

Conoce las AGUAS SUBTERRÁNEAS



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

INYECCIÓN MEDIANTE SONDEOS PROFUNDOS. PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

CONCEPTO DE INYECCIÓN PROFUNDA. CONDICIONES PARA SU APLICACIÓN

El método ideal de eliminación sería aquel que utilizara un espacio infinito y mantuviera al residuo eternamente separado del medio ambiente. Aparte de soluciones de eliminación que sólo pueden figurar en novelas de ciencia ficción, lo que más se aproxima a este concepto es el espacio subterráneo.

Se define el espacio subterráneo natural como el volumen de poros y fracturas naturales que, interconectados en el subsuelo, son aptos para recibir líquidos exteriores.

Para que sea posible una operación de Inyección Profunda es necesario que se cumplan cuatro condiciones que son necesarias y suficientes, es decir, la inyección es posible, si y sólo si:

- * Existe una formación permeable capaz de recibir el residuo.
- * Existe una formación impermeable que cubre a la formación de inyección y mantiene el residuo separado del medio ambiente el tiempo que se considere necesario.
- * Las características de ambas formaciones no cambian con la inyección.
- * Con la inyección no se hipotecan recursos más importantes.

Una vez comprobado adecuadamente el cumplimiento de estas cuatro condiciones se puede dictaminar que la ope-

ración de inyección es el método de eliminación más seguro frente al medio ambiente y, altamente competitivo en cuanto a

sus costes. Muy indicativo es el hecho de que formaciones geológicas del tipo de las que se emplean para la eliminación de residuos, contienen gas o petróleo, durante millones de años.

En parecidas condiciones, ¿Porqué no habrían de retener de igual forma un residuo?. Dada la naturaleza del espacio a ocupar, en la roca receptora, se entiende que este método sólo será aplicable a residuos líquidos y gaseosos, con un limitado contenido en sólidos.

PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La cuarta condición implica que es condición necesaria asegurar la protección de las aguas subterráneas, entre otros recursos del subsuelo. En lo que sigue se comentarán sólo aquellos aspectos de una operación de ISP con incidencia exclusiva en la protección de las aguas subterráneas, con independencia de los diferentes factores y estudios que una operación de este tipo requiere.

La protección se perseguirá durante las cuatro etapas de una operación de inyección:

- * Fase de estudio
- * Fase de ejecución
- * Fase de operación
- * Fase de abandono

* FASE DE ESTUDIO:

Una vez planteada la posibilidad de gestionar un residuo determinado mediante Inyección Profunda, el proyecto correspondiente debe estar enfocado a demostrar el cumplimiento de las condiciones necesarias y suficientes para su aplicabilidad, además de proyectar la operación y los requisitos que demandan las diferentes leyes que la regulan.

Dado que el medio que tratamos es el subsuelo profundo, la metodología de estudio y las técnicas empleadas son las propias de este tipo de trabajos.

Conoce las Aguas Subterráneas son boletines publicados por el Instituto Tecnológico Geominero de España mediante los cuales se pretende hacer accesibles a los técnicos no especializados y a otras personas interesadas, temas de actualidad relacionados con las aguas subterráneas.

Durante la fase de toma de datos y estudio de una operación de inyección determinada se deben realizar los estudios geológicos e hidrogeológicos necesarios para el conocimiento de las aguas subterráneas en la zona, con el fin de asegurar el grado de confinamiento a que debe estar sometido un residuo determinado y que será función de su tiempo de degradación hasta la inocuidad.

La **RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN** debe recoger todos los trabajos geológicos, geofísicos e hidrogeológicos que se consideren de interés, con especial atención a los datos generados por la investigación de hidrocarburos.

A la vista de la geología regional se pueden plantear los posibles modelos de inyección lo que, unido al planteamiento del problema específico de gestión, nos indicará si, a priori, es factible una operación de inyección y sus posibles ubicaciones.

