Presentación

Los últimos decenios han supuesto un claro avance en el bienestar del hombre en muchos aspectos, debido en gran parte al importante desarrollo industrial, con una repercusión profunda en la humanidad. No obstante, todo ello ha tenido como contrapartida la CONTAMINACION del medio natural.

En el inicio de la industrialización, los residuos producidos, sólidos, líquidos y gaseosos, eran escasos. Para su eliminación imperaban los sistemas de dilución y dispersión, válidos en esa situación, puesto que las concentraciones podían reducirse hasta límites inapreciables.

En la actualidad el panorama ha cambiado ostensiblemente, y dichos sistemas resultan desfasados. Los volúmenes de emisión de contaminantes se han multiplicado por 10 en los últimos años, y así se ha llegado a situaciones insostenibles de clara agresión al medio natural, con el consiguiente riesgo sanitario para la población.

Los mecanismos de eliminación de efluentes han sufrido modificaciones, y actualmente las tendencias apuntan a la consideración de medidas preventivas y de limitación de volúmenes de contaminantes emitidos al medio en que se mueven los seres vivos, a la vez que a actuar con medidas correctoras de los ambientes degradados.

Las aguas subterráneas, como recurso mineral renovable más importante, no escapan a las consecuencias de la acción del hombre y, si bien se encuentran en general, mejor protegidas frente a los agentes contaminantes que otros recursos naturales, también es cierto que una vez contaminadas resulta más difícil, técnica y económicamente, la corrección de sus efectos.

Este problema no ha pasado desapercibido a la Administración, que está actuando mediante los correspondientes programas de control y lucha, a través de sus diferentes Organismos. Así, el Instituto Tecnológico GeoMinero de España inicia su actividad en estos temas en el año 1974, a través del "Plan de Gestión y Conservación de Acuíferos", en el que se enmarca, como línea prioritaria de actuación, el estudio de la calidad del agua y su evolución en el tiempo.

Finalizado el Plan (1985), tras alcanzar los objetivos del mismo y, teniendo en cuenta las misiones encomendadas al ITGE por la legislación vigente, se precisa plantear un modelo diferente de actuación, iniciándose en 1986 una nueva etapa de trabajos que permitirá avanzar en aspectos más concretos de protección y lucha contra la contaminación, por lo que se requieren conocimientos científicos más específicos. Esta labor se está desarrollando a través del programa "LUCHA CONTRA LA CONTAMINACION", que consta de las siguientes líneas de trabajo:

— Investigación de los procesos contaminantes. Planes específicos.

— Desarrollo de tecnología para la prevención, control y corrección de la contaminación.

— Divulgación de resultados.

Sin este último punto, divulgación de resultados, de poco serviría la labor realizada, pues éstos únicamente llegarían a un reducido número de técnicos. Se considera necesario por lo tanto, hacer participar de los mismos a la sociedad, como método fundamental de lucha contra la contaminación de las aguas subterráneas.

Con este fin se agrupan en la presente colección de título genérico: "LUCHA CONTRA LA CONTAMINACION", una serie de publicaciones (libros, folletos, videos, carteles...), en la cual se incluye el presente: "INYECCION EN SONDEOS PROFUNDOS. UNA ALTERNATIVA".

LOS RESIDUOS INDUSTRIALES. SU ELIMINACION Y EL MEDIO AMBIENTE

Se estima que en los últimos 20 años el nivel de emisión de productos contaminantes a la biosfera se ha multiplicado por 10. Las mejoras alcanzadas en el bienestar de la sociedad gracias a industrias tales como la farmacéutica, química, petroquímica, fertilizantes, alimentación, electrónica, etc., tienen como contrapartida la producción de residuos cuya eliminación en cualquier punto de la Tierra, supone un riesgo para el hombre y su medio ambiente.

A partir de la década de los sesenta se produce una toma de postura decidida por parte de las autoridades en el sentido de efectuar un mayor control en los procesos industriales, los residuos producidos y en el uso de productos peligrosos. En 1973 se establece por primera vez en la Comunidad Económica Europea un programa de reducción de la contaminación y gestión racional de los residuos.

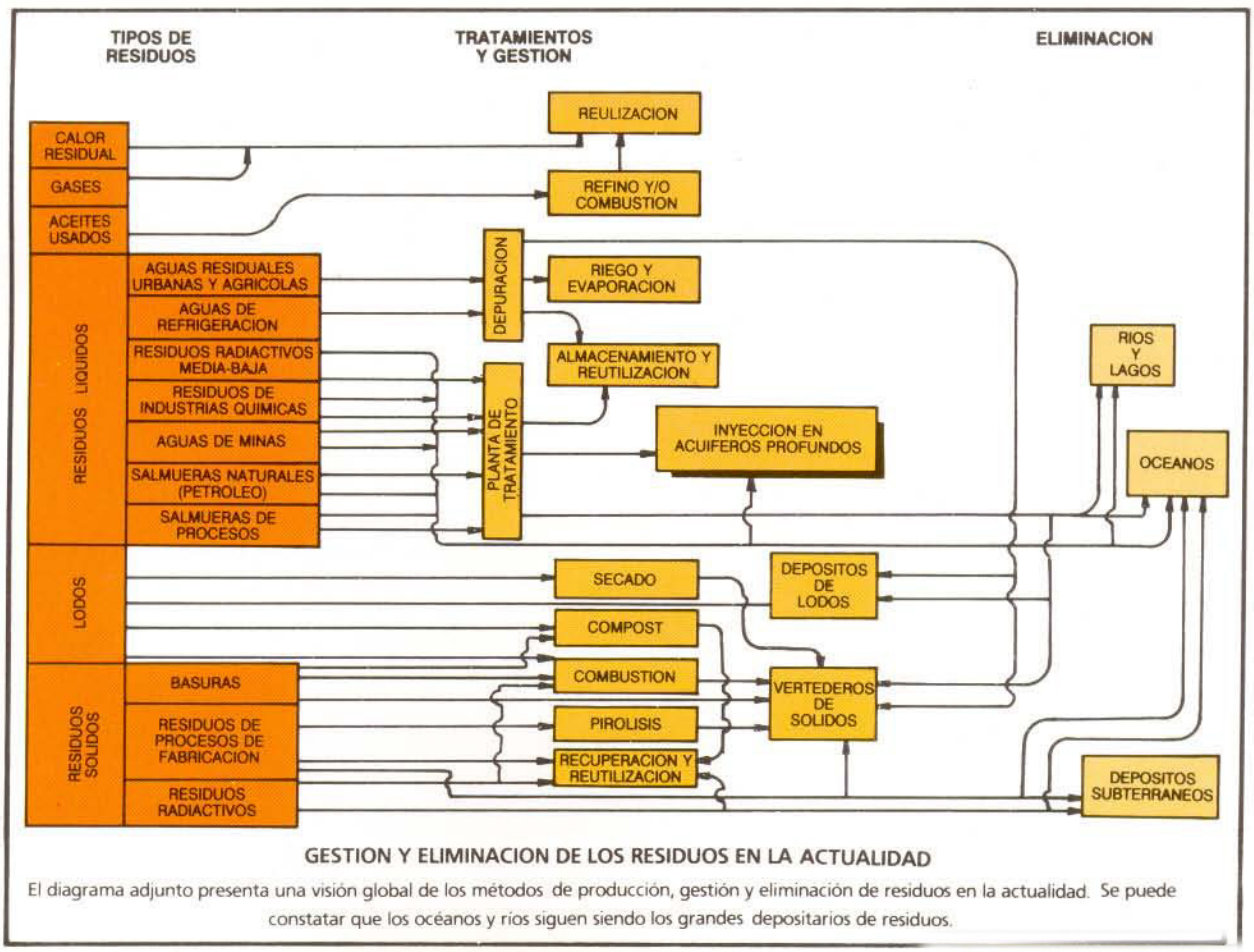
A principios de los años 80, los Estados miembros de la CEE, producían del orden de 15 a 20 millones de toneladas de residuos tóxicos, lo que representa aproximadamente el 20% de todos los residuos industriales generados. Como consecuencia de ello se han ido emitiendo por parte de la Comisión Medio-Ambiental una serie de directrices sobre residuos tóxicos y peligrosos, encaminadas a regular la producción, gestión y eliminación de los mismos.

