

La inyección profunda en Huelva. Un método muy seguro para la eliminación de residuos líquidos

GERARDO RAMOS GONZALEZ (*)

RESUMEN. Se presentan en este artículo las excelencias de la INYECCION mediante SONDEOS PROFUNDOS, como alternativa de gestión de residuos líquidos, tanto de origen urbano como industrial, incluso peligrosos. La seguridad ambiental de este sistema de eliminación es óptima, si la inyección está correctamente diseñada y operada (el gas y el petróleo ocupan formaciones geológicas de este tipo durante millones de años).

Las posibilidades de aplicación en España son grandes en comparación al resto de los países europeos, dada nuestra geología privilegiada en recursos. En particular, la zona costera de Huelva, entre la capital y Matalascañas y el área de La Zaida (Zaragoza), se presentan como las más idóneas, con capacidad de admisión de grandes cantidades de líquidos y la máxima protección ambiental.

A la primera de ellas se dedican los siguientes párrafos por ser ámbito de graves problemas medioambientales y de gestión de residuos.

La seguridad ambiental no es la única ventaja de este método. Los costos de una operación de inyección profunda son sensiblemente inferiores a cualquier otro método de gestión admisible y esta diferencia es mucho mayor según se complican los problemas causados por el residuo.

DEEP GROUTING IN HUELVA. A SAFE METHOD FOR THE REMOVAL OF LIQUID WASTE

ABSTRACT. This article presents the advantages of DEEP BORING, as an alternative way to dispose of liquid waste, even if it is dangerous waste, of both urban and industrial origin. This disposal system is harmless to the environment, provided that the boring is correctly designed and operated (gas and oil lie in geological formations of this type for millions of years).

Spain is better placed than other European countries for applying this disposal system, because the geology of the country is very varied. The coast of Huelva, especially the stretch between the capital and Matalascañas, and the area of La Zaida (Zaragoza), seem to be the most suitable areas, as they can cope with large quantities of liquid with maximum environmental protection.

The following paragraphs deal with the first of these, because it is a cause of serious environmental problems and waste management.

Environmental safety, is not the only advantage of this method. Deep boring operation are much less costly than any other acceptable management and the cost difference is even greater as the waste disposal problem becomes more complicated.

1. INTRODUCCION

Se presenta en este artículo la Inyección mediante Sondeos Profundos (ISP) y su aplicación en la zona costera de la provincia de Huelva.

En palabras de Mr. Michael B. Cook, Director de la Oficina de Agua Potable en la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos, la ISP es el mejor método de eliminación de residuos, haciendo especial hincapié en la protección que ofrece al medioambiente y a las aguas subterráneas.

El medio ideal para eliminar un residuo sería aquel que lo pudiera contener en cantidades ilimitadas y lo mantuviera indefinidamente separado del medioambiente.

Las estructuras geológicas profundas constituyen la mejor aproximación de que podemos disponer en estos momentos a este concepto. Efectivamente existen formaciones geológicas que pueden almacenar grandes cantidades de líquidos y mantenerlos efectivamente separados del medioambiente durante periodos del orden de los tiempos geológicos.

Desgraciadamente no en todo lugar es factible una operación de ISP, para ello es necesario que se den cuatro condiciones necesarias y suficientes, es decir, la In-

(*) Ingeniero de Minas. Instituto Tecnológico Geomínico de España.



FOTO 1. Cabezal de inyección 500 l/s Florida, EE.UU.

yección mediante Sondeos Profundos es posible si y sólo si:

- Existe una formación permeable capaz de recibir el residuo.
- Esta formación se encuentra confinada por otra impermeable que mantiene el residuo separado del medioambiente el tiempo que estime necesario hasta la inocuidad del residuo.
- La formación confinante no varía sus características de cierre con la operación de inyección.
- La inyección no hipoteca recursos actuales o futuros más importantes.

Una vez comprobado que se dan estas cuatro condiciones, el alto grado de seguridad ambiental es inherente a una operación de inyección correctamente proyectada y ejecutada.

En los Estados Unidos se eliminan por este método el 11 % de los residuos peligrosos (más del 45 hm³/año). La inyección más antigua de un residuo peligroso se inició hace 40 años, mediante un sondeo de 1.400 m que inyecta un caudal continuo de 60 l/s de un residuo con pH 2 a 80 grados de temperatura. El sistema de control

demuestra que el residuo se mantiene en un círculo cuyo centro es el sondeo de inyección y un radio de 800 m.

