

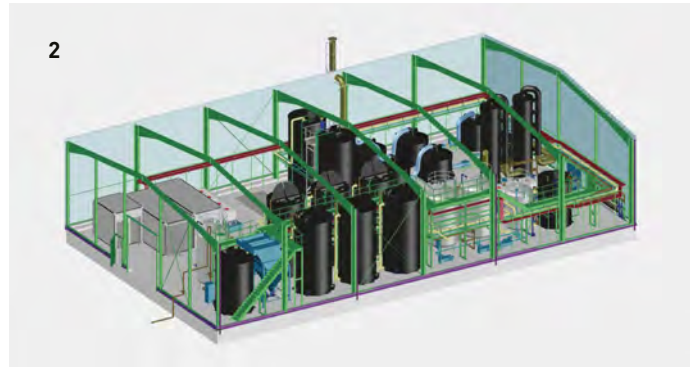
# Tecnologías in situ



**ZÜBLIN**  
WORK ON PROGRESS



1 sede central, Markgröningen / 2 3D Construcción planta de tratamiento de agua subterránea, Suiza / 3 Taller de reparación y mantenimiento de bombas



## Perfil de la empresa

Züblin Umwelttechnik GmbH, una de las principales empresas tecnológicas europeas del grupo STRABAG SE, está especializada en la remediación de sitios contaminados, el tratamiento de agua subterránea, agua de obras y túneles, así como en el tratamiento de lodos, en Alemania y el extranjero. Nuestros servicios también incluyen la remediación de confinamientos controlados de residuos peligrosos, la limpieza de biogás y gases de plantas de tratamiento y de rellenos sanitarios.

Nuestro departamento de remediación de sitios contaminados realiza proyectos específicos en Europa y en todo el mundo. En conjunto con nuestra sede central en Stuttgart y sucursales en Berlín, Bremen, Chemnitz, Dortmund, Frankfurt, Hamburgo y Nuremberg, estamos representados en todo el país. También tenemos sucursales en Francia e Italia. Todos nuestros proyectos internacionales se gestionan desde nuestra sede central de Stuttgart.

Con 30 años de labor profesional, somos un socio competente, con amplia experiencia y conocimientos por haber realizado exitosamente varios miles de proyectos de referencia. Con los esfuerzos combinados de nuestra oficina de ingeniería, nuestra propia área de construcción de plantas, procesos innovadores, una variada gama de servicios y nuestros grupos interdisciplinarios, desarrollamos soluciones personalizadas y económicas para nuestros clientes.

La seguridad laboral y la protección de la salud ocupan el primer lugar en nuestra lista de prioridades. Para garantizar un alto nivel de calidad en el área ambiental sensible, Züblin Umwelttechnik GmbH utiliza un sistema integral de la calidad (IQM) basado en la seguridad y salud en el trabajo, la protección ambiental y la gestión de la energía conforme a las normas DIN EN ISO 9001:2015, SCCP:201, DIN ISO 45001:2018, DIN EN ISO 14001:2015 y DIN EN ISO 50001:2018. Además, somos una empresa especializada certificada de conformidad con la Ley Federal Alemana de Aguas (WHG), así como una empresa certificada en gestión de residuos. ¡No dude en ponerse en contacto con nosotros! Le ofrecemos soporte competente y confiable en todos sus proyectos.

# Índice

- 2 Perfil de la empresa
- 3 Índice
- 4 Tecnologías in situ innovadoras y convencionales
- 5 Análisis microbiológicos/pruebas de degradación
- 6 Oxidación biológica in situ (ISBO)
- 7 Reducción biológica in situ (ISBR)
- 8 Oxidación química in situ (ISCO)
- 9 Extracción de vapor del suelo (SVE)
- 10 Inyección de aire in situ (ISAS)
- 11 Bio-Sparging in situ (ISBS)
- 12 Remediación térmica in situ (ISTH)
- 14 Remoción in situ de hierro/  
manganeso (ISDD)
- 15 Pruebas de laboratorio/campo
- 16 Bombeo y tratamiento (P&T)
- 18 Tratamiento del aire de proceso
- 19 Otras tecnologías in situ
- 20 Nuestros sitios

# Tecnologías in situ innovadoras y convencionales

## Nuestras innovadoras tecnologías in situ

- Oxidación biológica in situ (ISBO)
- Reducción biológica in situ (ISBR)
- Oxidación química in situ (ISCO)
- Reducción química in situ (ISCR)
- Remediación térmica in situ (ISTH)
- Eliminación de hierro/manganeso (ISEE)
- Barrera reactiva permeable (PRB)
- Otros

## Nuestras tecnologías convencionales in situ

- Bombeo y tratamiento (P&T)
- Inyección de aire in situ (ISAS)
- Bio-inyección in situ (ISBS)
- Extracción de vapor del suelo (EVS)
- Extracción multifásica (MPE)
- Otros

