado. Posteriormente el tubo se retira quedando la punta y el material de relleno instalado en el subsuelo.

Otros métodos

Dentro de los otros métodos de construcción se encuentran el Deep Soil Mixing, Inyecciones a alta Presión, y la Fracturación Hidráulica Vertical. En este tipo de métodos se trata predominantemente la introducción del material reactivo en el subsuelo sin que se realice una excavación o zanja propiamente dicha. En algunos casos, especialmente si es necesario alcanzar grandes profundidades, estos métodos pueden ser los únicos aplicables. Generalmente, suelen ser de un coste mayor que los convencionales.

Finalmente, hay que destacar que la combinación de diferentes técnicas de construcción puede ser efectiva, tanto técnica como económicamente. Es necesario mantener una flexibilidad en el de diseño de la pantalla reactiva y explorar todas las posibilidades existentes.

CONTROL

Una vez implementada y puesta en marcha la pantalla se deben establecer unos parámetros de control para evaluar el rendimiento de la pantalla reactiva.

Control de obra

Para el control de la instalación de la pantalla reactiva se utilizan ensayos geofísicos, ensayos de conductividad, resistencia eléctrica, georadar, etc. El objeto es la determinación exacta de la configuración de la pantalla instalada.

Control de contaminantes

Mediante este tipo de control se evalúa específicamente el rendimiento de la pantalla reactiva respecto al tratamiento de las aguas contaminadas. Como parte de este tipo de control se deberá establecer una red piezométrica, y un plan de muestreo. El plan de muestreo deberá incluir tanto los contaminantes a analizar en el laboratorio como la frecuencia de las labores de muestreo. El muestreo puede ser trimestral durante el primer o segundo año, y semestral a partir de éste.

Otros controles

Dentro de los otros tipos de controles a realizar una vez finalizada la instalación de la pantalla reactiva, se encuentran los parámetros de la calidad general del agua. Dentro de éstos, que se ven afectados por la presencia de la pantalla, se controla la conductividad, el pH, el potencial redox, y los cationes y aniones generales.

Igualmente, se debe controlar el estado del material reactivo, ya que los precipitados que se formen influyen directamente en su capacidad de tratamiento. Los precipitados suelen formarse en la cara aguas arriba, que se corresponde con la zona donde por lo general se adquiere la mayor reducción de contaminantes. Del mismo modo, se debe controlar las poblaciones microbianas existentes.

El muestreo del material reactivo de la pantalla puede permitirnos igualmente la instalación de puntos de control dentro del propio material reactivo, susceptibles de evaluar el rendimiento de tratamiento dentro de la pantalla, lo que puede ser beneficioso para futuros diseños de otras pantallas.

Finalmente, el control de las emisiones gaseosas del interior de la pantalla debe ser controlado, puesto que pueden alcanzar niveles de explosividad perjudiciales. Por ejemplo, durante el tratamiento de disolventes clorados mediante el hierro de Valencia cero se genera hidrógeno, que debe ser evacuado mediante la instalación de chimeneas u otros dispositivos.

COSTES

Los costes de la instalación de pantallas reactivas se limitan básicamente a la construcción de la pantalla reactiva y el coste del material de relleno. En comparación con las técnicas de tratamiento del agua subterránea contaminada convencionales (pump & treat) presenta un mayor coste de construcción, pero no presenta coste alguno de operación ni mantenimiento, al tratarse de un sistema de remediación pasivo. Esta situación permite a la tecnología de pantallas reactivas ser muy atractiva para largos periodos de tratamiento. La relación de costes acumulados de la pantalla reactiva respecto a la tecnología de bombeo y tratamiento se muestra en el siguiente gráfico.

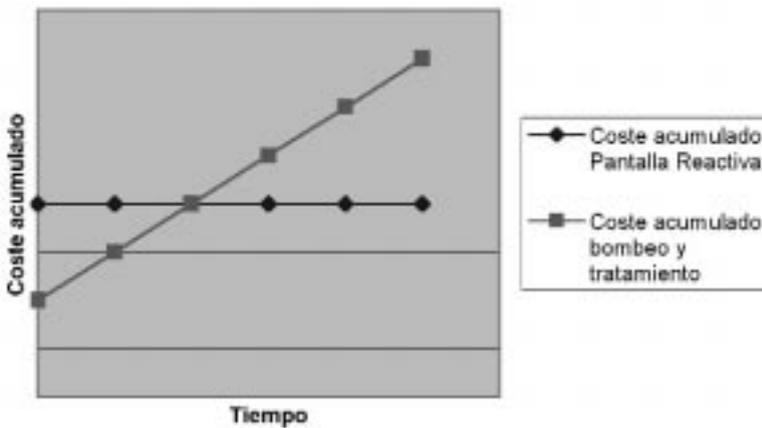


Figura 2. Comparación costes acumulados

CONCLUSIONES

La tecnología de pantallas reactivas se perfila como una de las tecnologías punteras en el tratamiento de las aguas subterráneas contaminadas. Como se ha comentado en este artículo, el diseño de las pantallas no presenta una complejidad excesiva, si bien es necesario el estudio de las muchas variantes que puede presentar su configuración.

Su principal ventaja radica en la protección de receptores mediante un sistema pasivo de tratamiento que no requiere ningún tipo de coste de operación y mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- California Base Closure Environmental Committee (CBCEC), 1994. Treatment Technologies Applications Matrix for Base Closure Activities, Revision 1, Technology Matching Process Action Team, November, 1994.
- DOE, 1993. Technical Name: Barriers and Post-Closure Monitoring, Technology Information Profile (Rev. 2), DOE Protech Database, TTP No. AL-1211-25.
- DOE, 1994. Technology Catalogue, First Edition. February.
- Federal Remediation Technologies Roundtable, 1998. Remediation Case Studies: Innovative Groundwater Treatment Technologies, EPA/542/R-98/015.
- Hansen, W., et al., 1992. "Barriers and Post-Closure Monitoring", Briefing Chart, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, TTP No. AL-1212-25.
- Vidic, R.D. and F.G. Pohland. "Technology Evaluation Report: Treatment Walls", GWRTAC Series TE-96-01.
- Treatment Walls. Technology Evaluation Report. Groundwater Remediation Technologies Analysis Center. NETAC 1996.
- An In situ Permeable Reactive Barrier for the Treatment of Hexavalent Chromium and Trichloroethylene in Ground Water. U.S. Environmental Protection Agency. EPA/600/R-99/095a y 095b. 1999.
- Practical guide for Groundwater Sampling. Barcelona M.J., J.P. Gibb, J.A.Helfrich and E.E. Garske. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory. 1985.