

Contaminación del suelo.

Debido a sus especiales connotaciones, expresiones como "lluvia ácida" y "lagos eutrofizados" han servido para despertar la conciencia medioambiental sobre la contaminación del aire y del agua, quedando en segundo término las consecuencias que provienen de la contaminación del suelo.

Sin embargo, el hecho de que los suelos están contaminados es cada vez más evidente. Quizás de una manera más lenta, pero no desprovista de dramatismo en algunos casos ocurridos en los EE.UU. y en Alemania, la contaminación del suelo se está convirtiendo en un tema de interés creciente, sujeto a debate público.

La razón para que los efectos de este tipo de contaminación aparezcan de una manera más lenta es que los suelos tienen una cierta capacidad de ocluir los elementos contaminantes, de filtrarlos eliminándolos de las aguas contaminadas infiltradas, de descomponerlos o de convertirlos en sustancias inocuas.

El rápido crecimiento de la cantidad de residuos de todo tipo, como precio pagado por la evolución hacia una sociedad industrial y de consumo, combinado con una gestión de los mismos a menudo inadecuada, particularmente en las pasadas décadas y como resultado del incremento de materias contaminantes vertidas al suelo, está dejando un legado que ya no se puede ignorar.

Aunque la capacidad de autorregeneración del suelo es mayor que la del agua y la del aire, cuando se acumulan en el mismo sustancias contaminantes se originan concentraciones que ponen en peligro los recursos de agua potable y el suelo se convierte en algo tóxico que pasa a los organismos que lo habitan y a la vegetación (ver Figura 1).

Por lo tanto, junto con el mantenimiento de la calidad del aire y del agua, la protección del suelo, se está convirtiendo en una prioridad en la planificación medioambiental.



Fig. 1 Terreno contaminado con aceites, medicamentos y sustancias químicas

Términos más usuales.

Suelos Potencialmente Contaminados.

Existe una tendencia a considerar como suelos potencialmente contaminados a los antiguos vertederos incontrolados y a los emplazamientos industriales abandonados.

Los vertederos antiguos incluyen vertederos de escombros, vertederos de residuos urbanos e industriales y rellenos de pozos o minas.

El término emplazamiento industrial abandonado se refiere en general, a terrenos usados anteriormente por industrias u organismos gubernamentales en los que han sido almacenadas o manipuladas sustancias peligrosas que hayan podido afectar al suelo y al subsuelo.

Sin embargo, el término "suelo potencialmente contaminado" es más amplio en su significado e incluye, por ejemplo, grandes extensiones de terreno en las que el suelo ha sido negativamente afectado por exceso de fertilizantes, aplicaciones de pesticidas o, incluso, contaminantes transmitidos por la atmósfera.

Suelos Contaminados.

Cuando los resultados de una investigación indican que una zona de vertido o emplazamiento industrial abandonado puede conllevar riesgo para la seguridad o salud públicas, dicho vertedero o terreno es clasificado como "suelo contaminado" (equivalente al "Superfund" de los EE.UU.) que requiere una acción correctora.

Para tener una idea preliminar de las proporciones entre suelos contaminados y potencialmente contaminados, sirve el ejemplo alemán que a continuación se indica.

En la República Federal de Alemania, antes de la reunificación, se habían localizado alrededor de 40.000 antiguos vertederos de residuos, aunque se estimaba la existencia de por lo menos 50.000, de los cuales aproximadamente un 10% necesitaba actuaciones correctoras.

Los emplazamientos industriales abandonados existentes en la RFA eran 8.000, aunque el porcentaje estimado de los que requerían una recuperación del suelo era mucho más elevado.

Investigación y evaluación de suelos contaminados.

Para localizar antiguos vertederos de residuos y emplazamientos industriales abandonados, o bien para ejercer una vigilancia sobre los localizados, se requieren pesquisas detalladas.

Ello implica, por ejemplo, recolectar información, en poder de distintas administraciones, en forma de archivos, planos y fotografías aéreas, evaluar informes o datos existentes, pero también preguntar directamente a miembros de organismos públicos o industriales. (**Investigación preliminar**).

Si los resultados indican la existencia de un problema el terreno en cuestión se califica como "suelo sospechoso", se toman muestras y se efectúan análisis de dicho terreno para confirmar o descartar la presencia de contaminación (**Investigación exploratoria**).