## Nuestros servicios

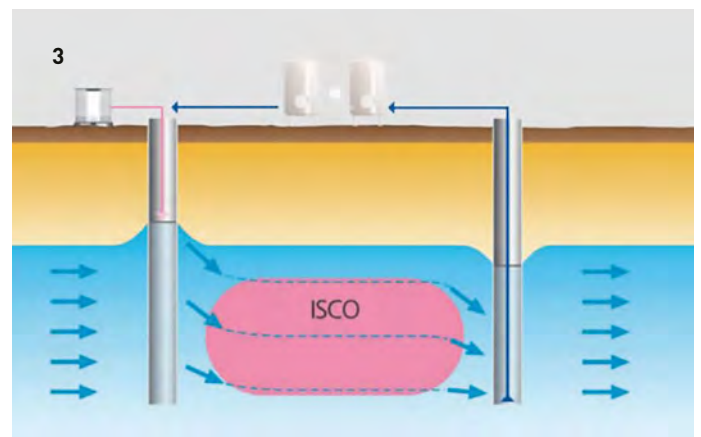
- Asesoramiento técnico / conceptos
- Mantenimiento y explotación
- Taller de mantenimiento y reparación de bombas
- Optimización de plantas existentes
- Transferencia de tecnología
- Montaje/desmontaje
- Puesta en marcha

Züblin Umwelttechnik GmbH es uno de los principales especialistas en el sector de las tecnologías in situ innovadoras y convencionales. Ninguna otra empresa dispone de una cartera tan amplia de tecnologías de saneamiento. Innumerables proyectos de referencia realizados con éxito tanto en Alemania como en el extranjero dan fe de ello.

En Alemania, hemos realizado con éxito sostenible la primera rehabilitación térmica in situ, la primera oxidación química in situ a gran escala y la primera barrera reactiva permeable (PRB) in situ a gran escala. Además, estamos especializados en tecnologías innovadoras, como la reducción biológica in situ (ISBR) y la eliminación de hierro/manganeso in situ (ISDD). Los procesos convencionales probados como el bombeo y tratamiento, la inyección de aire / bio-inyección in situ (ISAS/ISBS) y la extracción de vapor del suelo (EVS) siguen desempeñando un papel importante en nuestra gama de servicios.

Para mantener nuestra ventaja técnica, trabajamos en estrecha colaboración con universidades, academias e institutos. Nuestras actividades de investigación tienen como objetivo no sólo desarrollar nuevos procesos acordes con la demanda de los clientes, sino también mejorar constantemente su eficiencia para poder ofrecer soluciones accesibles y sostenibles en el mercado. Planificamos y construimos cada planta individualmente para satisfacer los requisitos de nuestros clientes. Si es necesario, también nos encargamos del mantenimiento y el servicio de las plantas, independientemente de que se trate de obras sencillas o complejas.

Una ventaja significativa de todos los procesos in situ es su nulo impacto al medio ambiente, ya que los contaminantes se eliminan directamente in situ. De este modo, se evita la excavación de suelos contaminados, que consume muchos recursos y debe transportarse largas distancias para su disposición. Nuestras tecnologías inteligentes in situ son la mejor opción cuando se trata de sustentabilidad/protección ambiental.





4 Laboratorio moderno, GCMS,  
© Daniel Buchner/

5 MolaZUT<sup>®</sup> Microorganismos/  
6 Degradación microbiológica, Reactor  
de biopelícula/  
7 Degradación microbiológica,  
Pruebas en columna



# Pruebas microbiológicas y de degradación

## Servicios especializados

- Pruebas biológicas moleculares:
  - Organismos, copias de genes, enzimas
  - Análisis de isótopos  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ , etc.
  - Estudios de factibilidad,
  - pruebas de degradación
  - Otros estudios y pruebas

La mayoría de los contaminantes orgánicos pueden ser degradados por microorganismos específicos en condiciones ambientales adecuadas. La degradación biológica de los hidrocarburos alifáticos y aromáticos tiene lugar en condiciones aerobias. Sin embargo, se requiere un entorno estrictamente anaeróbico para la dechloración completa del tetracloroetileno (PCE) a etileno.

Para evaluar el potencial de degradación biológica in situ de un sitio contaminado, se requieren más investigaciones especializadas además de los análisis convencionales de contaminantes y la determinación del entorno geoquímico. Con la ayuda de modernos métodos de biología molecular se puede comprobar si los microorganismos específicamente necesarios están presentes en cantidades suficientes. Si es necesario, se puede suministrar una fuente de carbono adecuada para estimular la biodegradación. Si no están presentes las bacterias específicas capaces de degradar, esta deficiencia puede compensarse mediante la bioaugmentación agregando determinados cultivos microbianos.



Si la reducción de los niveles de contaminación se debe a la degradación biológica sólo puede confirmarse mediante análisis de isótopos  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ . Con estudios de factibilidad en pruebas comparativas de lotes o columnas se puede obtener más información acerca de la degradación de los contaminantes, lo cual puede ser importante para la remediación en campo.

A la hora de realizar pruebas microbiológicas y de degradación, se demuestra el valor de nuestra estrecha colaboración durante muchos años con universidades, academias e institutos de investigación.