EVOLUCION DE LOS SISTEMAS DE ELIMINACION

La solución ideal para la eliminación de estos residuos sería aquella que admitiera una cantidad ilimitada de residuo y los mantuviera siempre fuera del campo de actividad de los seres vivos, en completo aislamiento. Esta solución es en principio inalcanzable, por lo que a lo largo de la historia se han sucedido diferentes conceptos ,en el proceso de eliminación de residuos. Al principio de la revolución industrial los volúmenes de residuo eran pequeños y las industrias estaban generalmente ubicadas en la proximidad de los ríos, por lo que el sistema más eficaz de eliminación era el de diluir y dispersar en las corrientes fluviales. La concentración se podía bajar hasta límites inapreciables.

Con el crecimiento del número de industrias y de la densidad de población este sistema quedó inadecuado. Un nuevo concepto de eliminación comenzó a imponerse: el de concentrar y aislar. Con ello, comienza a desarrollarse la tecnología de tratamiento de los residuos y búsqueda de sistemas de aislamiento perfecto, tanto en métodos de empaquetado como en ambientes geológicos confinantes.

Pero también este método encuentra dificultades relacionadas, sobre todo,con los sistemas de aislamiento, vulnerables a fenómenos impredecibles. Accidentes de gran magnitud en Japón, Italia, Holanda, Estados Unidos, India, etc. han sensibilizado a la opinión pública y a las autoridades, de manera que también los sistemas de aislamiento del residuo están sometidos a revisión. Hoy día la investigación y el desarrollo tecnológico se dirigen hacia dos objetivos: por un lado la búsqueda de métodos de tratamiento de los residuos que los conviertan en materias útiles o inertes y por otro, la puesta a punto de "tecnologías limpias" en los procesos de fabricación,de manera que los residuos nocivos no se produzcan o se produzcan en cantidades apreciablemente menores.



GESTION Y ELIMINACION DE LOS RESIDUOS EN LA ACTUALIDAD

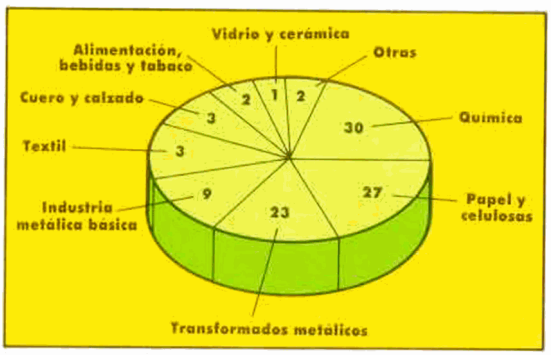
El diagrama adjunto presenta una visión global de los métodos de producción, gestión y eliminación de residuos en la actualidad. Se puede constatar que los océanos y rios siguen siendo los grandes depositarios de residuos.

EL PROBLEMA DE LOS RESIDUOS INDUSTRIALES EN ESPAÑA

PRODUCCION DE RESIDUOS

Según datos de la Dirección General de Medio Ambiente, del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, en España se producen anualmente entre 1,8 y 2 millones de toneladas de residuos clasificables como Tóxicos y Peligrosos según definición dada a los mismos en la Ley Básica 20/1986 de 14 de Mayo. Más del 70% de estos residuos se producen en las Comunidades Autónomas de Cataluña , País Vasco, Madrid, Valencia y Andalucía.

Según las mismas fuentes, cuatro sectores industriales: Química, Papel y Celulosas, Transformados Metálicos (acabados y recubrimientos) e Industrias Metálicas Básicas producen el 90% de los Residuos Tóxicos y Peligrosos en España.



DISTRIBUCION DE LA PRODUCCION DE RESIDUOS POR SECTORES INDUSTRIALES
(PORCENTAJE SOBRE EL TOTAL DE RESIDUOS)

REGULACION SOBRE RESIDUOS TOXICOS Y PELIGROSOS

De acuerdo con el artículo 45 de la Constitución Española que formula como un deber de los poderes públicos,el velar por la utilización más racional de todos los recursos naturales, para proteger y mejorar la calidad de vida, así como, con el procedimiento habitual en el Derecho comparado y, en particular, en la Comunidad Económica Europea, se promulgó la Ley 20/1986 de 14 de Mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, desarrollada posteriormente mediante el Reglamento para su Ejecución por Real Decreto 833/1988 de 30 julio.

El objetivo de esta normativa es establecer el régimen jurídico básico que garantice la protección de la salud humana, la defensa del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales en la producción y gestión de los Residuos Tóxicos y Peligrosos. Asimismo, se regula el régimen de responsabilidades, infracciones y sanciones que regirá las citadas actividades y finalmente se establece la relación de sustancias o materias que se consideran tóxicas y peligrosas.

PLAN NACIONAL DE RESIDUOS TOXICOS Y PELIGROSOS

Tras la promulgación de la Ley Básica y del Reglamento que la desarrolló, la Administración ha aprobado en Noviembre de 1988 el llamado Plan Nacional de Residuos Tóxicos y Peligrosos cuya finalidad es formentar, facilitar, canalizar y coordinar las actividades públicas y privadas, encaminadas a solucionar el problema planteado por los Residuos Tóxicos y Peligrosos, buscando en principio reducir el nivel de producción de los mismos y posteriormente plantear su correcta gestión.

El Plan contempla una serie de programas, entre los que cabe destacar:

- Programa de inversiones en infraestructura del servicio público de gestión de residuos.
- Programa de fomento de acciones encaminadas a la introducción de "tecnologías limpias".
- Programa de fomento al desarrollo de planes de investigación.
- Programa de control y recuperación de zonas afectadas por residuos tóxicos y peligrosos.

Síntesis de producción de residuos tóxicos y peligrosos y distribución geográfica de industrias que lo generan.

ELIMINACION DE RESIDUOS EN EL SUBSUELO

ESPACIO SUBTERRANEO COMO RECURSO

El espacio subterráneo natural es el volumen de poros y fracturas naturales que interconectados en el subsuelo, son aptos para contener fluidos. Por otra parte, se define el espacio subterráneo artificial, como el volumen potencial que puede ser creado por el hombre mediante fracturación, excavación o disolución de las rocas del subsuelo. La suma de ambos términos, natural y artificial, constituye el espacio subterráneo disponible como recurso al servicio del hombre.