A continuación hay que realizar **ESTUDIOS DE DETALLE** reinterpretando todos los datos recogidos, con la vista puesta en la validación del modelo de inyección propuesto. Se deben definir así mismo las condiciones hidrogeológicas del entorno, evaluando las posibles incidencias en las mismas.

Caso de no disponer de información suficiente, ya sea por no existir o por no estar accesible, será necesario realizar una **INVESTIGACIÓN COMPLEMENTARIA** que puede consistir en estudios geofísicos, estudios hidrogeológicos o, incluso, la realización de sondeos de investigación.

*** FASE DE EJECUCIÓN:**

Un buen hacer en la construcción del sistema de inyección-control, así como un correcto control, tanto de las diversas etapas de ejecución como de su acabado según lo indicado por el proyecto, es imprescindible, no solo para la calidad de la operación de inyección en sí sino para la protección de las aguas subterráneas que debe garantizar el sistema.

Sondeo de inyección, características constructivas

El instrumento disponible para efectuar la introducción del residuo en la formación de inyección es el sondeo y, dado que uno de los objetivos que debe cumplir un sondeo de inyección es la protección de los recursos de agua potable que encuentra en su camino hasta la formación objetivo, su construcción presenta ciertas particularidades respecto a sondeos perforados con otros fines.

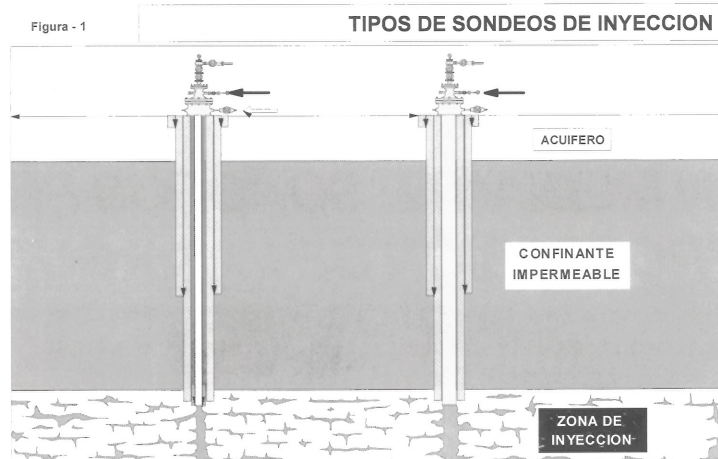
En la figura 1 se representan los dos tipos de sondeos utilizados.

Características comunes son las entubaciones y cementaciones telescópicas, de forma que cada acuífero

atravesado debe ser entubado y cementado independientemente con el fin de asegurar su estanqueidad.

La diferencia entre ambos consiste en que el primero

incluye una tubería más, la de inyección propiamente dicha, quedando un espacio anular entre la última entubación y ésta. Este espacio, cerrado en su parte inferior mediante un "packer", se rellena de un aceite inerte, mantenido a mayor presión que la de inyección. Cualquier fisura que se produzca en la tubería de inyección es inmediatamente detectada por la caída en la presión del aceite, el cual impide además, la salida del residuo al estar a mayor presión que éste.



Por una parte, éste sistema, empleado normalmente para residuos altamente agresivos, ofrece mayor seguridad pero tiene el inconveniente de introducir una complicación en el sistema, el "packer", punto débil que sufre todas las tensiones provocadas por dilataciones y presiones, lo que provoca que deba ser cambiado con cierta frecuencia. Todo ello hace que este sistema se deba restringir a aquellos casos en que se estime imprescindible.

Otra posible solución, en ciertos casos, si el residuo es corrosivo es la utilización de entubaciones de acero inoxidable o tuberías epoxídicas.

Ejecución del sondeo

Durante la ejecución de los sondeos del sistema inyección control deben tomarse las debidas precauciones para evitar el vertido de agua, generalmente con altos contenidos de sal, sobre acuíferos superficiales si los hubiese.

La protección consiste generalmente en aprovechar la construcción de la plataforma de perforación, dándola una superficie suficiente y terminando sus lados en un reborde elevado.