# Oxidación biológica in situ (ISBO)

## Aplicaciones

- Agua subterránea, zona saturada
- Suelos con permeabilidad alta/baja
- BTEX, HC, AHC, fenoles, en parte PAH, alcohol, éteres, cetonas, en parte hidrocarburos clorurados, etc.
- Plumas de contaminantes
- Hotspots

## Ventajas

- Respetuoso con el medio ambiente
- Sostenible
- Rentable

## Tecnología

- Estaciones de dosificación: Agentes oxidantes, sustratos auxiliares
- Pozos/sondas de inyección
- Pozos de circulación de agua subterránea (GCW)
- Inyección a presión controlada mediante tubos de inyección a diferentes profundidades
- Tratamiento del agua de proceso
- Sensores de monitoreo

La oxidación biológica in situ (ISBO) – también denominada remediación microbiológica in situ o atenuación natural mejorada (ENA) – se emplea desde hace muchos años para remediar daños por combustibles, gasolineras, terminales de almacenamiento o refinerías. El proceso ISBO es especialmente adecuado no sólo para la degradación oxidativa de hidrocarburos alifáticos y aromáticos, sino también para muchos otros contaminantes. Estos contaminantes son convertidos por microorganismos específicos en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O directamente en el subsuelo en condiciones aeróbicas.

Nuestra estrategia, por tanto, pretende fomentar el potencial de degradación natural de los microorganismos existentes in situ. Con la ayuda de nuestros métodos de inyección y sustratos de nutrientes, creamos las condiciones ambientales necesarias para potenciar la degradación microbiológica. Además de los contaminantes y las condiciones ambientales, se presta especial atención a la estructura del subsuelo.

Mientras que los microorganismos necesarios están casi siempre presentes in situ, el oxígeno o los agentes oxidantes y los nutrientes constituyen con frecuencia los factores limitantes para la biodegradación. Para lograr una degradación eficaz de los contaminantes, es necesario eliminarlos mediante el suministro de sustratos de nutrientes. Para la aireación de la zona saturada, empleamos diversos métodos: inyección de aire in-situ (ISAS) y bio-aspersión in-situ (ISBS), adición y distribución de oxígeno atmosférico o sustrato de nutrientes a través de pozos/sondas de inyección, así como pozos de circulación de agua subterránea y otros métodos.

1 | contenedor ISBO, Italia / 2 | contenedor ISBO/ filtro vertical, Alemania / 3 | Puntos suministro de O<sub>2</sub> al agua subterránea, Alemania



# Reducción biológica in situ (ISBR)

## Applications

- Agua subterránea, zona saturada
- Suelos con permeabilidad alta/baja
- Etilenos clorados (PCE, TCE, cDCE, VC), Percloratos, RDX,  $\text{CrO}_4^{2-}$ , etc.
- Plumas de contaminantes
- Hotspots

## Ventajas

- Respetuoso con el medio ambiente
- Duradero
- Rentable

## Tecnología

- Estaciones de dosificación para medios auxiliares/de cultivo: MolaZUT®, melaza, lactato, etc.
- Pozos/sondas de inyección
- Pozos de circulación de agua subterránea
- Inyección a presión controlada mediante tubos de inyección a diferentes profundidades
- Tratamiento del agua de proceso
- Sensores de monitoreo

El método de reducción biológica in situ (ISBR) se utiliza principalmente para la degradación de hidrocarburos clorados. En condiciones anaeróbicas estrictas, microorganismos específicos pueden degradar completamente el Tetracloroetileno (PCE) y el Tricloroetileno (TCE) a través de los productos intermedios cis-Dicloroetileno (cDCE) y Cloruro de Vinilo (VC) hasta el producto final etileno. Esta deshalogenación reductora requiere compuestos orgánicos de carbono, por ejemplo: melaza, etanol, lactato o aceite de soya como sustrato auxiliar. Nuestro producto de desarrollo propio MolaZUT® combina las ventajas de varias fuentes de carbono y se ha consolidado en la práctica como un sustrato auxiliar económico y muy eficaz. La cantidad necesaria de este sustrato depende de los aceptores de electrones disponibles.

Para comprobar el potencial de degradación biológica de los contaminantes existentes, realizamos pruebas microbiológicas con ayuda de modernos métodos de biología molecular y análisis de isótopos.

Por lo general, los microorganismos degradadores de contaminantes están presentes en el sitio. Si no es así, llevamos a cabo la denominada bio-aumentación. En otras palabras, aislamos y propagamos cepas bacterianas degradadoras de contaminantes y las inyectamos directamente en las zonas contaminadas para acelerar la degradación.

4 cultivo de microorganismos / 5 rehabilitación combinada ISCO/ISBR, Alemania / 6 estación de dosificación totalmente automática, MolaZUT®



# Oxidación química in situ (ISCO)

## Aplicaciones

- Amplio espectro de contaminantes:
- CHC, BTEX, AKW, PAH, HC, etc.
- Agua subterránea, zona saturada
- Suelos de alta y baja permeabilidad
- Concentración de contaminantes de media a alta
- Zonas de origen de los contaminantes

## Ventajas

- Amplio espectro de contaminantes:
- CHC, BTEX, AKW, PAH, HC, etc.
- Agua subterránea, zona saturada
- Suelos de alta y baja permeabilidad
- Concentración de contaminantes de media a alta
- Zonas de origen de los contaminantes

## Ficha técnica

- Estación de dosificación de agentes oxidantes: Permanganato, persulfato, reactivo de Fenton, etc.
- Pozos/sondas de inyección
- Tubos de inyección a presión controlada a diferentes profundidades
- Pozos de circulación de agua subterránea
- Tratamiento del agua de proceso

Züblin Umwelttechnik GmbH es el especialista líder en oxidación química in situ (ISCO). Llevamos a cabo el primer proyecto ISCO a escala industrial en Alemania hace aproximadamente 20 años y logramos un éxito duradero. Desde entonces, hemos empleado y desarrollado constantemente la tecnología ISCO en más de 50 proyectos piloto y de remediación en diversos sitios.