Espectacular es el caso de la inyección de todas las aguas residuales urbanas del condado de Dade, incluyendo la ciudad de Miami (más de 3,5 m de hab.). En este caso se inyecta, mediante 8 sondeos, a 1.500 m de profundidad, un caudal de 9 m³/s, continuos, desde hace 10 años.

En este artículo se extraen los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas por el Instituto Tecnológico Geominero de España en la zona costera de la provincia de Huelva.

Dicha zona es ámbito de grandes problemas medioambientales no resueltos, como consecuencia de la eliminación de residuos tanto industriales como urbanos.

Los problemas existentes se pueden centrar en los siguientes puntos:

- Residuos urbanos de la ciudad de Huelva.
- Residuos de los polígonos industriales.
- Residuos urbanos de Mazagón.
- Residuos urbanos de Matalascañas.

Siempre nos referimos a residuos líquidos, conteniendo unas cantidades limitadas de sólidos en suspensión. Se pueden incluir los lixiviados de los vertederos de residuos sólidos de tan difícil gestión por otros métodos.

2. METODOLOGIA

La metodología seguida durante la ejecución del proyecto ha ido enfocada en todo momento al establecimiento de un modelo de inyección y a la verificación del cumplimiento por parte de este modelo de las cuatro condiciones necesarias y suficientes para poder ejecutar operaciones de ISP. Se han seguido los siguientes pasos:

- Recopilación de toda la información geológica disponible.
- Planteamiento del modelo de inyección: Estudio detallado de las formaciones calcáreas jurásicas como almacén.
- Selección de las zonas más propicias.
- Definición y caracterización de la formación confinante.
- Caracterización de los residuos generados, con vistas a su inyección. Estudio de compatibilidad.
- Análisis de viabilidad de un sistema de ISP.

3. SELECCION DEL ALMACEN

La propuesta de utilización de las formaciones calcáreas jurásicas (calizas y dolomías) como almacén para la inyección de residuos líquidos industriales y urbanos, se basa en el análisis detallado de las condiciones geológicas de la zona costera de la depresión del Guadalquivir.

Los grandes paquetes de calizas dolomíticas y dolomías muy vacuolares y fracturadas, pertenecientes al Liásico, se encuentran intercalados entre una potente



FOTO 2. Perforación de un sondeo de inyección profunda.

formación de arcillas y margas azules del Mioceno Medio-Superior y los materiales evaporíticos triásicos, de muy baja permeabilidad, constituyendo un modelo muy prometedor para la inyección de residuos.

El valle del Guadalquivir constituye una zona deprimida a modo de fosa tectónica (figura 1), formada hacia el final de la orogénica alpina. El límite Norte de la depresión está constituido por una flexura de más de 400 km de longitud, mediante la cual el zócalo paleozoico y su cobertura mesozoica se hunden suavemente hacia el Sur. El límite Sur tiene una constitución más heterogénea desde el punto de vista geológico-morfológico, complicado por la existencia de fenómenos olistotrómicos que dieron lugar al emplazamiento de materiales de diversa procedencia, especialmente durante el Tortonense Superior.

En el área objeto de estudio, es decir, la provincia de Huelva, y bajo el punto de vista de la ISP, se pueden distinguir las siguientes formaciones geológicas más importantes:

1. Formaciones neógenas postorogénicas.
2. Manto olistotrómico.
3. Cobertura Mesozoica de la Meseta.

3.1. FORMACIONES NEOGENAS POSTOROGENICAS

Estratigráficamente en este relleno hay que distinguir materiales miocenos y pliocuaternarios que, de techo a muro, presentan la siguiente litología:

PLIOCUATERNARIO: Conjunto de limos y arcillas alternantes con gravas, arenas y conglomerados con una potencia total de 50-250 m.

MIOCENO: Hay que distinguir tres unidades diferentes: la superior constituida por un paquete detrítico de are-

nas, areniscas y calcarenitas de 20-30 m de potencia; la intermedia es un potente (500-700 m) paquete de arcillas y margas azules compactas y, finalmente, la inferior, constituida por un detrítico de base, fundamentalmente arenas y conglomerados con una potencia total de 20-50 m.

3.2. MANTOS OLITOSTROMICOS

Es difícil diferenciar una sucesión estratigráfica y litológica, pero, de manera general, se puede asegurar que en las zonas frontales del manto predominan los materiales plásticos (margas y arcillas). El espesor llega a superar los 1.700 m.