Con estas medidas debe bastar para recoger las pequeñas cantidades de agua salada o fluidos de perforación que pudieran verterse sobre la superficie. Además, en casos que haya que extremar las medidas de protección, pueden añadirse cuatro sondeos de control, uno en cada esquina de la plataforma (figura 2).

La ejecución de las cementaciones debe ser extremadamente rigurosa pues nos proporcionan la estanqueidad necesaria. Además hay que tener en cuenta que la zona de cementación y su contacto con el impermeable es la que sufre mayor esfuerzo debido a la distribución de la presión durante la inyección.

Finalizada la cementación se deben realizar pruebas de presión, incluso registros de integridad de entubaciones y

cementaciones, si se estima necesario. Las pruebas de presión consisten en someter a la tubería, cerrada mediante un obturador a una presión tres veces superior a la nominal a que se vaya a efectuar la inyección.

Sistema de Control

Son necesarios sondeos de control por encima de la zona de inyección, próxima al sondeo. Mediante ellos se verificará la ausencia de movimientos de fluidos en las zonas adyacentes al sondeo, y la eficacia confinante a largo plazo de la cobertura del almacén (figura 2). Deberían disponerse, también otros sondeos que afecten al almacén y a los niveles superiores, situados a una distancia variable del sondeo de inyección, con el fin de tener un control regional.

Existen dos tipos de diseño clásicos, tanto para vigilancia regional como para la zona adyacente al sondeo de inyección. El primero es el conocido como "cluster", consiste en dos o más tubos de diferentes longitudes, emplazados dentro de un único sondeo, para controlar dos o más zonas discretas de forma independiente. El segundo de ellos es el tipo "multihorizonte", que controla dos o más zonas discretas, pero de forma conjunta, sin aislar cada uno de los niveles.

La perforación y cementación de los sondeos de control y seguimiento ha de realizarse con similares requerimientos a los indicados para los sondeos de inyección. La elección de tuberías debe responder también a criterios similares. Asimismo, puede ser necesario, en algunos casos, la construcción de un sondeo piloto de exploración, para testificación y otros propósitos.

* FASE DE OPERACIÓN:

Es necesario el estricto seguimiento del manual de operaciones y un adecuado sistema de control de la operación y su seguimiento por los organismos competentes, unido a la revisión sistemática que se estime necesaria de los diferentes elementos que componen el sistema de inyección-control.

A continuación se describen únicamente aquellos parámetros que tienen incidencia en la protección de las aguas subterráneas.

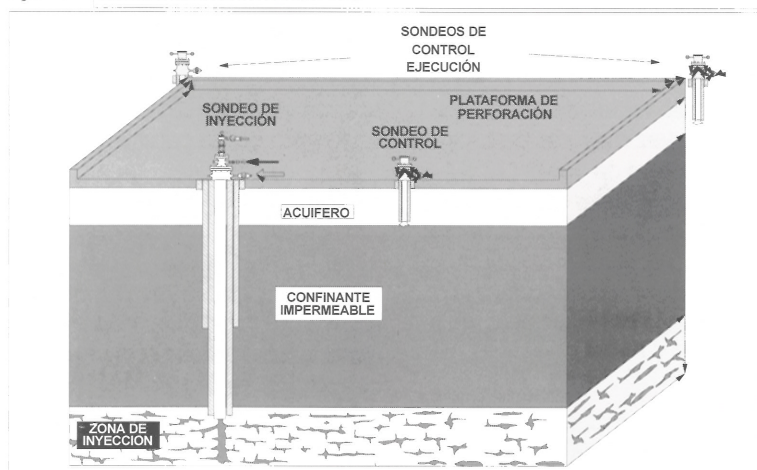
Efectos de la presión

Generalmente, la inyección de residuos requiere la aplicación de una presión superior a la natural del fluido contenido en la formación.

La distribución de presiones, dentro de la formación, durante la operación, presenta su valor máximo en el sondeo y

decrece al alejarse de él radialmente, de forma casi proporcional a la distancia.