El principio funcional de la oxidación química in situ (ISCO) se basa en introducir agentes oxidantes adecuados al subsuelo y distribuirlos de forma que lleguen a los contaminantes presentes en el suelo. Sólo cuando el agente oxidante entra en contacto directo con el contaminante es posible una oxidación in situ rápida y completa. Disponemos de tecnologías de inyección especiales para distribuir homogéneamente los agentes oxidantes no sólo en acuíferos de alta permeabilidad, sino también mediante inyección a presión controlada a diferentes profundidades en subsuelos de baja permeabilidad.

El proceso ISCO es especialmente adecuado para contaminantes orgánicos en un rango de concentración media a alta, así como para el saneamiento de zonas de origen de los contaminantes. Dependiendo de los contaminantes y de las características del subsuelo, empleamos principalmente permanganato o persulfato y, en algunos casos, también el reactivo de Fenton como agente oxidante. Una ventaja particular de la ISCO en comparación con los métodos de remediación convencionales es el hecho de que los contaminantes pueden ser destruidos muy rápidamente, por lo que el tiempo de remediación puede reducirse significativamente.

[Vídeo: Inyección controlada por presión a diferentes profundidades](#)



- 1 Proyecto ISCO con tubos de inyección, Francia /
- 2 Estación de dosificación de permanganato, Alemania /
- 3 Inyección de persulfato, Alemania





# Extracción de vapores del suelo (EVS)

## Aplicaciones

- Contaminantes volátiles: CHC, BTEX, HCA, otros hidrocarburos, H<sub>2</sub>S, etc.
- Zonas de origen de la contaminación, contaminación extensiva
- Zona de suelo no saturada
- Suelos de permeabilidad alta a baja

## Ventajas

- Alta eficacia
- Flexible
- Rentable

## Tecnología

- Pozos de extracción/sistemas de drenaje
- Compresor
- Limpieza del aire de proceso:
- Filtro de carbón activado para aire sin/ con regeneración por vapor,
- instalación de oxidación catalítica, post-combustión regenerativa, postcombustión térmica, biofiltro
- Tecnología de medición:
- Caudal, presiones, PID, IR, GC, etc.
- Control totalmente automático
- Preparación/evaluación de datos
- Protección contra explosiones

La extracción de vapores del suelo (EVS) es el proceso de remediación in situ más rentable para la zona de suelo no saturada. Desde un punto de vista técnico, es sencillo de aplicar y ha demostrado su eficacia durante muchas décadas en la remediación de suelos contaminados.

Los contaminantes volátiles, como los hidrocarburos clorurados (CHC), los BTEX, los hidrocarburos aromáticos (HCA) y los HC de cadena corta, pueden eliminarse in situ de la zona de suelo no saturada mediante la extracción de vapores del suelo. Una planta de extracción para SVE comprende uno o más niveles de aire del suelo, un compresor y la limpieza del aire residual partir de su ubicación. El rango de influencia de una extracción de vapores del suelo depende sobre todo de la permeabilidad del suelo, así como de la presión negativa (presión subatmosférica) aplicada y de la velocidad de extracción. Dependiendo del espectro y de la carga de contaminantes, el tratamiento del vapor de suelo extraído suele llevarse a cabo mediante adsorción en carbón activado o mediante postcombustión catalítica. En algunos casos, se utilizan filtros de carbón activado, regenerable por vapor con recuperación de disolventes, así como plantas de postcombustión regenerativa o postcombustión térmica y biofiltros.

La extracción de vapores del suelo es parte esencial de los métodos de tratamiento in situ con aire a presión (ISAS) y de saneamiento térmico in situ (ISTH) y se utiliza frecuentemente en combinación con tecnología de medición.



# Inyección de aire in situ (ISAS)

## Aplicaciones

- Contaminantes volátiles:
- VOC, BTEX, HC, otros hidrocarburos, etc.
- Zonas de origen de contaminantes, contaminación extensa
- Zona saturada,
- Franja capilar en acuíferos
- Suelos con alta permeabilidad
- Zonas pequeñas y medianas, mega sitios

## Ventajas

- Rentabilidad
- Sin tratamiento directo del agua
- Extracción optimizada de contaminantes
- Reducción del consumo de energía
- Limpieza adaptada del aire residual
- Aireación adicional para la degradación biológica

## Ficha técnica

- Sondas de inyección de aire
- Pozo/drenaje de extracción de vapor del suelo
- Compresores
- Limpieza del aire residual:
- Filtro de carbón activado, oxidación catalítica, postcombustión regenerativa, postcombustión térmica, biofiltro
- Tecnología de medición:
- Caudal, presiones, PID, IR, GC, etc.
- Pruebas de rastreo:
- SF6, Helio
- Control totalmente automático
- Preparación/evaluación de datos
- Protección contra explosiones certificada
- Sensores de control

La inyección de aire in situ (ISAS) es una tecnología para eliminar contaminantes volátiles de la zona saturada de agua. Ha demostrado su eficacia durante décadas y es fácil de aplicar. El principio básico de ISAS se basa en la inyección de finas burbujas de aire en la zona saturada por debajo de los contaminantes. Los contaminantes presentes en el agua subterránea ascienden a la zona de suelo no saturada en donde se aspiran y limpian en un sistema adecuado in situ.