3.3. COBERTERA MESOZOICA DE LA MESETA

Existe sobre todo en el área costera, formada por materiales jurásicos y triásicos, se apoya en el zócalo paleozoico. Litológicamente está constituida por los carbonatos predominantes en el jurásico y la serie arcilloso-detrítica-evaporítica del Triásico. Su potencia es muy variable, superando los 1.000 m en el Golfo de Cádiz.

Desde el punto de vista de la ISP, el esquema anterior permite seleccionar como zona de inyección los tramos fracturados y cavernosos de las dolomías jurásicas. El análisis de los datos de sondeos profundos existentes permite asignar a estos tramos una muy elevada permeabilidad y transmisividad, así como identificar el fluido contenido en ellos como agua salada con un contenido en sales superior a 10.000 p.p.m.

Con ello se dan por cumplidas las condiciones primera y cuarta. La formación es capaz de recibir grandes cantidades de flujo, sin hipotecar ningún recurso de agua potable dada la alta salinidad del fluido de la formación.

Como capas confinantes de este almacén se tiene en



FIGURA 1. Columna litológica.

sa parte superior el importante paquete de arcillas y margas azules tortonienses, de 500-700 m de potencia; que hacia el Este se ve incrementado con la presencia de los materiales plásticos del olistostroma, llegando a alcanzar los 2.000 m de potencia. En la parte inferior, los carbonatos jurásicos están limitados por la formación arcilloso-evaporítica del Triás.

Con ello se dan por cumplidas las condiciones segunda y tercera, dada la impermeabilidad, potencia y plasticidad de los materiales confinantes que mantendrán el residuo separado del medioambiente, y dicha desconexión es de gran estabilidad dada la enorme potencia y plasticidad de los materiales que constituyen la capa confinante.

4. ESTUDIO DETALLADO DEL MODELO DE INYECCION

Definido ya el modelo de inyección, se procedió a estudiar en detalle el almacén mediante el análisis de toda la documentación existente y que fundamentalmente consta de sondeos profundos y prospección sísmica.

La documentación de sondeos existentes es muy heterogénea debido especialmente a la antigüedad de los sondeos. No obstante, ha sido posible estudiar para la mayoría de ellos la columna litológica detallada, infor-

me de perforación, diagráffas (calíper, gamma ray, eléctricos, neutrón, etc.) y pruebas de producción, de manera que se han podido definir los siguientes parámetros:

- Potencia de la formación confinante.
- Profundidad del techo Jurásico.
- Zonas de pérdidas en el almacén.
- Salinidad del agua en el almacén.
- Ocasionalmente, datos de porosidad, permeabilidad, presión de la formación, etc.

Con estos datos es posible caracterizar el almacén y proponer las recomendaciones más adecuadas para el planteamiento de las propuestas concretas que se analizarán más adelante.

De la veintena de sondeos analizados, se han seleccionado los más representativos para el estudio del área de interés.

Gran parte de la prospección sísmica realizada en la zona no ha podido ser consultada debido a que los permisos de hidrocarburos se encuentran en plena vigencia. No obstante algunas líneas antiguas y sobre todo los mapas de interpretación han podido ser estudiados, con lo que se han elaborado algunos perfiles interpretativos así como mapas de isopacas e isobatas.