Figura - 2 SISTEMA DE INYECCION-CONTROL



El exceso de presión necesario y su área de influencia dependen de las características de la formación receptora, de los fluidos nativos, de la cantidad de residuos inyectada y del tiempo necesario para la inyección. El empleo de presiones excesivas puede conducir a la fracturación hidráulica de la formación permeable, o a la migración de residuos hacia niveles más superficiales, a través del entorno más próximo del sondeo de inyección. Para una operación de inyección segura ha de conocerse cuál es la mayor presión de inyección admisible.

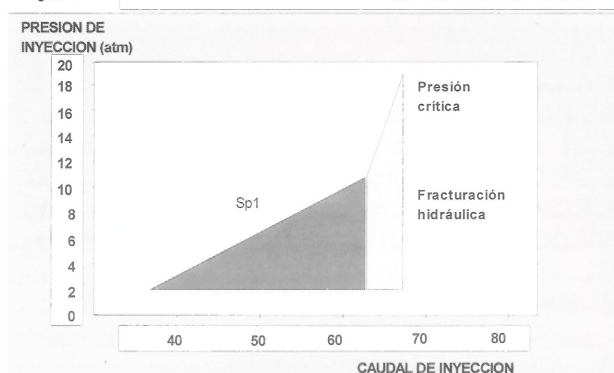
El control permanente de esta variable es imprescindible. De acuerdo con Donalson (1979) (figura 3), el índice de inyectividad es un excelente indicador del comportamiento del sondeo.

Se define el índice de inyectividad, como la variación del caudal inyectado en función de la presión de inyección, por unidad de espesor de la formación. En una representación cartesiana de los caudales inyectados, frente a las presiones empleadas, su valor corresponde con el de la pendiente de la recta obtenida.

Este índice es característico de cada sondeo, y permanece constante mientras no cambien la porosidad y permeabilidad de la formación, o el radio de influencia del sondeo. Un aumento brusco, como el indicado en la figura, supone un

Figura - 3

INDICE DE INYECTIVIDAD



aumento del radio de influencia del sondeo, a causa de una fractura inducida hidráulicamente. Un descenso progresivo de pendiente indica una pérdida de porosidad y permeabilidad en la formación inyectada, generalmente por colmatación. Asimismo, la evolución del índice de inyectabilidad puede revelar daños en el sondeo, drenaje del residuo hacia otros niveles, u otras deficiencias surgidas durante la operación.

En todo proyecto de inyección de residuos debe realizarse una previsión de la presión a que puede producirse fracturación hidráulica o movimientos por fractura. Para ello es necesaria una estimación del estado de esfuerzos al que está sometida la formación a la profundidad a la que va a inyectarse.

En las series sedimentarias el esfuerzo máximo, en dirección vertical, aumenta con la profundidad debido a la carga creciente que suponen espesores cada vez mayores de roca y fluido. El valor promedio de este aumento es de 1psi/ft (22,6 kPA/m). Los esfuerzos laterales dependen de las condiciones geológicas existentes, pudiendo superar al vertical en zonas de compresiones tectónicas activas. Su evaluación se realiza a partir de datos sobre fracturación hidráulica, procedentes de otros sondeos, o en base al conocimiento existente de la tectónica regional.

Control

El método de vigilancia variará, de un sistema a otro, de acuerdo con el tipo de fluido que se inyecte, la hidrogeología del lugar y el tipo de instalación del cual el sistema de inyección forma parte (industrial, municipal, etc.). No obstante, hay una serie de normas y datos a controlar, que son prácticamente comunes para todos los sistemas ya que son los que aseguran la protección de las aguas subterráneas, y que se resumen a continuación:

- Caudal que se inyecta
- Presión en la cabeza de inyección o presión de inyección en el pozo
- Presión del acuífero o acuíferos vecinos a la formación receptora, y que puedan ser afectados por la inyección.

La vigilancia de estos tres puntos debe hacerse en forma continua con aparatos registradores, que permitan una comparación de las variaciones de presión con los caudales y

con la presión original, que deberá ser determinada antes del comienzo de la inyección.