Züblin Umwelttechnik GmbH utiliza ISAS desde hace aproximadamente 20 años y ha perfeccionado el proceso para que sea significativamente más eficiente y requiera menos energía. Esto se consigue mediante pulsos de inyección cortos cuya frecuencia y duración dependen de la descarga óptima de contaminantes. Esto significa que las zonas muy contaminadas reciben un tratamiento más intensivo que las poco contaminadas, con lo que la duración del saneamiento se acorta considerablemente. La extracción de contaminantes se registra en línea mediante PID, IR o GC, se mide y evalúa para optimizar el funcionamiento.

Hemos empleado, con éxito duradero, la tecnología ISAS en diversos sitios, por ejemplo, antiguas tintorerías e industrias químicas, metalúrgicas y eléctricas. Llevamos a cabo el mayor proyecto ISAS con una superficie de 120 mil m<sup>2</sup> en el emplazamiento de una antigua refinería.



1

1 supervisión de la planta ISAS / 2 Mega sitio ISAS, Alemania / 3 PID para la supervisión del aire de proceso / 4 Contenedor de la planta ISAS, Alemania



2



3



4

# Bio-Sparging in situ (ISBS)

## Aplicaciones

- Agua subterránea, zona saturada
- BTEX, hidrocarburos, HC, fenoles, en parte PAH, alcoholes, éteres, cetonas, en parte VOC, etc.
- Plumas de contaminantes
- Hotspots

## Ventajas

- Respetuoso con el medio ambiente
- Duradero
- Rentable

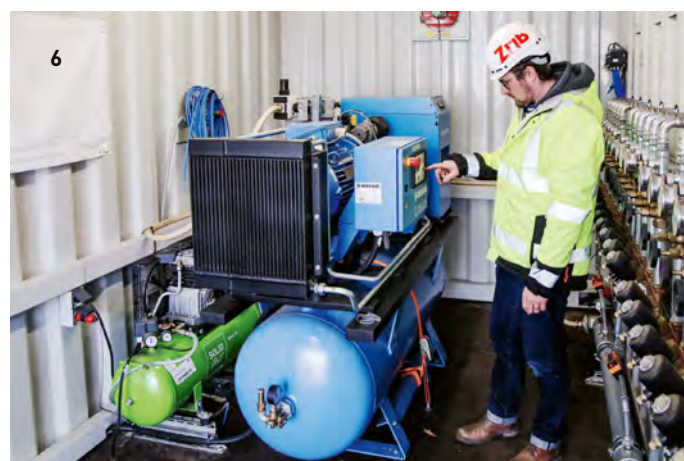
## Tecnología

- Sondas de inyección de aire
- Compresores
- Tecnología de medición:
- Caudal, presiones
- Pruebas de trazadores: SF<sub>6</sub>, Helio
- Control totalmente automático
- Preparación/evaluación de datos

La inyección de aire in situ (ISAS) se emplea no sólo para eliminar los contaminantes volátiles del agua subterránea, sino también para enriquecer y airear con oxígeno la zona saturada. Si el objetivo principal que se persigue con la ayuda de la inyección de aire es mejorar la degradación biológica mediante la aireación, esta tecnología se denomina Bio-Sparging in situ (ISBS). Los contaminantes se degradan en condiciones aeróbicas, por lo que el método se conoce como oxidación biológica in situ (ISBO).

La ISBS es un método muy rentable para aumentar el contenido de oxígeno en las zonas contaminadas. La dispersión del aire inyectado en la zona saturada puede verificarse mediante pruebas de trazador SF<sub>6</sub>. El radio de influencia de la inyección puede determinarse con ayuda de helio, que no tiene efectos adversos sobre el medio ambiente.

El oxígeno disuelto es con frecuencia el factor limitante para la degradación biológica cuando la concentración de contaminante es muy alta. Esta deficiencia puede eliminarse añadiendo oxígeno industrial u otros aceptores de electrones. La profundidad máxima a la que inyectamos aire para la ISBS fue de aproximadamente 40 m por debajo del subsuelo y se llevó a cabo en un vertedero abandonado perteneciente a la industria química.