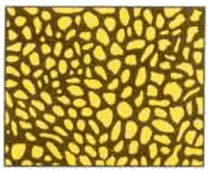
La utilidad de este recurso está precisamente en la posibilidad de utilizarlo para almacenar sustancias. El uso de uno u otro término del espacio subterráneo va a influir en el sistema de almacenamiento empleado, y dependerá del tipo de sustancia que se quiera almacenar así como de las circunstancias geológicas del lugar en cuestión.

ALMACENAMIENTO EN EL ESPACIO SUBTERRANEO NATURAL

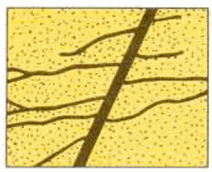
Inyección de fluidos en formaciones permeables

Este sistema se conoce también como eliminación mediante

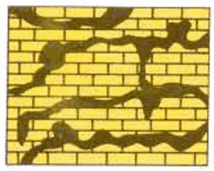
ESPACIO SUBTERRANEO NATURAL



Poros Intersticiales



Fallas y Fracturas



Canales y Cavidades de Disolución

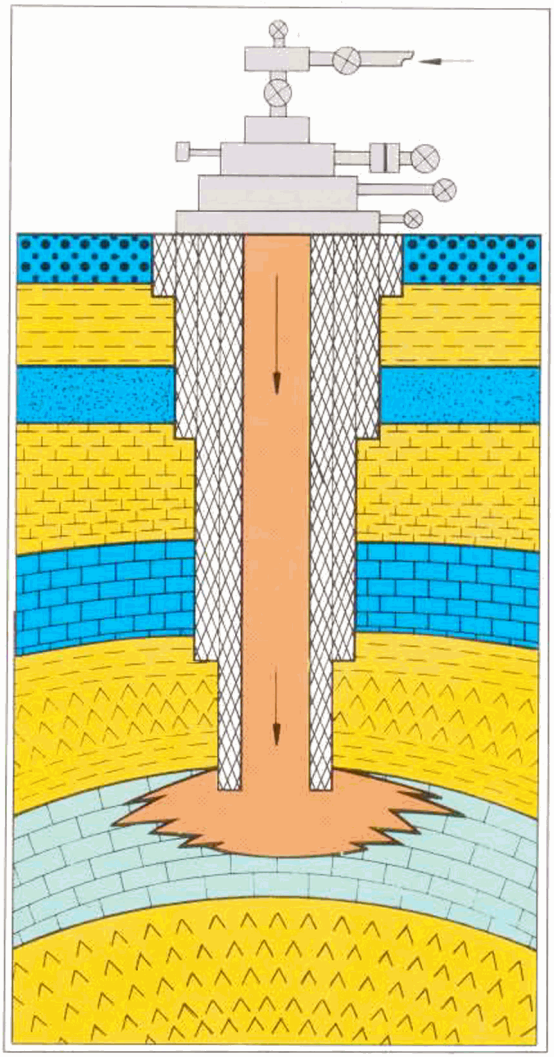
sondeos profundos y consiste, básicamente, en la introducción forzada de un fluido en los espacios disponibles de las rocas permeables que contienen agua salada y se encuentran totalmente aisladas de los acuíferos de agua dulce.

El espacio subterráneo natural, ocupado en este tipo de operaciones,está constituido principalmente por tres tipos de huecos: los poros intersticiales en las rocas no consolidadas como arenas, gravas, conglomerados, areniscas, etc.; las fallas y fracturas en las rocas consolidadas como ígneas, metamórficas, calizas, dolomías, etc.; y finalmente,los canales y cavidades de disolución natural de las rocas carbonatadas.

Se precisan dos condiciones importantes para que pueda ser utilizado este espacio como lugar de eliminación de residuos. De una parte,suficiente capacidad receptora de fluido que depende del volumen de huecos (porosidad) y de que estén conectados permitiendo la transmisión del mismo (permeabilidad). Por otra parte es necesario que la zona del subsuelo que va a recibir el fluido esté completamente aislada y sin posibilidad de entrar en contacto con otros recursos del subsuelo, en particular agua dulce o de baja salinidad.

Hay que señalar que los huecos que van a ser ocupados por el residuo, están en principio ocupados por fluidos naturales, casi siempre agua salada, que es necesario comprimir y desplazar. Por lo

INYECCION EN FORMACION PERMEABLE PROFUNDA



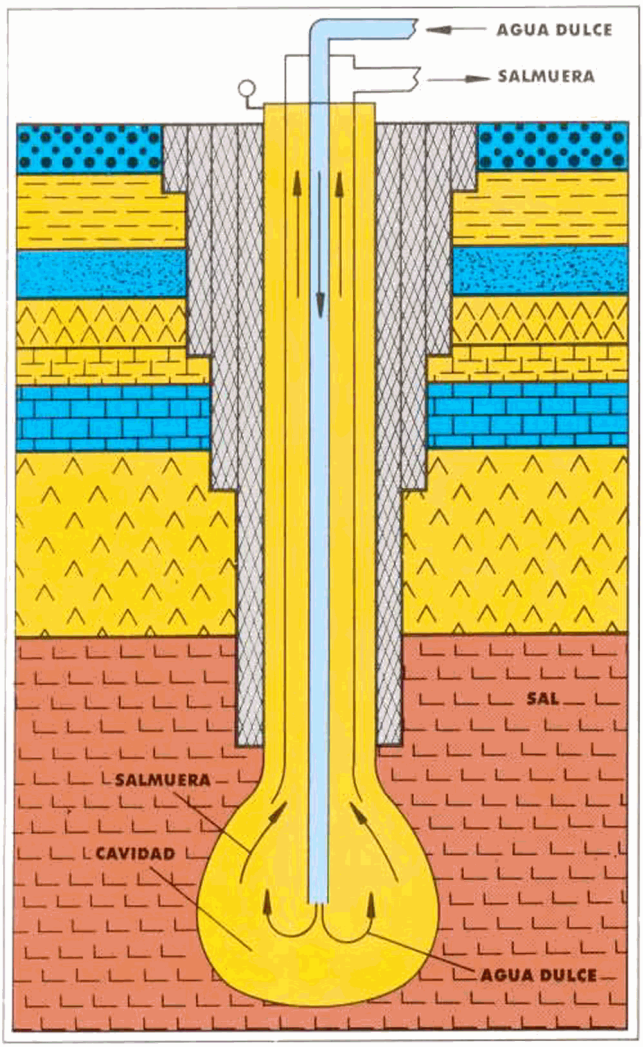
tanto,el conjunto de huecos que se pretende utilizar, conocido como estrato almacén debe ser de gran capacidad y responder favorablemente a los aumentos de presión originados por la inyección.

ALMACENAMIENTO EN EL ESPACIO SUBTERRANEO ARTIFICIAL

Almacenamiento en cavidades salinas

La evacuación directa de residuos industriales dentro de cavidades artificiales practicadas en masas salinas,es una solución que está avalada por una amplia experiencia de almacenamiento temporal de hidrocarburos líquidos y gaseosos en este tipo de depósitos. El sistema tiene su fundamento en las favorables propiedades de la sal como factor de confinamiento gracias a su prácticamente nula permeabilidad. En el aspecto operativo, la cavidad se produce por disolución con agua, que se introduce mediante sondeos practicados desde superficie. La salmuera producida se extrae, bien por un segundo sondeo o bien, como es más habitual, por el espacio anular del mismo sondeo de inyección, para lo cual debe estar dotado de entubaciones apropiadas.