Todos los datos analizados permiten reafirmar las

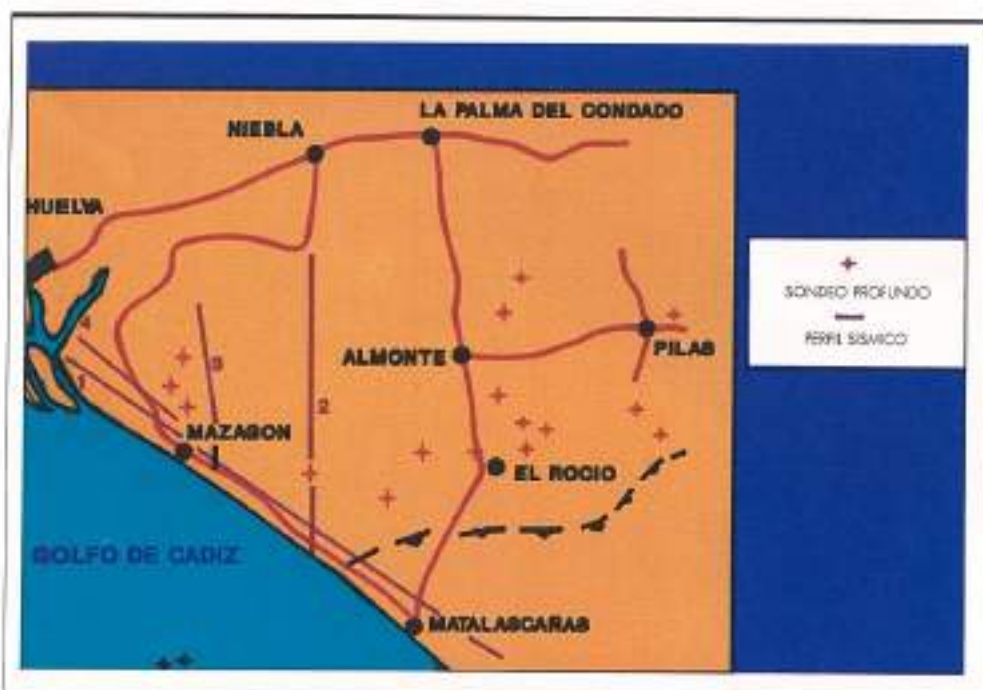


FIGURA 2. Mapa de situación.

buenas perspectivas geológicas que confirman el área como de interés preferente.

En la figura 2 se representa, en un mapa del área de estudio, la situación de los sondeos profundos considerados y la situación de las líneas sismicas reinterpretadas.

En la figura 3 se han representado dos perfiles en los que se observa la constancia y el espesor de la capa confinante (la escala está deformada por necesidades de dibujo) y su progresivo hundimiento hacia el SE.

En la figura 4 se han representado dos perfiles en los que se puede observar la existencia de la zona de pérdidas de circulación en los sondeos en todo el ámbito de existencia de la formación. Esta zona de pérdidas es, sobre todo, constante y muy significativa en los primeros 500 m de calizas dolomíticas y dolomías gruesas a muy gruesas, cavernosas y fracturadas.

5. COMPATIBILIDAD

El objetivo principal de los estudios de compatibilidad es estudiar la interacción del residuo inyectado con la roca de la formación almacén y el fluido, generalmente agua con sales, que ésta contiene en un equilibrio físico-químico de millones de años.

Es de gran importancia pues, si se inyectan residuos sin hacer una previsión de las posibles reacciones que tengan lugar, pueden producirse precipitaciones que obturen la formación y la hagan inservible a nuestros propósitos. Las operaciones de limpieza son caras y no siempre tienen el resultado deseado, corriéndose el peligro de dejar inservible el sondeo de inyección con la pérdida de inversión que supone.

El estudio de compatibilidad debe de hacerse durante la perforación del sondeo de inyección, con muestras de la formación y del agua que contiene, tomadas mediante testigos, para los posteriores análisis y pruebas de laboratorio.

No obstante, se indican una serie de procesos que pueden implicar problemas de disminución de la Inyectividad (relacionada con la roca almacén, define su aptitud para recibir fluidos inyectados) o de la Inyectabilidad (relacionada con el fluido a inyectar, define su comportamiento y compatibilidad con la roca y el fluido del almacén).

El residuo ha de ser física y químicamente compatible con todos los materiales del sondeo, así como con la formación almacén y el fluido en ella contenido. La variedad de problemas de compatibilidad que pueden presentarse es muy amplia, especialmente los de naturaleza química. Con frecuencia son complejos y difíciles de detectar, dada la pequeña magnitud de sus efectos, pudiendo pasar desapercibidos, al nivel de control a que se les puede someter.

Es aconsejable realizar el mayor esfuerzo posible en determinar y evitar los problemas de Inyectabilidad, antes de la operación, para evitar daños irreparables, causados por pequeños efectos progresivos muy difícilmente reconocibles en su origen.

La variedad de residuos que se pueden presentar en las operaciones de inyección es muy amplia, por lo que para su análisis se dividirán en dos grandes grupos, atendiendo a si los residuos evacuados son de naturaleza orgánica o inorgánica.