Si los resultados de esta investigación indican que existe contaminación y los análisis muestran que hay un riesgo para el medio ambiente, se debe efectuar una investigación más profunda como, por ejemplo, mediciones geofísicas, perforaciones de sondeo, análisis físico-químicos. (**Investigación detallada**), ver Figura 2.



Fig. 2 Etapas de tomas de muestras de suelos (por estratos) y del aire contenido en un suelo

El grado de riesgo sobre el medio ambiente se evalúa en base al conocimiento de las cantidades y composición de los materiales, sus propiedades y movilidad de los contaminantes en el ecosistema, así como sus vías de propagación e impacto sobre el medio a través de las vías de salida existentes.

Para elaborar propuestas de contención de la contaminación o de recuperación del terreno, es necesaria una investigación más extensa. Ello requiere la colaboración de expertos de un amplio rango de especialidades, como las de la siguiente lista no extensiva:

- Geólogos y especialistas en hidrología y mecánica del suelo, a fin de estudiar las condiciones del subsuelo y de las aguas subterráneas.

- Ingenieros y químicos para analizar las condiciones de las aguas subterráneas (modelos de flujo, propagación de la contaminación) y desarrollar posibles medidas de contención o atenuadoras.
- Biólogos y microbiólogos, para la investigación de indicadores biológicos (bioseguimiento) y complementar los datos físico-químicos.
- Especialistas en toxicología para evaluar el riesgo para la vida humana, animal y vegetal, y establecer los límites permisibles de contaminación.

La tarea del ingeniero consultor independiente.

El objetivo del trabajo de investigación y evaluación es identificar las emisiones contaminantes (por ejemplo, sustancias tóxicas, cancerígenas o teratogénicas) al aire, subsuelo y aguas superficiales y disminuir o eliminar estas emisiones a fin de descartar cualquier efecto pernicioso sobre el medio ambiente y, al final de la cadena alimentaria, sobre el ser humano.

Para ello, se dispone de toda una serie de posibilidades técnicas que pueden resumirse en los conceptos de contención o regeneración, y que incluyan trabajos para los cuales son necesarios especialistas en ingeniería mecánica, eléctrica o de procesos, así como físicos y químicos.

En este proceso puede resultar interesante contar con el apoyo de una sociedad de ingenieros independiente, en la que las barreras interdisciplinarias puedan ser salvadas, cuente con los especialistas necesarios y disponibles para llevar a cabo estudios, evaluar los mismos y diseñar las medidas más adecuadas para implantar soluciones.

Una empresa así es, entonces, un colaborador fiable para la rehabilitación de suelos contaminados, en especial porque sus recomendaciones son independientes de cualquier interés que pueda tener el vendedor de equipos o parte contratante, y van exclusivamente dirigidas a servir el mejor interés del cliente.

Posibilidades técnicas para la recuperación de suelos contaminados.

Entre otras, pueden considerarse las siguientes medidas:

- Contención de la contaminación.
 - . Encapsulamiento.
 - . Técnicas hidráulicas.
- Inmovilización de contaminantes.
- Extracción de contaminantes.
- Destrucción de contaminantes.



Fig. 3 Medición de gases procedentes de un vertedero abandonado y en fase de recuperación

La elección del mejor procedimiento depende de la naturaleza de la contaminación (por ejemplo, orgánica e inorgánica), su toxicidad, concentraciones y peligros potenciales de los contaminantes, la situación hidrogeológica del terreno contaminado y la infraestructura existente en el área.

Medidas de contención.

Las medidas de contención son necesarias si una regeneración final es absolutamente imposible, o no es posible a corto plazo y donde hay un riesgo considerable de contaminación de acuíferos o de formación de un penacho de agua subterránea contaminada.

Además de medidas estructurales, tales como el encapsulamiento, a menudo también deben tomarse medidas de tipo hidráulico como, por ejemplo, provocar el descenso del nivel freático.

In situ, Ex situ, sobre el terreno, fuera del terreno.

Para los procesos descritos seguidamente para la inmovilización, separación o destrucción de los contaminantes, debe establecerse una diferencia entre "in situ" y "ex situ" y, en el caso de este último, entre los procesos "sobre el terreno" (on site) y "fuera del terreno" (off site).