PRODUCCION DE CAVIDAD SALINA POR DISOLUCION



La utilización de este tipo de depósitos requiere que la masa de sal cumpla las características adecuadas en cuanto a espesor, pureza y homogeneidad.

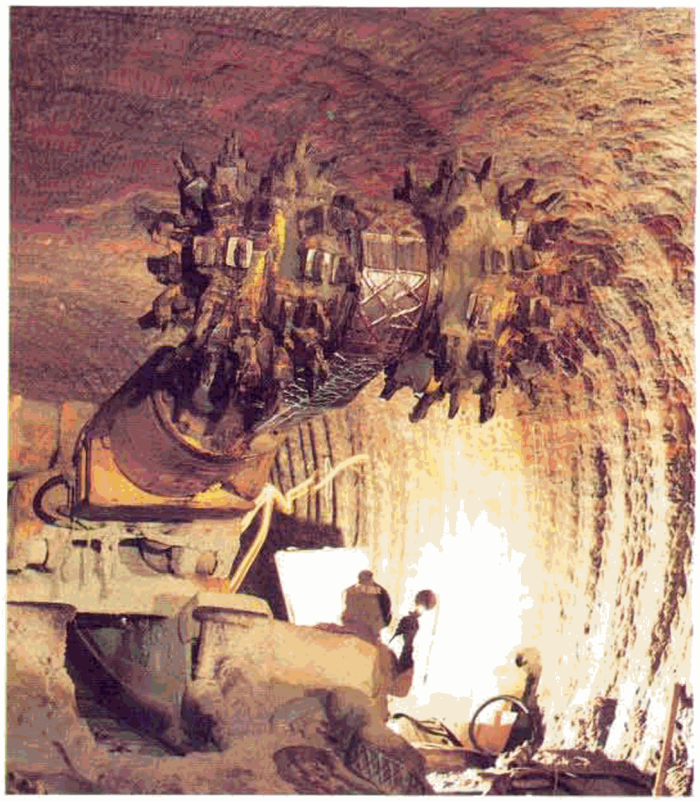
Existen otros condicionantes externos cuya ausencia puede impedir o dificultar este tipo de eliminación de residuos, como son: suficiente disponibilidad de agua en superficie, y proximidad del mar como lugar idóneo de la evacuación de la salmuera. En su defecto, el aprovechamiento industrial de la misma con producción de diversos tipos de sales, puede ser la solución.

La técnica de producción de la cavidad es muy conocida, por el gran desarrollo que en las últimas décadas ha tenido este sistema de almacenar productos petrolíferos, tanto crudos como productos elaborados. Hoy día, ante el cambio de estrategias en la gestión de dichos productos, están quedando disponibles multitud de cavidades creadas con este fin y que pueden ser empleadas para evacuación de residuos industriales

Almacenamiento en minas abandonadas y otros espacios excavados

Este método es el empleado principalmente para la eliminación de residuos sólidos que, como norma, suelen depositarse protegidos por una o varias barreras artificiales, suficientemente estancas, tanto frente al escape de residuo como para la entrada de fluidos naturales. La reconversión de minas abandonadas se emplea poco en la actualidad debido a las dificultades de asegurar su aislamiento total del flujo de agua subterránea. Por el contrario, cada día se utilizan más los depósitos de seguridad, excavados en rocas impermeables.

La construcción de un depósito de esta índole, requiere estudios muy minuciosos encaminados en primer lugar a la selección del emplazamiento adecuado y definición de su aislamiento perfecto, prestando especial atención a aspectos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos y ecológicos. En segundo lugar se procede a su diseño, en el que, se tienen en cuenta, entre otros, aspectos relacionados con características del residuo, de la roca en la que se excava, factores climáticos, sistemas de gestión y control, plan de seguridad, etc.



Cavidad en Masa Salina. Obras Subterráneas, S. A.

INYECCION DE RESIDUOS MEDIANTE SONDEOS PROFUNDOS

PROBLEMATICA

La inyección de fluidos en formaciones permeables profundas es una técnica conocida desde hace décadas por la tecnología petrolera. Es práctica habitual inyectar las salmueras que se producen en los yacimientos petrolíferos, en la misma formación geológica que las contenían, a fin de evitar la contaminación en superficie. Si embargo, cuando se trata de inyectar residuos industriales, surgen problemas nuevos derivados, principalmente, del hecho importante que el fluido que se quiere introducir es extraño al medio.

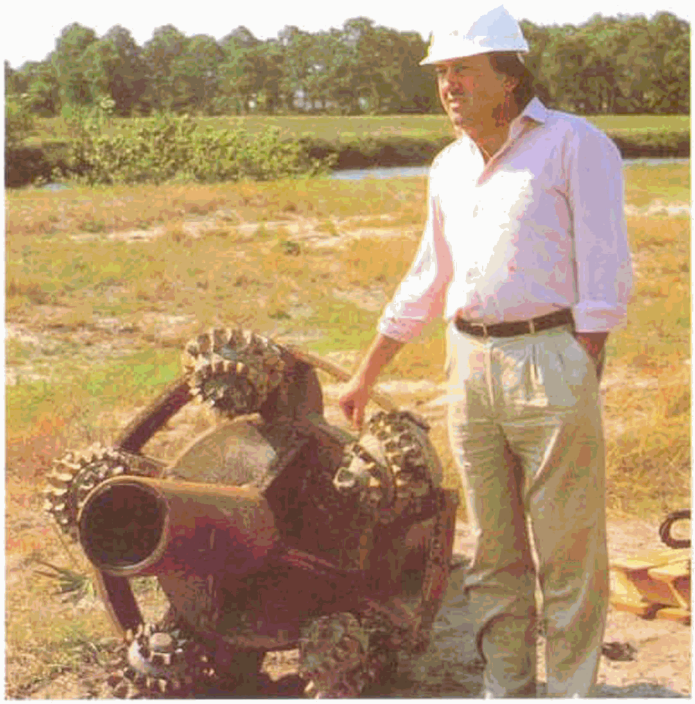
Se definen en esta problemática dos conceptos que traducidos literalmente de la terminología anglosajona se conocen por "inyectividad" e "inyectabilidad". La "inyectividad" define la aptitud de un estrato geológico para recibir fluidos mediante inyección. Este concepto abarca características y propiedades conocidas por hidrogeólogos e ingenieros de producción: porosidad, permeabilidad, transmisividad, compresibilidad, coeficiente de almacenamiento, etc. El segundo término, la "inyectabilidad", hace referencia a las propiedades físico-químicas del fluido que se quiere inyectar y su reacción posterior con la formación geológica que actúa de almacén, así como con el fluido natural contenido en ella. Relacionados con este problema surgen conceptos como: compatibilidad, colmatación de poros y fisuras, neutralización de los efectos contaminantes, comportamiento a largo plazo, etc.

Máquina para Sondeos Profundos.

TECNOLOGIA DE INYECCION

SONDEOS DE INYECCION

Para inyectar un residuo en una formación geológica permeable suficientemente profunda y aislada, es necesario poner con comunicación dicha formación o estrato almacén con la superficie, mediante la perforación de un sondeo. La técnica de construcción de sondeos profundos se ha desarrollado extraordinariamente gracias a la prospección y explotación de yacimientos petrolíferos. La perforación de millones de metros, ha permitido llegar a una selección y tipificación de métodos de perforación, entubaciones, cementaciones, pruebas de producción, estimulación y desarrollo de almacenes, de manera que todo tipo de materiales, instrumentación y servicios están sometidos a una normativa (American Petroleum Institute, API).