5 ISBS, Industria Química, Suiza/ 6 Mantenimiento de la planta ISBS/  
7 Visualización panel operativo

# Remediación térmica in situ (ISTH)

## Aplicaciones

- Contaminantes alta y moderadamente volátiles:
- CHC, BTEX, HCA, PAH, hidrocarburos, etc.
- Mezclas contaminantes muy viscosas:
- Alquitranses, aceites minerales, etc.
- Zona no saturada y parcialmente saturada
- Zonas de origen de contaminantes

## Ventajas

- Tiempo reducido de remediación
- Rendimiento de descontaminación extremadamente alto
- Eficaz en subsuelos de baja permeabilidad
- Combinable con otros procesos

## Ficha técnica

- Pozo de inyección/extracción
- Generador de vapor/caldera
- Lanzas térmicas: funcionan con vapor caliente/eléctricamente/combustibles
- Sensores térmicos
- Extracción/refrigeración del vapor del suelo
- Plantas depuradoras de aire residual:
- Filtro de carbón activado, oxidación catalítica, postcombustión regenerativa, postcombustión térmica, antorcha de alta temperatura
- Tecnología de medición:
- Caudal, presiones, PID, IR, GC, etc.
- Preparación/evaluación de datos
- Protección contra explosiones certificada

Züblin Umwelttechnik GmbH llevó a cabo la primera remediación térmica in situ en 1997 en Alemania y desde entonces ha seguido ampliando y desarrollando esta tecnología y sus posibles campos de aplicación. En los últimos años, la remediación térmica in situ ha experimentado un renacimiento y hemos llevado a cabo numerosos proyectos, incluido uno en un mega sitio de China.

El proceso de remediación térmica in situ (ISTH) consiste en la inyección de energía térmica en el subsuelo. Esto moviliza los contaminantes existentes aumentando su volatilidad y solubilidad en el agua y reduciendo su viscosidad y tensión superficial.

La entrada de energía en el subsuelo se consigue mediante la inyección de vapor y agua caliente en función del tipo de contaminante y subsuelo o mediante fuentes de calor fijas que funcionan con electricidad o combustibles, siendo la convección y la conducción los procesos decisivos de la entrada/transporte de calor.

El proceso de remediación térmica in situ (ISTH) es adecuado en particular para la remediación de zonas de suelo no saturado y en las zonas de saturación intermitente, bajo ciertas condiciones también es adecuado en zonas de suelo saturadas de agua.



[Vídeo:](#)  
[Inyección de vapor y aire](#)



[Vídeo:](#)  
[Fuentes de calor fijas](#)



1 ISTH, inyección de vapor y aire, planta móvil /  
2 Horno de alta temperatura

Con ayuda de la remediación térmica in situ, no sólo pueden eliminarse del subsuelo contaminantes altamente volátiles, sino también compuestos en el intervalo de ebullición de hasta 400 °C aproximadamente. Cabe destacar también el hecho de que los suelos con baja permeabilidad pueden tratarse eficazmente. Una barrera hidráulica es esencial para detener el flujo de DNAPL, por ejemplo, hidrocarburos clorurados (CHC).

Las dos ventajas más significativas de la remediación térmica in situ (ISTH) en comparación con los métodos de remediación convencionales son, por un lado, el tiempo de remediación enormemente reducido de sólo unas pocas semanas o meses y, por otro lado, el alto rendimiento de remediación, particularmente en subsuelos que tienen baja permeabilidad. Con nuestra tecnología de remediación térmica in situ (ISTH) podemos alcanzar concentraciones residuales extremadamente bajas que no son posibles con otros procesos de remediación in situ.



3 ISTH, lanzas térmicas accionadas eléctricamente, Suiza © SBB OFF FFS / 4 ISTH, inyección de vapor y aire, Alemania / 5 ISTH, lanzas térmicas accionadas por gas, China





1



2



3



4

1 cascada, IGA Berlín / 2 tecnología de remoción de hierro y manganeso in situ, riego, IGA Berlín / 3 Tratamiento del agua de refrigeración - Industria, Alemania / 4 Prueba piloto - aire acondicionado en edificios, Italia

## Aplicaciones

- Energía geotérmica/climatización de edificios
- Tratamiento de agua potable/agua de proceso
- Saneamiento de agua subterránea
- Riego de parques
- Explotación de pozos

## Ventajas

- Respetuoso con el medio ambiente
- Sólo se utiliza oxígeno atmosférico para funcionar
- Sin productos químicos
- Bajos costos de funcionamiento y mantenimiento
- No hay que eliminar lodos de hierro/manganeso
- Mucho más barato que el bombeo y tratar
- Ampliable

## Tecnología

- Pozo de extracción/infiltración
- Inyector
- Tanque de aireación/desgasificación
- Tecnología de medición
- PLC

# Remoción de hierro y manganeso (ISDD)

La remoción de hierro y manganeso in situ se utiliza industrialmente desde hace más de 100 años. En la actualidad, varios miles de plantas grandes y pequeñas están en funcionamiento en Alemania y Europa. Junto con la Universidad de Stuttgart, Züblin Umwelttechnik GmbH ha perfeccionado este proceso y lo lleva aplicando desde hace 20 años.

