



Universitat Autònoma de Barcelona

Facultat de Ciències
Licenciatura de Ciencias Ambientales

Prevención, seguimiento y evaluación de la descontaminación de percloroetileno en suelo y aguas subterráneas en un terreno industrial

Proyecto de Final de Carrera, Septiembre 2.011

Autor:
Felipe Caballero Biosca

Tutores:
Albert Folch i Sancho
Paula F. Rodríguez i Escales

Me caigo siete veces y me levanto ocho.

Francesc Xavier García

NOTA: Este trabajo ha sido impreso con papel libre de cloro. Al final del documento se adjunta un CD que contiene una versión digital del proyecto. Igualmente , también se adjunta un resumen en formato de artículo

Agradecimientos

A Albert Folch y a Paula F. Rodríguez, por la paciencia, consejos y aportaciones personales.

A Francisco Vicente, por darme las llaves y abrirme las puertas necesarias para realizar este proyecto.

A mi familia y amigos, por darme la mano cuando la he necesitado

A mi otra pequeña familia de tres, por mil sonrisas cada día.

Índice

Agradecimientos.....	5
Indice	7
Sumario de figuras tablas y gráficos.....	11
1. Introducción	17
1.1. La contaminación del medio por percloroetileno.....	19
1.2. Normativa referente a la gestión de suelos, aguas subterráneas	23
2. Objetivos	27
3. Marco teórico	33
4. Descripción de la zona de estudio.....	39
4.1. Antecedentes.....	41
4.2. Situación geográfica de las instalación.....	42
4.3. Geología e Hidrología de la zona.....	43
5. Trabajos realizados para la caracterización, implantación del método de descontaminación y evolución del emplazamiento.....	47
5.1. Gestión de la contaminación por percloroetileno	49
5.1.1. Caracterización zona no saturada	51
5.1.2. Caracterización zona saturada	63
5.2. Gestión de contaminaciones alienas al caso de los hidrocarburos clorados	75
<u>Gestión de la contaminación por selenio.....</u>	<u>75</u>
<u>Gestión de la contaminación por Cromo III y cromo VI</u>	<u>83</u>
<u>Gestión de la contaminación por aceites minerales</u>	<u>87</u>

5.3. Evolución de la contaminación por disolventes halogenados volátiles en la zona no saturada	99
5.4. Evolución de la contaminación por disolventes halogenados volátiles en la zona saturada	109
5.5. Evolución futura de la contaminación según tendencia actual.....	117
5.6. Síntesi	119
6. Medidas de prevención de la contaminación y comparación económica entre los costes de dichas medidas y los costes de la descontaminación	127
6.1. Descripción de las medidas de la contaminación	129
6.2. Costes de la descontaminación versus costes de la prevención	139
6.3. Valoración	141
7. Discusión y conclusiones	143
8. Aspectos formales.....	151
Bibliografía	155
Acrónimos y terminología básica.....	165
Anexos.....	171
Tablas	173
Planos.....	209

Sumario de figuras, tablas y gráficos

Figuras

- Figura 3.1.** Estructura química del PCE.
- Figura 3.2.** Proceso de biodegradación anaeróbico del percloroetileno.
- Figura 3.3.** Esquema de distribución del PCE en el suelo.
- Figura 4.1.** Situación geográfica del entorno de las instalaciones de estudio.
- Figura 4.2.** Mapa geológico de la zona de estudio.
- Figura 5.1.** Localización de los sondeos realizados frente a las zonas potencialmente contaminadas.
- Figura 5.2.** Sondeos y piezómetros realizados en el estudio de 2.001.
- Figura 5.3.** Plano de isolíneas de concentración hidrocarburos halogenados volátiles y marcado de las 3 zonas principales de afección.
- Figura 5.4.** Esquema de pozos de muestreo de aguas subterráneas.
- Figura 5.5.** Localización de sondeos para la caracterización de suelos por Cr III, Cr IV y pH.
- Figura 5.6.** Esquema de la central de taladrinas.
- Figura 5.7.** Delimitación de hidrocarburos totales del petróleo.
- Figura 5.8.** Resultados de los análisis de hidrocarburos halogenados volátiles de julio de 2.010 situado sobre el plano de la planta de estudio.
- Figura 5.9.** Situación de los sondeos de 1.999 y 2.001 para la caracterización de PCE en suelos y situación de pozos de extracción de aire.
- Figura 6.1.** Plano de situación de la zona de desengrase con PCE y del depósito de destilación de PCE.
- Figura 6.2.** Esquema del almacén de productos químicos y situación de los productos almacenados en él.
- Figura 6.3.** Fotografía del exterior del Safe-Tainer para disolventes clorados (imagen izquierda) y foto del interior con la bomba de trasvase conectado.
- Figura 6.4.** Plano de situación de la zona de desengrase con PCE y del depósito de destilación de PCE con las medidas de prevención de la contaminación por PCE propuestas.
- Figura 6.5.** Plano de situación del almacén de productos químicos con las medidas de prevención de la contaminación por PCE propuestas.