Además de dicho control continuo deben verificarse periódicamente las instalaciones, especialmente en lo referente a integridad de tuberías y cementaciones, según los programas establecidos en el manual de operaciones. Los períodos de realización de estos ensayos estarán marcados por los organismos competentes de la Administración y deberán preverse en función de las características del residuo inyectado.

* FASE DE ABANDONO:

Tras finalizar la operación de inyección, los sondeos han de prepararse para desarrollar el programa de vigilancia final previsto. Una vez concluidas totalmente las labores de control, tanto estos sondeos como los que no fueron utilizados con este fin se taponan definitivamente. El sellado ha de ser tal que no permita que el movimiento de fluidos hacia las aguas subterráneas, ni la conexión de acuíferos entre sí.

El taponado se realiza normalmente mediante cemento, pero es posible utilizar otros materiales siempre que sean capaces de aportar el cierre necesario. El método de colocación del material de cierre debe ofrecer totales garantías. Algunos de ellos son muy similares a los requeridos por la normativa petrolera de abandono de pozos.

Para el abandono, el sondeo ha de estar en equilibrio estático y con lodo de densidad uniforme a lo largo del mismo. La tubería más interna se cementa cuidadosamente desde el fondo hasta la superficie. Las tuberías anulares pueden dejarse temporalmente abiertas si van a emplearse para la vigilancia del sistema una vez acabada la inyección. Éstas deberán ser selladas con cemento al final de las labores de vigilancia, siguiendo las mismas indicaciones.

SI DESEA MAS INFORMACIÓN SOBRE ESTE U OTROS TEMAS DE INTERÉS RELACIONADOS CON LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS PUDE PONERSE EN CONTACTO CON LA SEDE CENTRAL O LAS OFICINAS DE PROYECTO DEL ITGE.

ALMERÍA: C/ Real, 115-3º A. 04002. Tfno: (951) 25-19-84. Fax: (951) 25-19-84.

GRANADA: Pza/ Neptuno 1-5º Izda. Tfno: (958) 52-12-94. Fax: (958) 52-12-94.

LAS PALMAS: C/ Francisco Gourie, 65-3º, 35002. Tfno: (928) 36-65-75 / 38-10-46. Fax: (928) 36-20-24.

LEÓN: Avda. República Argentina 30, 1º Dcha. 24004. Tfno: (987) 262171/82. Fax: (987) 262183

MADRID (Sede central): C/ Ríos Rosas, 23. 28003. Tfno: (91) 349-57-00. Fax: (91) 349-57-42.

MURCIA: Avda/ Alfonso X el Sabio, 6. 30008. Tfno: (968) 24-50-00 / 24-50-12. Fax: (968) 24-50-00.

OVIEDO: Delegación General del Gobierno. Plaza de España S/N. 33007. Tfno: (98) 525-86-11 / 525-86-56. Fax: (98) 527-67-67.

PALMA DE MALLORCA: C/ Ciudad de Querétaro S/N. Polígono de Levante. 07007. Tfno: (971) 6-70-20 / 46-72-62. Fax: (971) 47-95-17.

SALAMANCA: C/Monroy 35 entreplanta. 37002. Tfno: (923) 25-50-09. Fax (923) 25-50-66.

SANTIAGO DE COMPOSTELA: C/Cardenal Payá 18, 1º. 15703. Tfno: (981) 56-22-85. Fax (981) 57-20-39.

SEVILLA: Delegación General del Gobierno Civil. Torre Norte Plaza España. 41013. Tfno: (95) 423-66-11 / 423-66-77. Fax: (95) 423-67-37.

VALENCIA: C/ Cirilo Amorox, 42 Entresuelo. 46003. Tfno: (96) 394-34-74. Fax: (96) 394-44-36.

ZARAGOZA: C/ Fernando el Católico, 59 4º C. 50006. Tfno: (976) 55-51-53 / 55-52-82. Fax: (976) 55-33-58.