Herramienta de Perforación.

El programa de un sondeo de inyección para un caso determinado, dependerá de factores tales como: corte geológico previsto, profundidad total, número e importancia de los acuíferos, caudales y presiones en juego, etc. Pero siempre, los diámetros de perforación y entubación deben adaptarse a dimensiones fijadas en las normas API, para que sea posible la utilización de materiales y productos normalizados en la industria petrolera.

Todo sondeo de inyección ha de cumplir un principio fundamental, que es el aislamiento perfecto de todos los acuíferos que se encuentren por encima del almacén, de manera que se impida la comunicación entre el fluido que se inyecta y dichos acuíferos así como entre éstos. Ello exige la realización de pruebas de estanqueidad muy rigurosas en cada fase de entubación y cementación.

Una vez finalizada la ejecución del sondeo, se llevan a cabo los desarrollos y ensayos de producción oportunos a fin de evaluar adecuadamente la "inyectividad" del almacén. Las técnicas empleadas en el desarrollo de sondeos son de acidificación, bombeos a gran caudal, fracturación, etc. mientras que las empleadas en los ensayos de producción son de "air-lift," D.S.T. y bombeos de duración y caudal variables, estudiándose en todos ellos la relación entre caudal extraido, variación de presión y tiempo transcurrido.

PROBLEMAS DE COMPATIBILIDAD

Para que la inyección de un residuo en un almacén profundo,que contiene agua salada, resulte una operación acertada,es necesario previamente fijar y evaluar adecuadamente el segundo concepto definido, es decir, la "inyectabilidad". Los problemas de "inyectabilidad" surgen cuando el residuo se pone en contacto con la roca que constituye el almacén y con el fluido de formación que está contenido en él.

Para evitarlos, hay que considerar y estudiar previamente multitud de aspectos, entre los que cabe destacar:

— Caracterización físico-química del residuo y del fluido de formación (pH, turbidez, corrosividad, temperatura, aniones, cationes, oligoelementos, materia en suspensión, gases disueltos, etc.).

Cabezal de Inyección y Cuadro de Control.

— Poder colmatante o disminución de permeabilidad (se estudia con ensayos de laboratorio sobre testigos extraídos durante la perforación).

— Estudio en laboratorio de las reacciones residuo-agua y residuo-roca almacén, en diferentes condiciones de presión, temperatura y concentración.

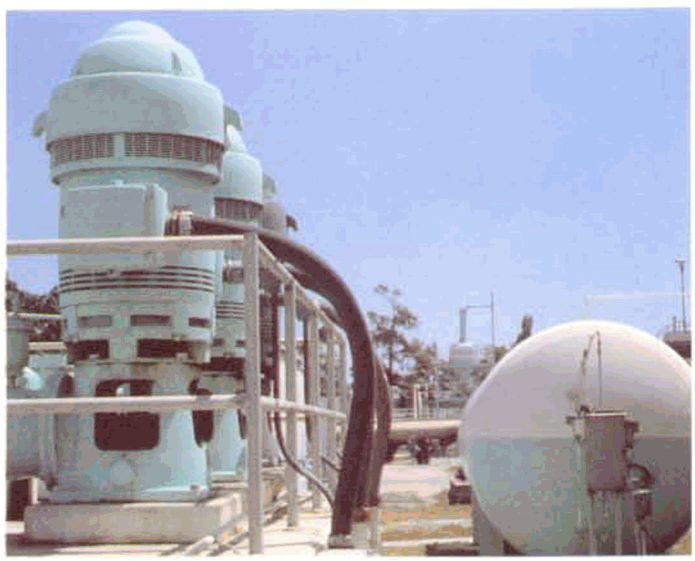
— Presencia de arcillas en la roca almacén que se pueden hidrolizar en contacto con el residuo, disminuyendo posteriormente la permeabilidad del almacén.

— Presencia de organismos vivos que pueden causar colmatación biológica por diferentes procesos: algas, mohos, bacterias ferrosas, bacterias sulfato-reductoras y bacterias productoras de lodos.

Sondeo de Inyección.

TRATAMIENTO PREVIO

El análisis y estudio de todos los conceptos expuestos, obliga casi siempre al establecimiento de un tratamiento previo del residuo a inyectar. Los métodos de tratamiento son muy variables según la naturaleza del residuo, de la roca almacén y del fluido de formación pero básicamente,comprenden instalaciones de: almacenamiento del residuo, control de condiciones físico-químicas, adición de inhibidores, separadores por gravedad y flotación, tanques de coagulación y sedimentación, filtros, bombas de inyección, etc.



Estación de Bombeo.

OPERACIONES DE INYECCION Y SISTEMAS DE CONTROL

OPERACION DE INYECCION

Toda operación de inyección de residuos en almacenes profundos debe cumplir en su desarrollo unas normas fundamentales, para evitar el riesgo de contaminación de otros recursos del subsuelo. Resumidamente se pueden enumerar:

— Existencia de un acuífero con adecuadas características hidráulicas y de aislamiento, conteniendo agua salada, que no puede ser considerada recurso de agua potable.

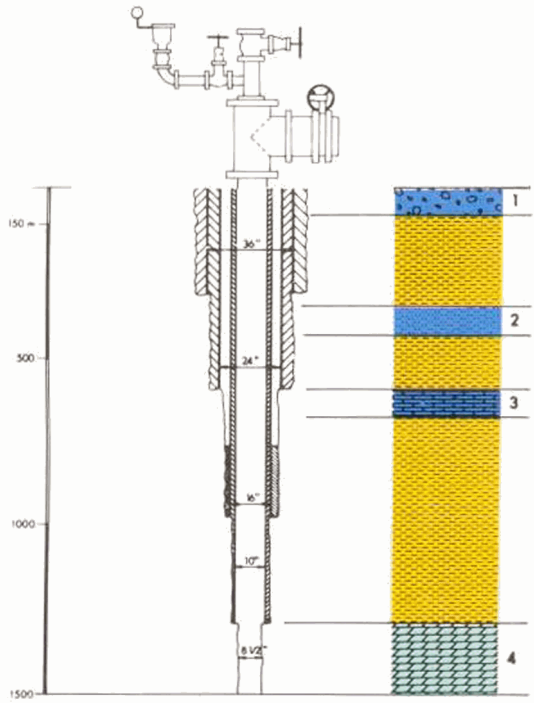
— La operación no debe previsiblemente impedir o afectar el uso presente o futuro de otros recursos del entorno geológico.

— Se debe diseñar un sistema de inyección de acuerdo con las características geológicas de la zona y con el residuo que se quiere inyectar.