Tablas

Tabla 1.1. Niveles genéricos de referencia para el PCE en los suelos para la protección de la salud humana y para la protección de los ecosistemas.

Tabla 1.2. Valores Genéricos de No Riesgo y Valores Genéricos de Intervención para los disolventes halogenados volátiles en las aguas subterráneas de Cataluña.

Tabla 3.1. Características físico químicas del PCE

Tabla 5.1. Desglose de informes relacionados con cada una de las etapas en la gestión de la contaminación por hidrocarburos halogenados volátiles en suelos y aguas subterráneas del emplazamiento.

Tabla 5.2. Desglose de informes relacionados con cada una de las etapas en la gestión de la contaminación en suelos y aguas subterráneas por otros contaminantes diferentes de los hidrocarburos halogenados volátiles.

Tabla 5.3. Relación de zonas potencialmente contaminadas frente al año de inicio y fin de la actividad y sustancia relacionada con la actividad en cada zona.

Tabla 5.4. Características de los pozos de extracción.

Tabla 5.5. Duración de los ensayos de extracción y muestras tomadas.

Tabla 5.6. Coeficientes de extracción a partir de los resultados analíticos.

Tabla 5.7. Concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en muestras de gas del suelo a partir de los piezómetros de control permanentes (mg/m³). Análisis cuantitativos.

Tabla 5.8. Mediciones semicuantitativas realizadas en los PVMPs durante los ensayos de extracción.

Tabla 5.9. Resultados analíticos y parámetros de campo a partir del agua subterránea del pozo Nº 4.

Tabla 5.10. Características de los pozos de agua subterránea.

Tabla 5.11. Resultados analíticos a partir del agua subterránea en pozos de extracción de gas del suelo, pozos de agua subterránea y pozo de abastecimiento de la factoría.

Tabla 5.12. Resultados de los análisis realizados por la Junta de Sanejament en las instalaciones de la empresa demandada.

Tabla 5.13. Resultados de los análisis realizados por la Junta de Sanejament en los pozos cercanos a las instalaciones demandadas.

Tabla 5.14. Resultados de los análisis realizados por la Sociedad General de Aguas de Barcelona obtenidos por el muestreo realizado por SEPRONA en los pozos de la empresa demandada y de las zonas cercanas.

Tabla 5.15. Muestras y resultados de los análisis de aceites minerales.

Tabla 5.16. Muestras y resultados de los análisis de aceites minerales en el estudio referido a la fuga del sistema de refrigeración 2.001.

Tabla 5.17. Resultado del análisis de aguas subterráneas y aceites minerales en el estudio referido a la fuga del sistema de refrigeración 2.001.

Tabla 5.18. Localización de los puntos de muestreo en base a las zonas potencialmente contaminadas por TPHs.

Tabla 5.19. Localización de los puntos de muestreo de aguas subterráneas.

Tabla 5.20. Última analítica en el VEW-1 anterior a la puesta en marcha del sistema de descontaminación de suelos.

Tabla 5.21. Última analítica en el VEW-2 anterior a la puesta en marcha del sistema de descontaminación de suelos.

Tabla 5.22. Última analítica en el VEW-4 anterior a la puesta en marcha del sistema de descontaminación de suelos.

Tabla 5.23. Última analítica en el VEW-3 anterior a la puesta en marcha del sistema de descontaminación de suelos.

Tabla 5.24. Evolución en las cantidades de agua tratada en el “stripping” y punto uso posterior.

Tabla 5.26. Última analítica en el Pozo Nº 4 anterior a la puesta en marcha del sistema de tratamiento y contención de aguas subterráneas.

Tabla 6.1. Balance de costes total derivados de los trabajos de caracterización y tratamiento y contención de la contaminación por PCE desde inicio de la gestión (2.000) hasta la actualidad (2.010). Se incluyen los estudios comunes de seguimiento de la zona saturada y no saturada.