La tecnología de remoción de hierro y manganeso in situ se lleva a cabo con dos o más pozos. El agua subterránea reducida se extrae, se enriquece con oxígeno atmosférico y se reinfiltra un flujo parcial del agua. Esto genera la formación de una zona de oxidación alrededor del cribado del pozo en la que los compuestos reducidos y solubles de hierro y manganeso se oxidan y se adsorben en las fracciones de grano del suelo. Tras una breve fase inicial, el agua subterránea libre de hierro puede extraerse permanentemente del pozo sin que disminuya el rendimiento. Así lo confirman largos años de pruebas y la experiencia que nosotros mismos hemos adquirido. El manganeso tarda algunas semanas en caer por debajo de los valores objetivo, ya que intervienen procesos biológicos.

El método de remoción de hierro y manganeso in situ es respetuoso con el medio ambiente y rentable. De este modo, se pueden cumplir de manera confiable los valores límite de la normatividad alemana sobre agua potable de 0,2 mg/l para el hierro y 0,05 mg/l para el manganeso. Se puede prescindir de costosa tecnología de instalaciones en superficie.

Las aplicaciones más importantes se encuentran en la energía geotérmica cercana a la superficie para la climatización sostenible de edificios, en la remediación de aguas subterráneas, en el tratamiento tanto del agua potable como del agua de proceso, así como en el riego de jardines y parques.

# Pruebas de laboratorio y en el sitio

Buscamos continuamente soluciones innovadoras para los problemas medioambientales y sitios contaminados. Para establecer nuevas tecnologías in situ y seguir desarrollando los métodos disponibles, realizamos pruebas tanto a nivel de laboratorio como a nivel mejores prácticas técnicas en el sitio. Empleamos métodos modernos y trabajamos en estrecha colaboración con universidades, academias e institutos de investigación.

En la práctica de la remediación, sobre todo cuando se trata de lugares complejos o con requisitos especiales, se recomienda realizar pruebas de laboratorio. Éstas pueden confirmar la factibilidad real de un proyecto. Con ayuda de pruebas sobre el terreno y plantas móviles, pueden verificarse los resultados de laboratorio. En cuanto al saneamiento final, pueden determinarse datos importantes para el dimensionamiento y la optimización de un método in situ.



6 UV/O<sub>3</sub> Purificación de aire residual/ 7 Prueba de laboratorio ISCO/  
5,8,9 Instalaciones de prueba para material adsorbente, IAT/  
10 Prueba de campo ISCO, Alemania



# Pump and treat (P&T)

## Tecnología de Tratamiento del agua

- Filtro de carbón activado
- Reactor de biopelícula ZÜBLIN
- Remoción de hierro/manganeso
- Precipitación/floculación
- Sedimentación
- Filtro de arena
- Intercambiador de iones
- Neutralización
- Adsorbente de metales pesados
- Plantas de desorción
- Sistemas de separación de fases
- Tecnología de medición
- Sistema de control/supervisión de fallas
- Otros servicios

El método de bombeo y tratamiento se puede emplear tanto para el saneamiento de agua subterránea, como para una barrera hidráulica de un acuífero contaminado. El agua contaminada se bombea desde uno o varios pozos y se trata adecuadamente en una planta situada aguas abajo. Además de los pozos convencionales, la extracción de aguas subterráneas y la reinfiltración también pueden realizarse mediante pozos de circulación, lo que mejora la eliminación de contaminantes.

El método convencional de bombeo y tratamiento sigue siendo una de las tecnologías más importantes en la remediación de sitios contaminados y puede combinarse con tecnologías in situ innovadoras. Planificamos y construimos cada planta individualmente para satisfacer los requisitos de nuestros clientes. Si lo desea, también nos encargamos del mantenimiento y el servicio y asumimos la responsabilidad del funcionamiento de la planta, independientemente de que se trate de un caso sencillo o complejo.

## Tratamiento del agua

Según el tipo y la carga contaminante, se realiza el saneamiento del agua mediante procesos de tratamiento químico-físico o biológico. Según las necesidades y la calidad, el agua tratada se reinfiltra en el acuífero o se descarga en las aguas superficiales o en la red de alcantarillado.



1 contaminación por PFAS, Berlín / 2 antigua planta química, Francia / 3 contaminación por arsénico/BTEX, Australia





# Pump & Treat - Ejemplos de proyectos

Llevamos más de 30 años suministrando al mercado europeo e internacional nuestras plantas de tratamiento de aguas subterráneas de producción propia. Las ilustraciones muestran una selección de nuestros proyectos actuales.

4 planta de depuración de PFAS para riego, Alemania /  
5 Industria pesada, Austria / 6 industria química, México /  
7 Industria, Italia / 8 montaje de una planta de saneamiento  
de aguas subterráneas / 9 Sitio militar abandonado Dethlinger  
Teich, Alemania /