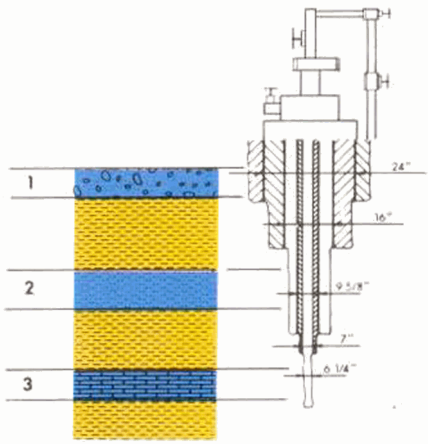
Se pueden distinguir en el desarrollo de una operación varias fases encadenadas en el tiempo:

1. **Selección del emplazamiento.** En la que se consideran, sobre todo, los factores geológicos e hidrogeológicos que garanticen el perfecto aislamiento del residuo inyectado.
2. **Preparación del proyecto y diseño del sistema operativo.** Debe tener en cuenta los datos adquiridos durante la selección del emplazamiento, así como el estudio y caracterización del residuo a inyectar, de manera que los programas, métodos, materiales, etc. que se empleen sean compatibles con toda la información disponible.
3. **Ejecución del sistema propuesto.** Durante la que se ha de seguir estrictamente el proyecto preparado,de forma que se eviten descargas de fluidos en superficie o en acuíferos de agua potable, obteniendo la mayor cantidad de datos posibles que han de ser recopilados y reflejados en el informe final de los trabajos. A su conclusión se elabora un manual de operación y mantenimiento para uso de los operadores.
4. **Desarrollo de la inyección y vigilancia de la operación.** El sistema de seguimiento se adaptará a todos los datos obtenidos en fases anteriores y comprenderá al menos el control de los siguientes datos: caudal que se inyecta, presión en cabeza, presión en el acuífero receptor y en los acuíferos superiores, calidad físico-química del fluido inyectado y del fluido contenido en acuíferos superiores. Durante la inyección se han de observar restricciones en cuanto a presión y velocidad del fluido inyectado, siguiendo fielmente las indicaciones marcadas por el manual de operaciones.

SONDEO DE INYECCION



SONDEO DE CONTROL



① GRAVAS Presión :-1 m Salinidad : 150 mg / litro
② ARENISCAS Presión : 2'5 m. Salinidad : 280 mg / litro
③ CALIZAS Presión : 15 m Salinidad : 2'5 gr / litro
④ DOLOMIAS CAVERNOSAS Presión : 10 m Salinidad : 15 gr / litro

SISTEMAS DE CONTROL

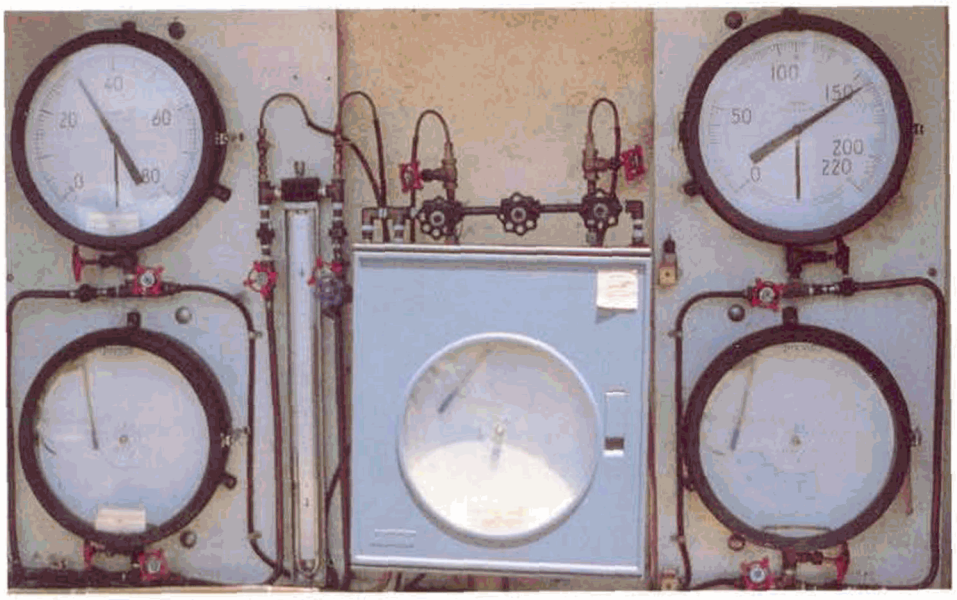
El objeto final del sistema de control es asegurar y comprobar que mediante la operación de inyección no se pone en peligro la actual o futura explotación de otros recursos del subsuelo. En todo sistema de control se pueden distinguir dos aspectos: los sondeos de control propiamente dichos y los métodos de vigilancia.

El número, tipo y configuración de los sondeos de control depende del entorno geológico en el que se encuentra ubicado el sistema. Mediante dichos sondeos hay que vigilar básicamente la evolución de las características hidráulicas y físico-químicas del acuífero almacén y de los acuíferos superiores. Generalmente existen tres tipos de sondeos de control o vigilancia, de acuerdo con la función que cumplen:

— **Sondeos de control inmediato,** que permiten llevar a cabo la vigilancia del perfecto funcionamiento del sistema de inyección, detectando inmediatamente cualquier fallo de construcción del mismo. Se sitúan en las proximidades del sondeo de inyección (aproximadamente 30 metros) y en profundidad alcanzan al acuífero inmediatamente superior al almacén.

— **Sondeos de control de zona,** que permiten realizar un seguimiento del funcionamiento del acuífero receptor y verificar su aislamiento estructural de los demás acuíferos, en la zona próxima al sondeo de inyección. Se sitúan a una distancia máxima de 2-3 Km. del sistema de inyección.

— **Sondeos de control regional,** que con idéntica finalidad que el anterior permite estudiar la evolución del sistema a largo plazo. Ha de estar situado a distancia considerablemente superior y próximo a los límites estructurales del acuífero receptor.



Instrumentos de Control, en Operación de Inyección.

Mediante el adecuado acabado en cuanto a entubaciones y cementaciones es posible en cada sondeo controlar las variaciones en las propiedades (presión, temperatura, pH, calidad química, etc.) de varios acuíferos al mismo tiempo.

El tipo de determinaciones así como su frecuencia, es muy variable según los diferentes casos. En general se eligen dos o tres características que se registran diariamente y se realiza un análisis de datos completo con una periodicidad quincenal o mensual.

Es importante llevar a cabo un adecuado mantenimiento de los sondeos de control, incluso después de finalizada la operación.

Plataforma con Sondeo de Inyección y Sondeo de Control.

La eliminación de residuos en almacenes geológicos profundos se lleva realizando de una forma industrial desde la década de los cuarenta, en EE.UU. y Canadá y esporádicamente en la República Federal de Alemania desde 1925. En las últimas décadas se ha extendido a otros países, cuyo subsuelo reunía condiciones propicias para la aplicación de esta técnica.

Es interesante poner de relieve, que se trata de un sistema de eliminación en el que existe muy poco transporte del fluido a inyectar, al situarse las instalaciones de eliminación en las proximidades de las plantas productoras. Por ello, la técnica y las operaciones se han desarrollado en los países con industrias productoras de residuos.

A continuación se pasa revisión al estado en algunos de estos países.

ESTADOS UNIDOS

Según estimaciones de E.P.A. (Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos), en 1986 se evacuaban en almacenes subterraneos, mediante inyección en sondeos profundos, el 11% de todos los residuos líquidos producidos anualmente en los EE.UU. lo que que representa 43,5 Millones de m^3/año.

Se tenían inventariados un total de 819 instalaciones, de las que 558 pertenecían al sector industrial, 243 al sector municipal (aguas residuales) y 18 al sector nuclear. En el sector industrial, al menos 252 sondeos, evacuaban productos clasificados como tóxicos y peligrosos por la legislación vigente.