Tabla 6.2. Balance de costes totales derivados de los trabajos de implantación de las medidas de prevención propuestas.

Gráficos

Gráfico 1.1. Tipo de contaminante en suelos contaminados de Cataluña.

Gráfico 1.2. Tipo de contaminante en aguas subterráneas por episodios de contaminación puntual en Cataluña.

Gráfico 5.1. Evolución en los análisis de aguas de los pozos Nº 1 y Nº 4 desde el inicio de los análisis hasta la actualidad.

Gráfico 5.2. Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles detectadas a partir de los análisis periódicos de aire en el pozo de extracción de aire contaminada VEW-1.

Gráfico 5.3. Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles detectadas a partir de los análisis periódicos de aire en el pozo de extracción de aire contaminada VEW-2.

Gráfico 5.4. Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles detectadas a partir de los análisis periódicos de aire en el pozo de extracción de aire contaminada VEW-4.

Gráfico 5.5. Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles detectadas a partir de los análisis periódicos de aire en el pozo de extracción de aire contaminada VEW-3.

Gráfico 5.6. Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles detectadas a partir de los análisis en los piezómetros de control permanente.

Gráfico 5.7. Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles desde la puesta en marcha del sistema de tratamiento y contención de aguas subterráneas hasta la actualidad en el Pozo Nº 4.

Gráfico 5.8. Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles desde la puesta en marcha del sistema de tratamiento y contención de aguas subterráneas hasta la actualidad en los pozos de agua (PC).

Gráfico 5.9. Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles desde la puesta en marcha del sistema de tratamiento y contención de aguas subterráneas hasta la actualidad en los pozos de extracción de aire (VEW).

Gráfico 5.10. Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles desde la puesta en marcha del sistema de tratamiento y contención de aguas subterráneas hasta la actualidad en los pozos de extracción de aire VEW-2, VEW-3 y VEW-4.

Gráfico 5.11. Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles desde la puesta en marcha del sistema de tratamiento y contención de aguas subterráneas hasta la actualidad en el Pozo 5 y la Mina 1.

Gráfico 5.12. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en el aire del suelo desde 2.001 a 2.010.

1. Introducción

1.1. La contaminación del medio por percloroetileno

Desde el siglo XX hasta la actualidad, Cataluña ha sido testigo de un intenso crecimiento económico provocado principalmente por la industria y el sector servicios. El territorio y la facilidad de acceso a los recursos naturales han favorecido el asentamiento del tejido socio-económico que actualmente gozamos. Debido a la ignorancia, a la falta de normativas o a la priorización del crecimiento económico, en todos estos años, la gestión de los recursos naturales se ha llevado a cabo de una manera deficiente. Todo esto ha provocado el vertido/deposición de aguas residuales/residuos sin un control como el actual, con la consecuente disminución de la calidad y cantidad de suelos y masas de agua aptos para mantener dichas actividades.

Ante esta situación, la administración pública ha tenido que imponerse como el principal actor a la hora de desarrollar las bases legales para la correcta gestión de la actividad actual y, a su vez, para la corrección de los errores producidos en el pasado.

En lo que se refiere a la contaminación de suelos, la Ley 10/1.998, de 21 de abril de Residuos (Ley 10/1.998, de ahora en adelante), es la primera normativa española que hace mención a la contaminación de suelos. El Real Decreto 9/2.005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados (R.D. 9/2.005, de ahora en adelante) desarrolla la ley anterior y establece las bases para la correcta gestión de este recurso. La gestión de suelos en España es competencia de cada una de las Comunidades Autónomas, la cual en Cataluña recae sobre la Agencia de Residuos de Cataluña (ARC de ahora en adelante).

En Cataluña los episodios más frecuentes de contaminación de suelos han sido los producidos por aceites minerales (35% sobre el total). Los hidrocarburos clorados ocupan la quinta posición respecto a la frecuencia en los episodios de contaminación de suelos siendo culpables de un 8% del total de los episodios hasta 2.010 en Cataluña (Gráfico 1.1).