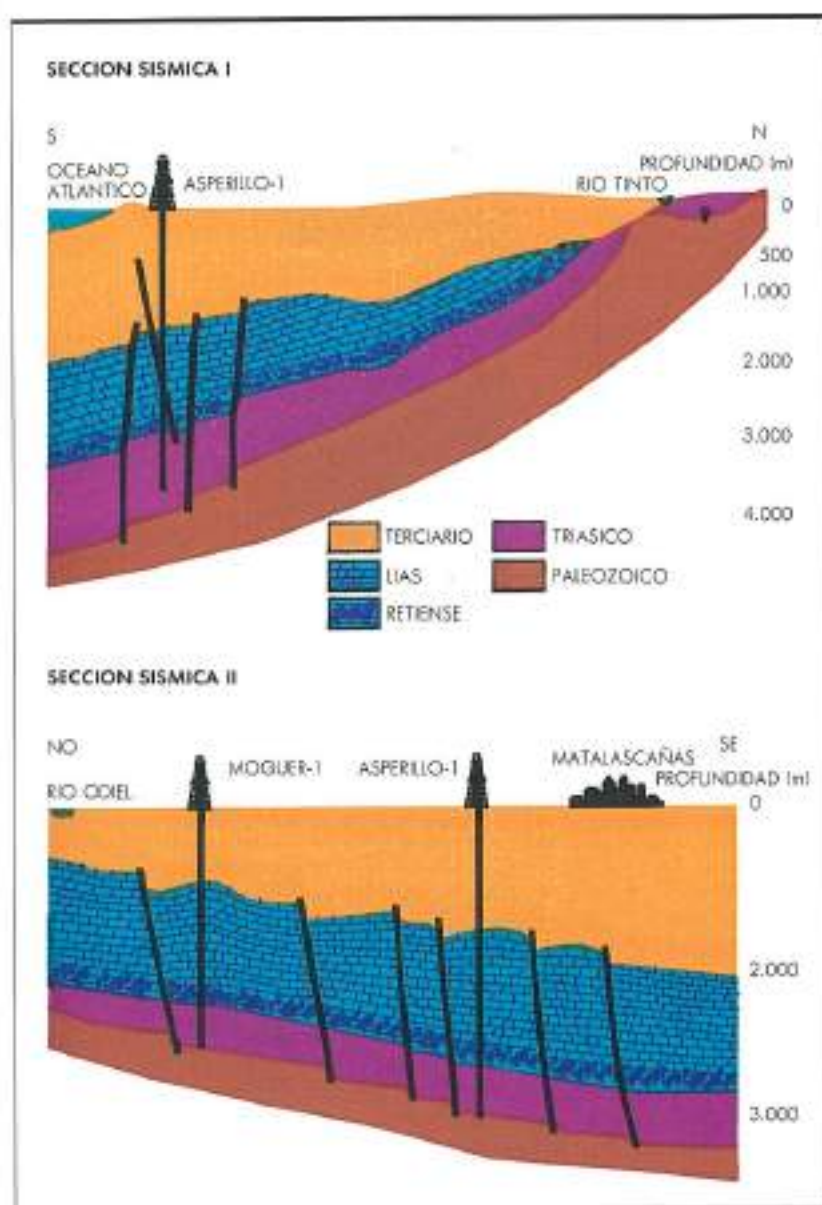


FIGURA 3. Secciones sísmicas.

5.1. PROCESOS RELACIONADOS CON RESIDUOS INORGANICOS

Su comportamiento, en dominios subterráneos, es más fácil de prever que el de los residuos orgánicos, puesto que todos los productos de reacción posibles, para un determinado compuesto, son finitos y limitados en sus combinaciones con otras sustancias, existentes en la zona de inyección.

La consecuencia más frecuente de las reacciones, entre los fluidos de formación e inyectado, es la precipitación de sustancias capaces de colmar la formación, impidiendo la inyección. Se producen por:

- Precipitación de materiales alcalino-térreos.
- Precipitación de metales.

- Precipitación de productos de reacciones de oxidación-reducción.

Los factores más importantes, a tener presentes en el estudio de compatibilidad, son los siguientes:

- Solubilidad.
- pH.
- Adsorción.
- Características biológicas.