En el caso de los procesos "in situ", el material contaminado es tratado en el mismo lugar y convertido en inofensivo mediante medidas de tipo químico, utilizando reactivos especiales, o de tipo físico, como en la dispersión con aire o lavado con soluciones acuosas (ver Figura 3), o de tipo biológico utilizando microorganismos.

En el caso de un tratamiento "ex situ", la materia contaminante es extraída y, o bien es trasladada a un depósito controlado, o bien trasladada y tratada en una instalación especial. Dicha instalación puede construirse directamente sobre el terreno donde está el residuo peligroso ("sobre el terreno") o en un lugar centralizado donde los materiales contaminados, procedentes de distintos terrenos con residuos tóxicos o peligrosos, son tratados en una instalación central ("fuera del terreno").

Debido a que la extracción y transporte de los materiales contaminantes es onerosa, en general, los procesos "in situ" son más económicos que los "ex situ" y para estos últimos, los tratamientos "sobre el terreno" más baratos que los "fuera del terreno".

Inmovilización del contaminante.

La movilidad de muchos contaminantes puede ser reducida de una manera significativa usando aglomerantes hidráulicos, tales como cemento o escorias de centrales térmicas, estabilizando con ello las materias contaminantes e impidiendo que se infiltren fácilmente. Los materiales así tratados tienen una gran consistencia y son impermeables al agua.



Fig. 4 Pozos para el control y seguimiento de aguas subterráneas

Extracción del contaminante.

Los contaminantes pueden ser separados del terreno contaminado mediante limpiezas por descarga de agua, aire o alguna sustancia. El gas o líquido que ha captado la sustancia contaminante requerirá seguidamente un tratamiento. Algunos ejemplos de procedimientos "in situ" son la extracción del contaminante removiendo el suelo y lavándolo con agua o aireándolo.

Un procedimiento "ex situ" ampliamente usado para separar sustancias contaminantes es el lavado del suelo utilizando la extracción con agua y disolventes.

Destrucción del contaminante.

Los suelos contaminados con hidrocarburos como gasolina, aceites minerales o gas-oil, así como compuestos aromáticos o derivados del fenol, pueden ser tratados "in situ" por degradación biológica. Ello conlleva el crear las condiciones óptimas para la proliferación de los microorganismos que se encuentran ya en el lugar y que son capaces de romper las cadenas de hidrocarburos, mediante el suministro de oxígeno, nitratos, agua y nutrientes.

Un método "ex situ" consiste en amontonar el suelo contaminado y en airear los montones. Varios procedimientos térmicos de tratamiento del material extraído tales como incineración, gasificación y pirólisis, han sido hasta ahora desarrollados para descontaminar el suelo.

Servicios de ingeniería suministrados por RESA/FICHTNER.

RESA/FICHTNER suministran todos los servicios de ingeniería necesarios para realizar estudios sobre el terreno, evaluaciones, contención y regeneración de los suelos contaminados.

Sus equipos pluridisciplinarios, que cubren las áreas de la ingeniería civil, mecánica y eléctrica, las disciplinas pertenecientes a la ciencia pura y a la de la información, así como una extensa experiencia en la dirección de proyectos y su completa independencia tanto financiera como intelectual, garantizan un tratamiento cualificado y meticuloso de los trabajos, unas soluciones basadas en conceptos apropiados y económicos, y una gestión del proyecto a la vez en el plazo fijado y dentro del presupuesto.

La adopción de métodos de ingeniería asistidos por ordenador no sólo acelera los resultados del trabajo, sino que también induce a un enfoque sistemático y normalizado de los casos.

En el sector de la regeneración de Suelos Contaminados, los servicios típicos de consultoría que ofrece RESA/FICHTNER son los siguientes:

- Estudios de campo e investigaciones, dirigidos a la industria, y a la administración.
- Toma de muestras de agua y de suelo, así como otras investigaciones a realizar sobre el terreno.
- Elaboración y supervisión de programas de estudio y control.

- Asesoría y evaluación del potencial de riesgos.
- Ejecución de las soluciones y medidas apropiadas de regeneración y contención, con un enfoque interdisciplinario e independiente.
- Selección de procesos y de combinaciones de procesos.
- Estudios de viabilidad, comparaciones técnico-económicas.
- Plan de ejecución y especificación de las medidas de contención de la contaminación y regeneración del terreno.
- Asesoramiento en la preparación de pliegos de condiciones. Recomendación en la adjudicación del contrato.
- Dirección global del proyecto, supervisión de la obra.
- Gestión, control y evaluación de la información técnica.