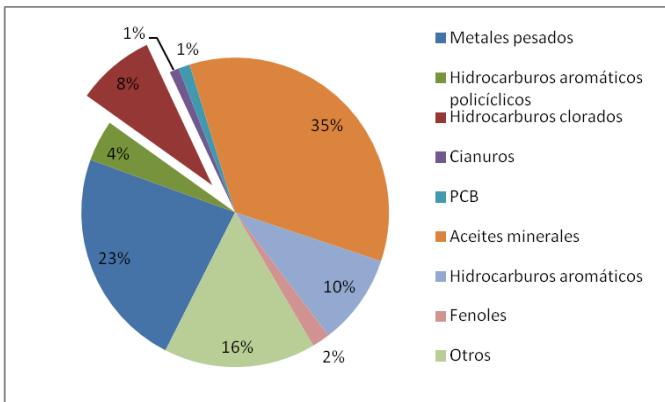


Gráfico 1.1. Tipo de contaminante en suelos contaminados de Cataluña.

Fuente: Adaptación ARC 2.010.

Respecto a la gestión de aguas, las bases vienen dadas a nivel comunitario con la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE, DMA de ahora en adelante) que obliga a las administraciones competentes de cada uno de los estados miembros (en España, se encargan las Comunidades Autónomas y en el caso de Cataluña, la Agencia Catalana del Agua, ACA de ahora en adelante) a disponer en 2.015 de un plan de gestión que garantice la calidad de todas las masas de agua.

En lo que se refiere a los episodios detectados de contaminación de aguas subterráneas en Cataluña (Gráfico 1.2), el tipo de contaminante más frecuente hasta 2.008, son los relacionados con combustibles (58%). Después de los hidrocarburos, los organoclorados suponen el segundo tipo de contaminantes más comunes en los episodios de contaminación por fuentes de origen puntual en Cataluña (25%). Asimismo, los episodios de contaminación por organoclorados son frecuentes.

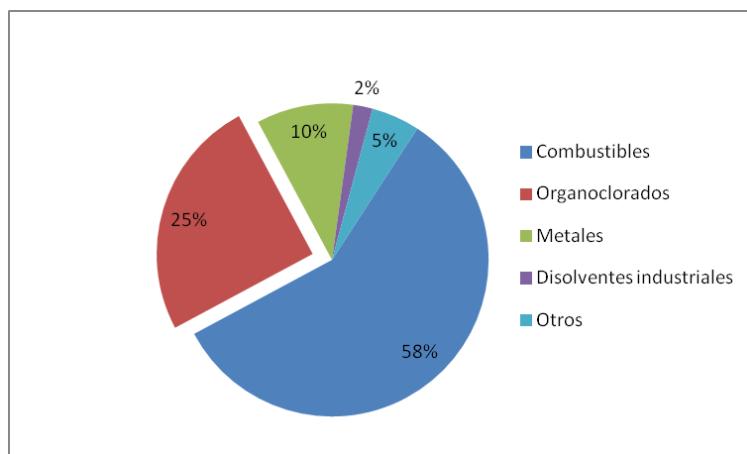


Gráfico 1.2. Tipo de contaminante en aguas subterráneas por episodios de contaminación puntual en Cataluña.

Fuente: Adaptación ACA 2.008.

La naturaleza nociva de algunos organoclorados ha sido reconocida durante más de 30 años (Pozas, 2.009). Sustancias como el DDT, los PCBs o los CFCs, son compuestos ampliamente conocidos entre la población por su peligrosidad, ya sea para el medio ambiente o para las personas. La primera publicación en la cual se denuncian los peligros de los organoclorados en personas y ecosistemas es en el libro “*The Silent Spring*” de Rachel Carson (1.962). En este libro se pone de manifiesto múltiples ejemplos (principalmente en los Estados Unidos) de como estos compuestos permanecen durante décadas sin degradarse, se acumulan en los organismos y generan efectos nocivos entre la población.

Muchos organoclorados como el Percloroetileno (PCE, de ahora n adelante) (IARC¹, Grupo 2A,), los PCBs (IARC, Grupo 2A), el DDT (IARC, Grupo 2B) y muchas dioxinas son compuestos cancerígenos. En un estudio realizado en España en 2.011 por el Institut Català d’Oncologia, se ha demostrado que de la toma de muestras de 956 personas (diferentes edades y sexos), prácticamente el 100% tenían concentraciones séricas de organoclorados (Agudo, 2.011). El hecho de que muchos de estos compuestos sean cancerígenos y la mayoría de la población esté en contacto hace que sea necesario tomar medidas para minimizar los riesgos. En muchos casos el contacto con los contaminantes se produce por los alimentos o bien por el medio (aire, suelo, aguas superficiales y/o subterráneas) como es el caso de este estudio.