5.2. PROCESOS RELACIONADOS CON RESIDUOS TOXICOS ORGANICOS

Al contrario que los residuos inorgánicos, los compuestos tóxicos orgánicos pueden perder su toxicidad mediante transformaciones moleculares. Procesos tales

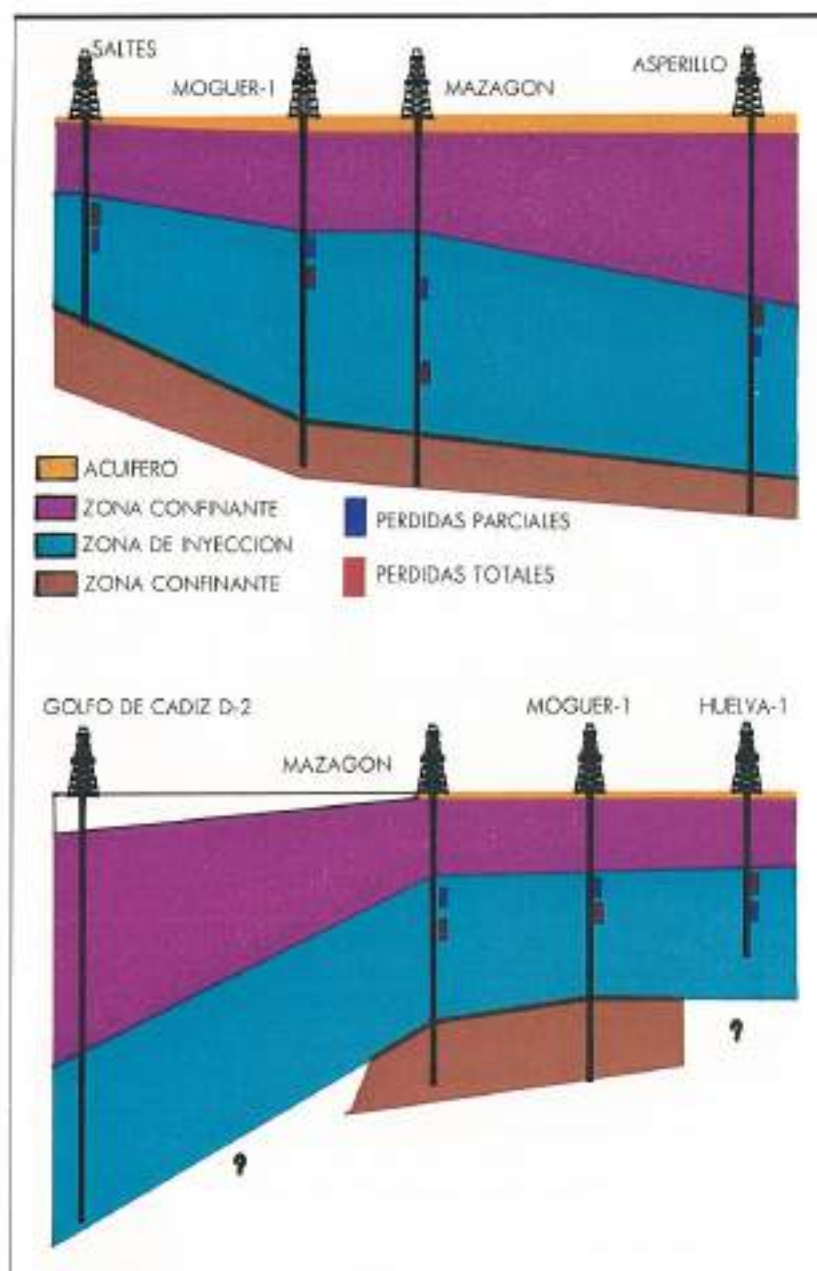


FIGURA 4. Zonas de pérdidas.

como el intercambio iónico, oxidación-reducción, hidrólisis, ciclación y procesos biológicos son capaces de transformarlos en no peligrosos, aunque también se puede producir el efecto contrario.

El número de posibles productos de las reacciones es, en este caso, muy superior a los residuos inorgánicos, con lo cual se hace mucho más difícil la previsión de la evolución de los residuos inyectados, en el espacio y en el tiempo.

Los procesos que intervienen en las reacciones citadas son los siguientes:

- Adsorción.
- Oxidación.
- Hidrólisis.
- Degradación por microorganismos.
 - Mineralización.
 - Detoxificación.
 - Cometabolismo.
 - Activación.
- Degradación térmica.