# Tratamiento del aire de proceso

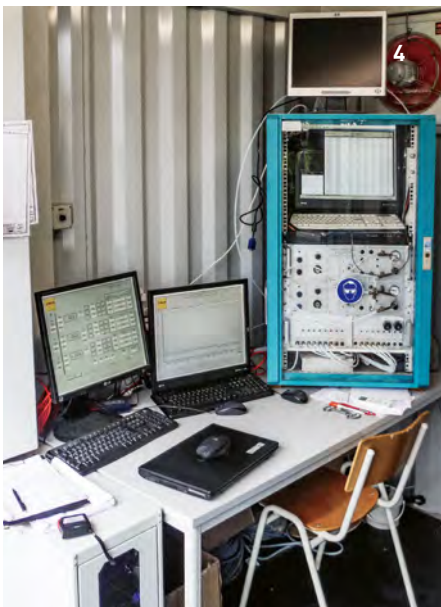
## Tecnología

- Filtro de aire con carbón activado
- Filtro de aire para carbón activado regenerado por vapor
- Biofiltro
- Oxidación catalítica
- Postcombustión regenerativa
- Postcombustión térmica, horno de alta temperatura
- Protección contra explosiones certificada
- Tecnología de medición: Caudal de aire, subpresión, temperatura, etc. GC, IR, PID, FID
- Sistema de control/supervisión de fallos

El aire de proceso se genera no sólo como resultado de la eliminación de contaminantes volátiles de las aguas subterráneas mediante la desorción e inyección de aire, sino también del suelo mediante la extracción convencional de vapor del suelo y la remediación térmica in situ. Este aire se trata en un ciclo cerrado o se libera a la atmósfera tras su purificación.

Según el tipo y la carga de los contaminantes, se emplean diversos procesos para limpiar el aire de proceso, en la mayoría de los casos, filtros de aire con carbón activado. Si los contaminantes no pueden adsorberse en el carbón activado o si las cargas son demasiado elevadas para mantener un funcionamiento económico, la depuración se lleva a cabo con ayuda de procesos térmicos, por ejemplo, oxidación catalítica, postcombustión regenerativa o postcombustión térmica/horno de alta temperatura. Los biofiltros pueden emplearse para contaminantes biodegradables. Si se prevé la presencia de una mezcla explosiva en el aire de proceso, la tecnología de la planta debe estar equipada con protección contra explosiones de acuerdo con la normatividad ATEX.

Los caudales de nuestras plantas de purificación de aire de proceso oscilan entre 50 m<sup>3</sup>/h y 15.000 m<sup>3</sup>/h aproximadamente. Se pueden solicitar tamaños especiales.



1 filtro de aire con carbón activo, regenerable por vapor, Berlín / 2 Filtro de aire con carbón activo, Suiza / 3 oxidación catalítica, Alemania / 4 Medición del aire residual con cromatografía de gases, Suiza / 5 postcombustión regenerativa, Alemania / 6 Postcombustión térmica/horno de alta temperatura, Alemania/

# Tecnologías adicionales in situ

## Reducción química in situ (ISCR)

El principio funcional de la reducción química in situ se basa en inyectar aditivos químicamente reductores en el subsuelo y reducir así químicamente los contaminantes de forma directa. El principal agente reductor utilizado es el hierro cero ( $\text{Fe}^0$  / ZVI) en forma de micro- o nano-hierro que reacciona con el agua para formar hidrógeno que de clora totalmente los hidrocarburos organoclorados por medios reductores. El  $\text{Cr}^{6+}$ , el perclorato, el TNT y otros compuestos también se encuentran entre los contaminantes que pueden tratarse con ayuda del proceso de reducción química in situ ISCR. Para la reducción de  $\text{Cr(VI)}$  a  $\text{Cr(III)}$  insoluble, también son posibles otros aditivos reductores, por ejemplo, ditionito de sodio o  $\text{Fe(II)}$ .

## Depuración innovadora de aguas subterráneas - Humedal

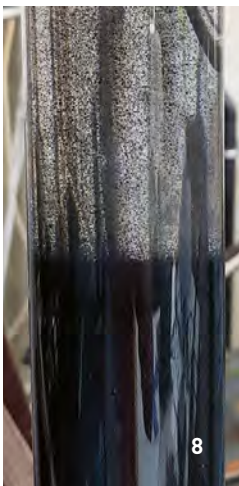
Como alternativa al método convencional de bombeo y tratamiento, las aguas subterráneas contaminadas también pueden limpiarse mediante los llamados humedales o filtros de suelo de flujo vertical. Este innovador proceso de limpieza biológica de aguas subterráneas es rentable, especialmente si los caudales son bajos.

## Extracción multifase (MPE)

La extracción multifase (MPE) es una tecnología de remediación in situ que puede extraer simultáneamente vapor de suelo, agua subterránea y fase ligera flotante de un pozo a alta presión negativa. El proceso suele aplicarse en suelos que tienen una permeabilidad moderada.



7 humedal, filtro de suelo de flujo vertical, Alemania/ 8 Reducción química in situ con nano- y micro-hierro, © Anke Wiener/ 9 Extracción multifásica, Italia/ 10 Skimmer para extracción de fases, Austria



**Züblin Umwelttechnik GmbH**

Maulbronner Weg 32, 71706 Markgröningen - Alemania

Tel. +49 7145 9324-257

Fax +49 7145 9324-154

umwelttechnik@zueblin.de

[www.zueblin-umwelttechnik.com](http://www.zueblin-umwelttechnik.com)



1

1 depuradora de aguas subterráneas, Alemania

**Portada** Remedación térmica in situ, antigua acería, China  
**Atrás** Mapa actual con oficinas de ZÜBLIN Umwelttechnik GmbH