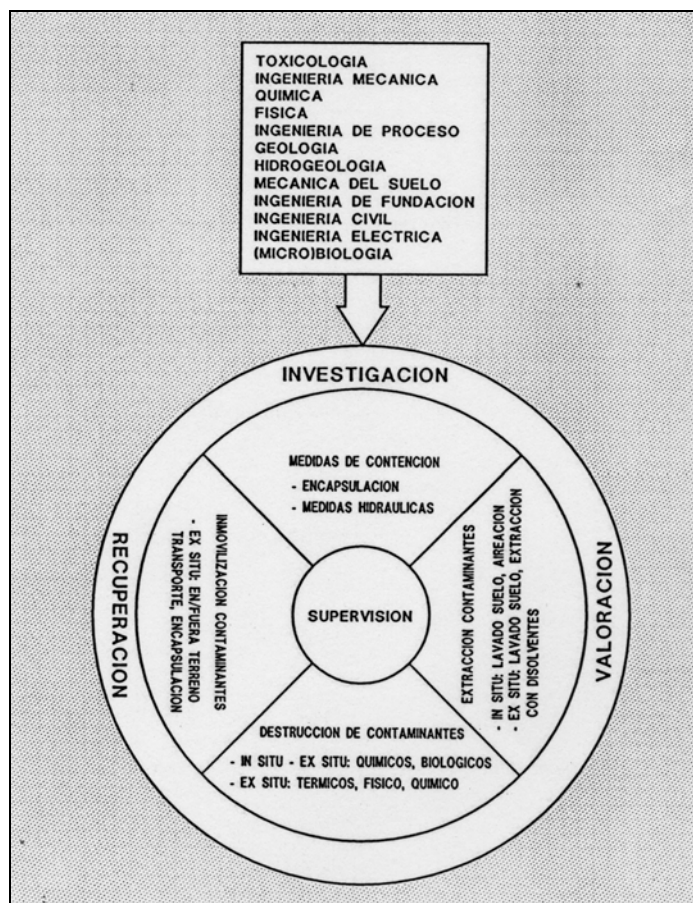


Fig. 5 Disciplinas técnicas implicadas en el desarrollo de valores para la contención y/o recuperación de suelos contaminados

Tres ejemplos de tratamientos de suelos contaminados.

Atenuación de la contaminación del vertedero de Georgswerder.

– Antecedentes.

Una parte de la recuperación del vertedero de Georgswerder implicaba el tratamiento de vertidos contaminados con dioxina que debían ser tratados en una instalación construida con este propósito.

Desde el punto de vista de la gestión de residuos y vertidos, esta instalación se debía usar no sólo para la eliminación de vertidos altamente tóxicos del vertedero de Georgswerder, sino también para residuos problemáticos o peligrosos de otros vertederos de Hamburgo y norte de Alemania, así como para residuos de producción industrial que no podían ser reciclados o tratados.

– Objetivo.

Desarrollar, utilizando la tecnología más moderna existente en el tratamiento de residuos peligrosos altamente tóxicos, una instalación para la eliminación de residuos conteniendo dioxinas furanos e hidrocarburos halogenados.

Las precauciones adoptadas para proteger al medio ambiente en dicha instalación están claramente por delante de cualquier instalación similar conocida.

– Diseño conceptual de la instalación.

El concepto desarrollado por FICHTNER en colaboración con un consultor local durante 1987-88, fué mediante un tratamiento por combustión de los residuos con horno rotativo, que constituye la línea principal del proceso y un reactor de alta turbulencia como instalación autosuficiente para el tratamiento de los residuos líquidos.

En el horno rotativo pueden ser tratados residuos sólidos, semisólidos y líquidos, mientras que el reactor de alta turbulencia se encarga sólo de los residuos líquidos. Estas dos instalaciones constituyen el núcleo de la Planta, a la cual están enlazados elementos periféricos comunes como la recepción, almacenamiento y pre-tratamiento, así como etapas de tratamiento para residuos finales y aguas residuales.

Consiguiendo una clara separación entre las distintas áreas funcionales, se consigue una Planta de diseño netamente modular.