Con muy pocas excepciones, las 819 instalaciones citadas cumplen las siguientes normas:

— inyectan residuos en almacenes que no constituyen, ni constituirán en el futuro, recursos de agua potable, debido al elevado contenido en sales.

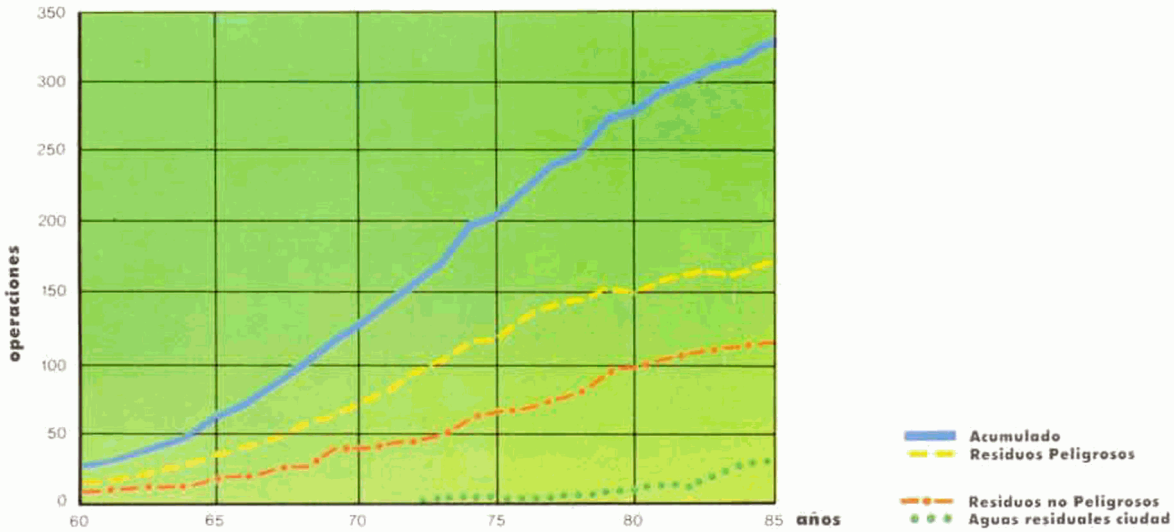
— dichos almacenes están perfectamente aislados por formaciones superiores impermeables.

— tienen características hidráulicas (porosidad, permeabilidad, extensión, etc.) suficientes para recibir volúmenes grandes de residuo.

— están alejados de áreas de media o elevada sismicidad.

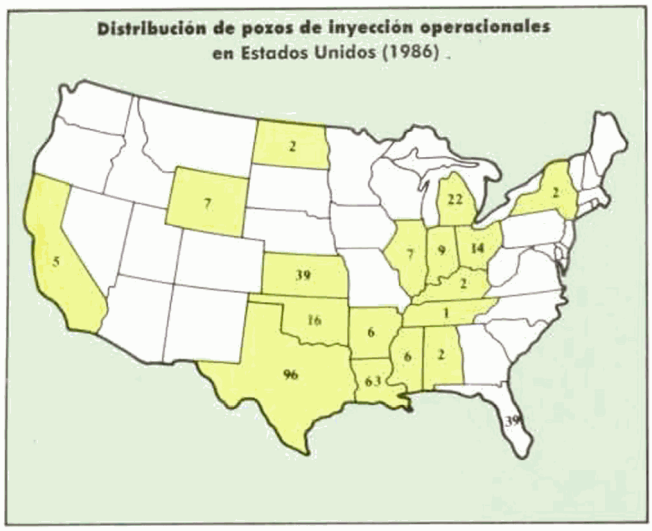
Este desarrollo tecnológico ha tenido lugar en parte, gracias a la actitud estricta y vigilante de E.P.A. y de los departamentos de Medio Ambiente de los diferentes Estados.

Evolución del número total de pozos de inyección.



De las 252 instalaciones que evacuan residuos tóxicos y peligrosos, aproximadamente el 50% son industrias de productos químicos, el 25% son industrias de refino de petróleo y prácticamente el resto son industrias ligadas a la agricultura y minería. La profundidad media a la que se inyectan los residuos es del orden de 1.300 m. y la separación entre el almacén de inyección y el acuífero potable más próximo en la vertical es del orden de 1.000 m.

Distribución de pozos de inyección operacionales en Estados Unidos (1986).



CANADA

Entre 1948 y 1975 se llevaron a cabo un total de 60 sondeos de inyección de residuos industriales en acuíferos profundos, concentrados en las provincias de Alberta, Ontario y Saskatchewan. Las profundidades de inyección varían entre 200 metros y 1.800 metros, con caudales muy variables de hasta 230 l/s.

Tratamiento Previo del Residuo. (Florida. USA).

JAPON

Se conocen diversas operaciones de inyección de aguas ácidas procedentes de la industria minera con pH comprendido entre 1.9 y 3.3. El caudal total inyectado en 1981 era de 540 m^3/hora en más de 100 pozos de poca profundidad y gran diámetro.

U.R.S.S.

Este método de eliminación de residuos líquidos de industrias se encuentra muy desarrollado. Sin contar la inyección de residuos de baja radiactividad procedente de plantas nucleares, la práctica se encuentra muy extendida en la industria de potasas, existiendo referencias de inyección de salmueras en un volumen total del orden de 400 millones de m^3/año en sondeos de profundidad comprendida entre 600 y 3.000 metros. Asimismo, se conocen referencias de inyección de residuos de fábricas de ácido ftálico, de pigmentos y de otros complejos de industrias químicas.

REPUBLICA DEMOCRATICA ALEMANA

Existen referencias de operaciones de inyección relacionadas con industrias químicas (aguas fenólicas), y campos de petróleos (aguas altamente mineralizadas).

FRANCIA

Algunas operaciones de inyección se han desarrollado en Francia, relacionadas con industrias químicas (amoniaco, ácido nítrico), fábrica de fertilizantes y salmueras procedentes de la industria de la sal

Operación de Inyección. (Florida. USA)

REPUBLICA FEDERAL DE ALEMANIA

Existen varias regiones en las que la geología favorable ha permitido el desarrollo de operaciones de inyección de residuos, sobre todo relacionadas con la industria del gas y de la sal, en zonas como Baja Sajonia, Westfalia, región potásica de Werra y Baviera. Las profundidades de inyección varían entre 400 y 3.000 metros, siendo la litología de los almacenes muy variable.

Estación de Tratamiento y Bombeo de Residuos. (Florida. USA).

POSIBILIDADES DEL SUBSUELO ESPAÑOL

La geología del subsuelo español permite a éste albergar áreas de evidente interés con vistas al futuro desarrollo de posibles operaciones de eliminación de residuos. Las grandes cuencas sedimentarias (Ebro, Duero, Tajo, Guadalquivir) contiene multitud de formaciones geológicas permeables alternando con otras de carácter impermeable que confinan y aislan a las primeras. En base a la información suministrada por sondeos profundos de investigación de hidrocarburos es posible establecer un esquema de posibilidades de las diferentes cuencas o regiones.