Las pruebas de compatibilidad, que se realizan por simple mezcla de residuos y fluido nativo, no siempre

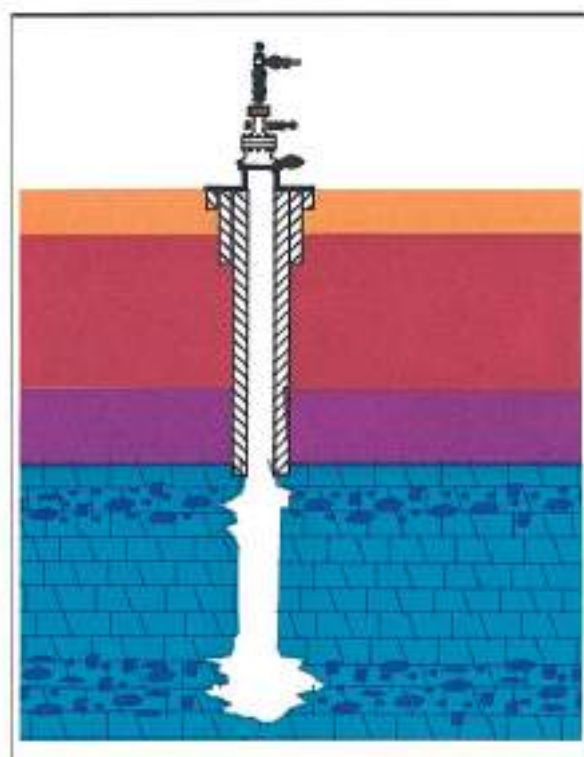


FIGURA 5. Sonda de inyección tipo.

aportan resultados significativos. Las pruebas deben realizarse bajo las condiciones del estrato almacén. En modelos de laboratorio se ha comprobado que un método para evitar el problema de la precipitación es inyectar antes del residuo una barrera de aguas no reactivas, de suficiente extensión que impida el contacto del residuo con el fluido de la formación.

6. PROPUESTA DE OPERACIONES

En base a los resultados obtenidos se proponen tres soluciones tipo para tres zonas del área de estudio. En la figura 5 se presenta el esquema de un sondeo tipo para toda el área de estudio; sólo variarían las profundidades.

6.1. ZONA DE HUELVA

Es aplicable tanto para los residuos industriales como para las aguas residuales urbanas de la ciudad de Huelva.

COLUMNA PREVISTA	
PROFUNDIDAD (m)	
0-50	PIOCUATERNARIO arenas, gravas y limas
50-500	MIOCENO arcillas y margas azules
500-1.400	JURASICO calizas y dolomías

DISEÑO DEL SONDEO

PROFUNDIDAD (m)	DIAMETRO DE PERFORACION (mm)	DIAMETRO DE ENTUBACION (mm)
0-5	1.500	1.000
5-70	850	650
70-550	600	400 lateral
550-1.000	350	Sin tubería

PRESUPUESTO ESTIMADO

- Tres sondeos de inyección, sondeos de control más instalaciones de superficie.
- INVERSIÓN 605 M.P.
- OPERACIÓN 37 M.P./año

6.2. ZONA DE MAZAGÓN

Es aplicable a las aguas residuales urbanas del núcleo turístico de Mazagón.

COLUMNA PREVISTA

PROFUNDIDAD (m)	
0-100	PIOCUATERNARIO arenas, gravas y limas
100-750	MIOCENO arcillas y margas azules
750-1.300	JURASICO calizas y dolomías

DISEÑO DEL SONDEO

PROFUNDIDAD (m)	DIAMETRO DE PERFORACION (mm)	DIAMETRO DE ENTUBACION (mm)
0-5	1.500	1.000
5-120	850	650
120-800	600	400
800-1.500	350	Sin tubería

INVERSIÓN PREVISTA

- Un sondeo de inyección, sistema de control e instalaciones de superficie.
- INVERSIÓN 230 M.P.
- OPERACIÓN 14 M.P./año

6.3. ZONA DE MATALASCAÑAS

Es aplicable a las aguas residuales urbanas del núcleo turístico de Matalascañas.

COLUMNA PREVISTA		
PROFUNDIDAD (m)		
0-220	PLIOCUATERNARIO arenas, gravas y limos	
220-1.100	MIOCENO arcillas y margas azules	
1.100-1.450	OXITOSTROMA arcillas y margas	
1.450-1.550	MIOCENO DE BASE arenas y conglomerados	
1.550-2.000	MIOCENO DE BASE calizas y dolomias	
DISEÑO DEL SONDEO		
PROFUNDIDAD (m)	DIAMETRO DE PERFORACION (mm)	DIAMETRO DE ENTUBACION (mm)
0-5	1.500	1.000
5-250	850	650
250-1.600	400	400
1.600-2.000	350	Sin tubería

INVERSION PREVISTA

- Un sondeo de inyección, sistema de control e instalaciones de superficie.
- INVERSION 350 M.P.
- OPERACION 21 M.P./año

7. CONCLUSIONES

Tenemos, pues, un importante recurso sin utilizar en un área donde los problemas medioambientales son graves y sometidos a una alta sensibilización por parte de la sociedad.