Un ejemplo de esquema de una instalación de tratamiento se presenta en la Figura 6.

Planificación de una Planta completa de tratamiento de lixiviados para el vertedero de residuos peligrosos de Billigheim.

La instalación de tratamiento de lixiviados se construyó a partir de un estudio conceptual llevado a cabo por FICHTNER (ver Figura 7).

La necesidad de tratamiento del lixiviado provino, no tanto de la composición de dichos líquidos, sino debido a la preocupación de los explotadores de la instalación sobre los PCDD's (dibenzodioxinas policloradas) que se pensaba aparecerían en el futuro en los lixiviados.

Aunque algunos expertos creyeron que la posibilidad de que fluyeran PCDD's de los vertidos podía ser considerada como prácticamente inexistente a fines prácticos, el contrato para la eliminación de lixiviados fue hecho condicional a dicho tema y a la puesta en marcha de una instalación de tratamiento de lixiviados antes del 31 de diciembre de 1987.

Se determinaron los parámetros de diseño, sobre la base de un modelo computerizado adaptado por FICHTNER del sistema candidato seleccionado, en que se utilizaba carga adsorbente de carbón activo.

Utilizando este modelo computerizado el cual, antes de ser adaptado para ello, no se había utilizado para cálculos sobre aguas residuales, el lixiviado es dividido en un número conocido de componentes hipotéticos, basado en medidas de isothermas de adsorción.

A partir de dichos datos fue posible especificar los parámetros de diseño para la adsorción con carbón activo y calcular los períodos de los cambios del filtro de carbón activo con un alto grado de fiabilidad.

Se llevaron a cabo planes de predicción del tiempo necesario para la puesta en funcionamiento de la instalación en el caso de que aparecieran PCDD's.