ESPACIO SUBTERRANEO NATURAL

EBRO

Existen en el área central de la Cuenca, estratos almacén constituidos por calizas y dolomías, a profundidades entre 1.000 y 3.000 metros, conteniendo agua con salinidad superior a 30.000 p.p.m. y con buenas características de permeabilidad y aislamiento.

PIRINEOS

A pesar de los abundantes estratos permeables, la existencia de una intensa tectónica de fracturas, actividad sísmica, presencia de gas y/o agua dulce en los almacenes, dificulta la selección de emplazamientos.

CANTABRICA

De parecidas características a los Pirineos, se podrían localizar algunos almacenes interesantes de tipo calcáreo con agua salada en la Cubeta Santanderina a profundidades de 1.500-2.500 metros.

DUERO

Existen buenos almacenes dolomíticos a profundidades de 1.800-2.000 metros, sobre todo en el sector oriental de la cuenca. Otros posibles almacenes de tipo detrítico, más extendidos en la cuenca presentan problemas por contener, a veces, agua dulce.

TAJO-GUADIANA

Los posibles almacenes están constituidos en esta zona, bien por areniscas muy porosas y permeables o bien por dolomías. Las primeras situadas a profundidad superior a 1.500 metros se encuentran sobre todo en la cuenca del Tajo y contienen agua de salinidad superior a 20.000 p.p.m. Las segundas se localizan en el área occidental de la provincia de Cuenca, a profundidades superiores a 1.300 metros y en algunos puntos contienen agua dulce.

LITORAL MEDITERRANEO

En general, con limitaciones debidas a la presencia de tectónica activa y diverso grado de sismicidad, se pueden encontrar pequeñas áreas favorables en las provincias de Alicante, Castellón y Tarragona. Los almacenes están constituidos por dolomías muy permeables, a profundidades superiores a 1.000 metros suficientemente aislados y conteniendo agua con salinidad superior a los 30.000 p.p.m.

GUADALQUIVIR

En la depresión del Guadalquivir se encuentran almacenes favorables en el área más occidental, y próxima a la costa atlántica, constituidos por dolomías a profundidades superiores a los 1.000 metros, con muy buenas características de permeabilidad y transmisividad, conteniendo agua con salinidad superior a 10.000 p.p.m. Las condiciones de confinamiento son igualmente favorables.

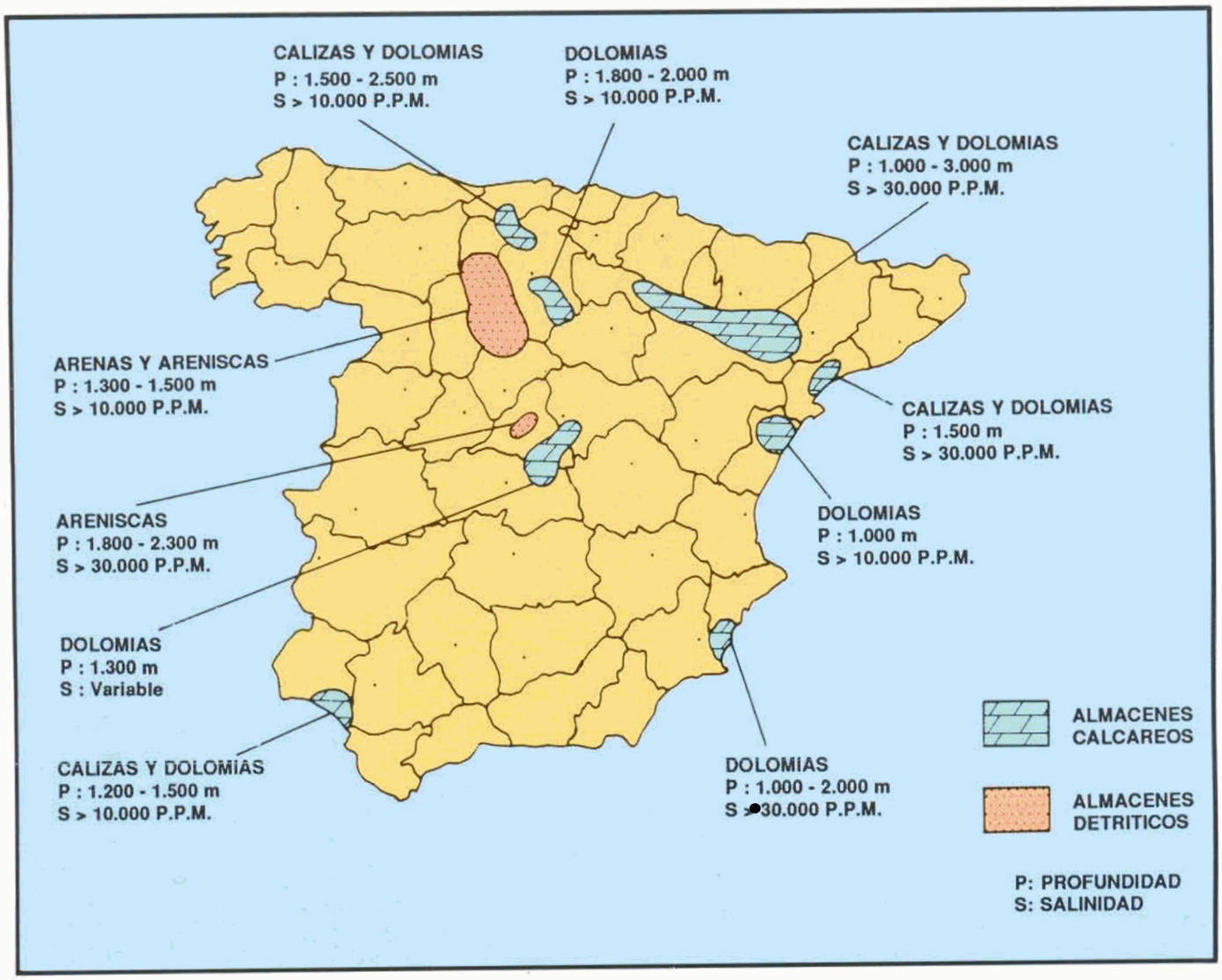
ESPACIO SUBTERRANEO ARTIFICIAL

MASAS SALINAS

El subsuelo peninsular es ámbito de un gran desarrollo de depósitos de masas salinas y fenómenos diapíricos asociados. Estas masas de sal, cuando reúnen características adecuadas de tamaño, uniformidad, profundidad, estabilidad, etc. pueden ser utilizadas para la creación de espacios subterráneos aptos para recibir residuos industriales.

Las áreas de mayor interés se pueden concretar en:

- Zona Cantábrica
- Pirineos Occidentales
- Pirineos Orientales
- Depresión del Guadalquivir
- Extremo Oriental de las Cordilleras Béticas (Alicante)



LEGISLACION

— **Ley de Minas (1973) y Reglamento General para el Régimen de la Mineria (1978).** Estos textos regulan el régimen de exploración, investigación y concesión de explotación de estructuras subterráneas. Estas estructuras están clasificadas como un recurso minero de la clase B.

— **Ley de Aguas (1985) y Reglamento del Dominio Público Hidráulico (1986).** Regulan la protección del dominio público hidráulico frente a todo tipo de vertidos.

– **Ley Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos (1986) y Reglamento para su Ejecución (1988).** Establecen el régimen jurídico que regula la producción y gestión de Residuos Tóxicos y Peligrosos. Entre los métodos de Eliminación, contempla la evacuación en el subsuelo.