En cuanto a costos y seguridad medioambiental, la ISP puede competir con cualquier otro sistema de gestión con grandes ventajas.

Los resultados aquí expresados no son elucubraciones gratuitas y la realidad, en cuanto a profundidades y demás características, no se desviaría prácticamente nada de estas previsiones, dado el gran número de datos disponible.

BIBLIOGRAFIA

- ITGE 1991. Estudio de las posibilidades de utilización de formaciones geológicas profundas para la eliminación de residuos industriales y urbanos. 2.ª fase. Areas costeras de Asturias y zonas industriales de Zaragoza y Tarragona.
- ITGE 1990. Estudio de las posibilidades de utilización de formaciones geológicas profundas para la eliminación de residuos líquidos en la provincia de Huelva.
- ITGE 1990. Estudio de las posibilidades de utilización de formaciones geológicas profundas para la eliminación de residuos líquidos en la provincia de Castellón de la Plana.
- ITGE 1989. Estudio de las posibilidades de utilización de formaciones geológicas profundas para la eliminación de residuos líquidos. Informe metodológico.
- UNDERGROUND INJECTION CONTROL PROGRAM.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. FEDERAL REGISTER. WASHINGTON D.C. 1980.
- AUST, H.; KREYSING, K., y WALLNER, M. Hidrological Principles for the Deep-Well Disposal of Liquid Wastes and Wastewaters. A contribution to the International Hydrologic al Programme of UNESCO IHO-II-Project A 8.6.
- INTERNATIONALES HYDROLOGISCHES PROGRAM DER UNESCO, KOBLENZ, GERMANY, F.R. NATIONALKOMITEE. 1985.
- DONALSON, ERLE C.; THOMAS, REX C. y JOHNSTON, KENNETH, H. Subsurface Waste Injection in the United States Fifteen Case Histories.
- BUREAU OF MINES. WASHINGTON D.C. Jun 74.
- JOHANSEN, ROBERT; DONALDSON, ERLE, C. Well Injection System for Industrial Waste.
- BARTLESVILLE ENERGY RES CENT, OKLA. 1978.
- REEDER, LOUIS, R.; COBBS, JAMES H.; FIELD JHON, W. Jr.; FINLEY WILLIAM, D. y VOKURKA, STEVEN, C. Review and Assessment of DeepWell Injection of Hazardous Waste. Volume III. Appendix D.
- REEDER (LOUIS, R.) y ASSOCIATES, TULSA, OKLA. MUNICIPAL ENVIRONMENTAL RESEARCH LAB., CINCINNATI, OHIO. Jun 77.
- STRYCKER, A., y COLLINS, A. G. Injection of Hazardous Wastes into Deep Wells State-of-the-Art Report.
- NATIONAL INST. FOR PETROLEUM AND ENERGY RESEARCH, BARTLESVILLE, OK, ROBERT S. KERR ENVIRONMENTAL RESEARCH LAB. ADA. OK. Feb 87.
- VONHOF, J. A., y VAN EVERDINGEN, R. O. Subsurface disposal of a liquid industrial wastes.
- INLAND WASTERS DIRECTORATE. CALGARY. ALTA. Jun 1973.
- WALKER, WILLIAM, R., y COX, WILLIAM, E. Deep Injection of Industrial Wastes. Government Controls and Legal Constraints.
- VIRGINIA POLYTECHNIC INST. AND STATE UNIV. BLACKBURG WATER RESOURCES RESEARCH CENTER.
- Warner, Don L. Regulatory aspects of liquid wastes injection into saline aquifers.

"20 AÑOS HACIENDO EL BIEN"

En Cadagua llevamos ya 20 años depurando el agua

20 años al servicio del bienestar de miles de personas en toda España.

Diseñando, creando y desarrollando plantas de tratamiento y depuración de agua.

Explotando, manteniendo y gestionando cualquier sistema de abastecimiento o saneamiento de agua.

En Cadagua, ponemos a su servicio 20 años de experiencia, haciéndolo bien.



 **cadagua**
Tenemos la fórmula

A TODAS LAS PERSONAS QUE CON SU COLABORACION HAN HECHO POSIBLE ESTOS 20 AÑOS DE SERVICIO AL HOMBRE Y LA NATURALEZA,
MUCHAS GRACIAS