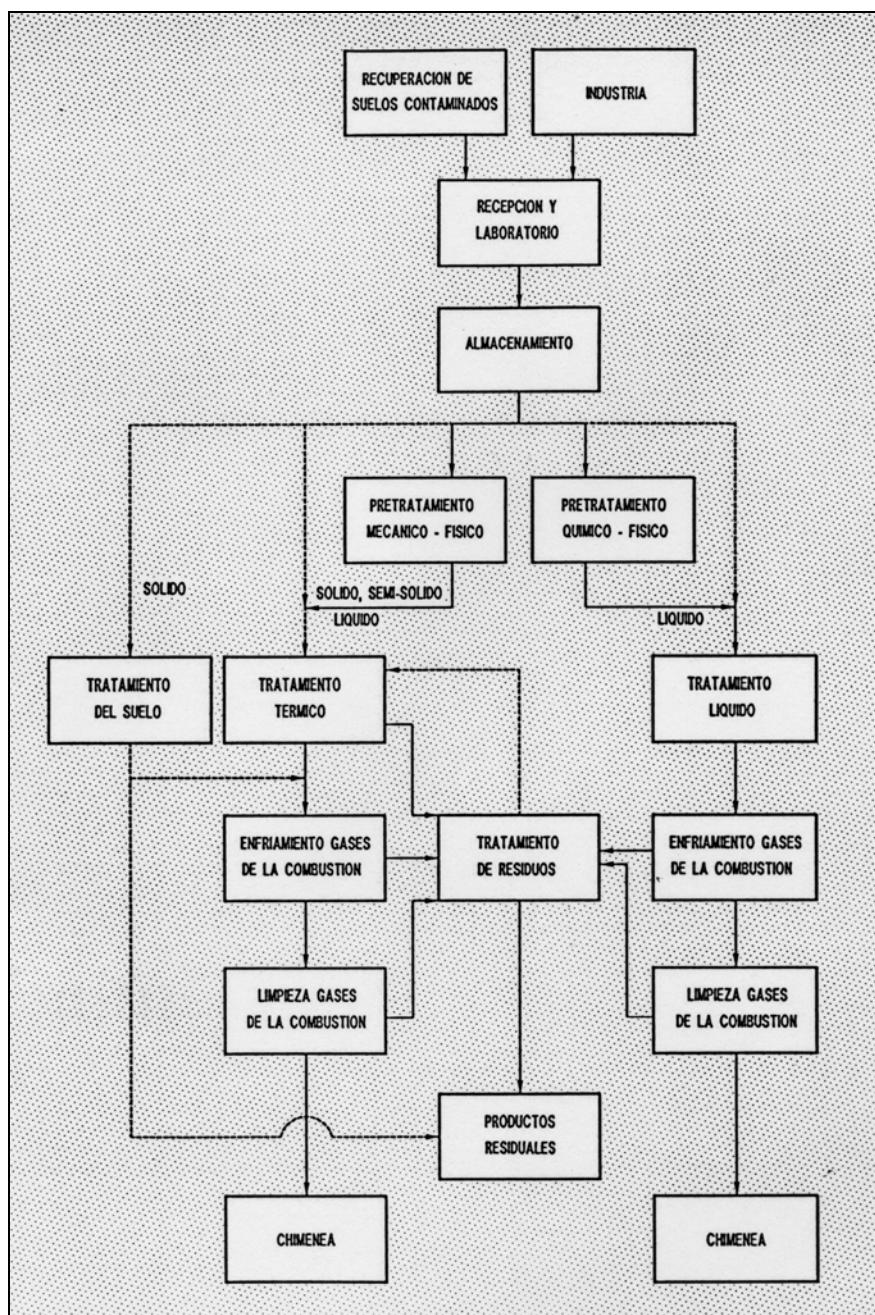


Fig. 6 Esquema de proceso de una planta de tratamiento de materiales muy contaminados extraídos de un suelo contaminado

En base a estos parámetros de diseño, se prepararon las especificaciones y los pliegos de condiciones y se invitó a las compañías especializadas a concurrir a un concurso público para la adjudicación del contrato. Las licitaciones presentadas fueron comparadas y evaluadas, tanto desde el punto de vista económico como técnico.

Paralelamente, FICHTNER elaboró la documentación de petición de los permisos de planificación según la Ley Alemana sobre Residuos, así como las especificaciones y los pliegos de especificaciones para la obra civil, también planificada por FICHTNER.



Fig. 7 Tomas de muestras de un lixiviado procedente de un vertedero conteniendo residuos tóxicos, en fase de recuperación

Después de la obtención de un permiso provisional, basado en el Art. 7 de la Ley Alemana sobre Residuos, los contratos de construcción de las plantas de adsorción y de la obra civil fueron adjudicados a finales de septiembre de 1987.

La extrema premura en los plazos de ejecución de la obra civil significaba que toda controversia entre las partes debía ser evitada, por lo que se encargó también a FICHTNER la supervisión de los trabajos de ingeniería y construcción de todo el proyecto.

Después de un período de sólo dos meses y medio, el edificio y la planta de tratamiento de lixiviados estaban ya instalados, incluyendo instrumentación y control y conexiones con la unidad existente de sedimentación y almacenaje. La planta entró en funcionamiento en el tiempo previsto, el 23 de diciembre de 1987, y se ha mantenido en funcionamiento sin interrupción desde entonces (ver Figura 8).

El método de cálculo de los períodos en que debe ser substituido el carbón activo se ha comprobado que era el correcto.

Investigaciones exploratorias y evaluaciones en el área del vertedero de Wannsee en Berlín.

Las autoridades de Berlín responsables del saneamiento público encargaron en febrero de 1988 al consorcio de consultores de ingeniería "FICHTNER-IWS-TG" el llevar a cabo las investigaciones concernientes a la posible recuperación del vertedero de Wannsee, a fin de salvaguardar la calidad del agua subterránea.

En este vertedero, ya cerrado, se habían llevado a cabo numerosas investigaciones de los terrenos adyacentes y de los estratos superiores.

Existían gran cantidad de información de la situación hidroquímica; pero había que interrelacionarla, conseguir la información adicional y elaborar una evaluación global de la situación. Las investigaciones permitirían establecer si el vertedero representaba un peligro para la calidad de las aguas subterráneas y, si era así, que medidas era necesario tomar para evitarlo.

Dentro de una amplia área comprendiendo el vertedero y sus alrededores, se elaboraron y estudiaron bases de datos concernientes a:

- Topografía.
- Condiciones meteorológicas.
- Aguas superficiales.
- Análisis hidroquímicos de los acuíferos.
- Geología, hidrología.
- Utilización de los recursos de agua subterránea.

También fue posible obtener información detallada de las autoridades de Berlín, por ejemplo, gráficos con la fluctuación de los niveles y caudales de los cursos de agua (canales de Havel y Teltow), gráficos de situación y caudales de aguas subterráneas y detalles de las condiciones del subsuelo registradas en archivos de perforaciones exploratorias efectuadas en los estratos del subsuelo en un amplia área vecina al vertedero.

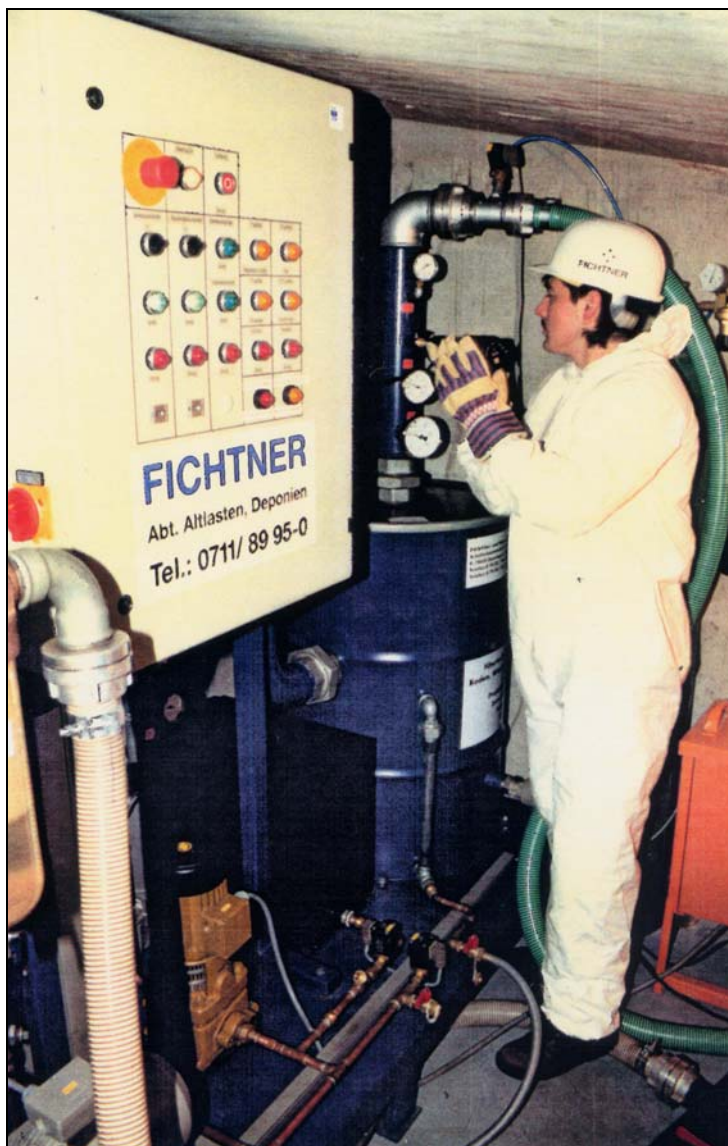


Fig. 8 Detalle de una instalación de tratamiento de lixiviados procedentes de un vertedero conteniendo residuos tóxicos y en proceso de recuperación

En el área más restringida del vertedero, los resultados de las perforaciones exploratorias con medidas de niveles de agua en el subsuelo e investigaciones físico-químicas de muestras de aguas, fueron evaluadas en conjunto con otros estudios, dentro del programa de calidad de las aguas superficiales y del subsuelo del conjunto de Berlín.

En paralelo se elaboró un estudio de la estructura y un inventario de los materiales que componían el vertedero. Esta información formó la base para una evaluación inicial de los residuos existentes. Cualquier laguna en la base de datos elaborada a partir de la compilación de los documentos existentes hasta la fecha, sería rellenada con investigaciones adicionales, a fin de hacer posible la estimación del peligro de este vertedero.

También se realizó en este proyecto un modelo matemático de las condiciones de los caudales de aguas subterráneas, incorporando los datos hidroquímicos medidos.

Las investigaciones y medidas culminaron en una evaluación final y en la definición de criterios y recomendaciones para la contención y regeneración del vertedero.

Posteriormente se encargaron los distintos trabajos de saneamiento y recuperación, entre los que destaca el proyecto y ejecución de un sistema para la extracción del biogas contenido en el subsuelo y su aprovechamiento energético, y que fue elaborado por FICHTNER.