La gestión de la contaminación en el suelo, las aguas subterráneas y las aguas superficiales debe de ser tratada como la de un sistema intercomunicado dinámico por el cual las sustancias se desplazan entre los diferentes medios dependiendo de las características del contaminante/sustancia y del entorno en el cual se hallan retenidos. Debido a esto, el estudio de un proceso de contaminación, es una tarea complicada ya que para poder tomar decisiones y afrontar un caso de contaminación, es necesario un alto grado de conocimientos sobre las características del medio y del contaminante. La contaminación del suelo y los acuíferos suponen un hándicap añadido respecto a las aguas superficiales, debido a que son medios de difícil acceso, los cuales pueden ser muy heterogéneos. A su vez, en muchos casos, los estudios previos no existen o son de carácter demasiado amplio o local, lo que supone tener que descifrar gran parte de las características del medio para muchos de los proyectos.

¹ Internacional Agency Research Cancer. Grupo 1: es cancerígeno para los humanos. Grupo 2A: Probablemente es cancerígeno para los humanos. Grupo 2B: Posiblemente es cancerígeno para los humanos. Grupo 3: No es clasificable en cuanto a carcinogenidad en humanos. Grupo 4: Probablemente no es cancerígeno

Una vez vista la necesidad de una gestión adecuada de los episodios de contaminación, se va a analizar y describir todo el proceso de gestión, caracterización y seguimiento de la descontaminación de un suelo y un acuífero en una zona industrial. El contaminante principal de los terrenos es el PCE, un organoclorado utilizado en este caso para la limpieza de piezas metálicas.

Los procesos de descontaminación de suelos y aguas subterráneas se caracterizan por ser unos trabajos muy costosos y que pueden ser necesarias décadas para solventar el problema. Esto supone a muchas empresas, dificultades serias en su economía o incluso el cierre. Por este motivo, el R.D. 9/2.005, contempla este gasto y protege a los posibles compradores de terrenos o instalaciones contaminados, obligando a marcar en las escrituras y en el Registro de la propiedad una nota marginal indicando dicha contaminación. De esta forma, los compradores de un terreno pueden incluir los posibles costes de un proceso de descontaminación en todo el proceso de compra. Para las empresas que ya tienen el suelo o las aguas contaminadas no les queda otra opción que la remediación. Sin embargo, en las localizaciones en las que utilizan sustancias peligrosas y la afección aun no es suficiente como para considerarlas contaminadas, una opción, normalmente muy rentable, es la prevención de la contaminación. De esta forma se llevará a cabo un estudio de los costes del proceso real de descontaminación en estas instalaciones y los costes que hubiesen sido necesarios para prevenir dicha contaminación y por tanto, la descontaminación

La empresa de estudio, se dedica al mecanizado y montaje de piezas metálicas (aluminio y hierro). Durante el proyecto se ha intentado, por temas de confidencialidad e imagen pública, que en ningún apartado de este documento aparezcan datos que permitan identificar y/o ubicar la zona de estudio. Así cualquier nombre de río, riera, población o delimitación geográfica es ficticio para preservar la confidencialidad de la zona industrial estudiada. Aún así, durante el proyecto y para comprobar la veracidad de los datos plasmados en el proyecto, tanto yo, Felipe Caballero, como los tutores del proyecto, Albert Folch y Paula F. Rodríguez, hemos tenido acceso a los documentos reales y hemos firmado un documento por el cual certificamos la preservación de la confidencialidad en todo el proceso de elaboración del proyecto.

El nombre de la empresa gestora de la mayoría de trabajos de descontaminación de suelos y aguas subterráneas "Letka", también es ficticio debido a que con los datos de esta empresa, se podría llegar a conocer la situación y nombre de la empresa de estudio.

1.2. Normativa referente a la gestión de suelos, aguas subterráneas

La normativa existente referente al tratamiento de percloroetileno se puede dividir dependiendo del medio en el cual se encuentre el contaminante ya sea el suelo o el agua.

➤ Contaminación del suelo

En España, como ya hemos comentado anteriormente, la Ley 10/1.998 de Residuos hace referencia en sus artículos 27 y 28 a la realización de un inventario de suelos contaminados que deberán realizar las Comunidades Autónomas y fija las responsabilidades de la descontaminación de un suelo declarado como contaminado. Pese a todo, en los artículos 27 y 28 no se define cuando un suelo se debe declarar como contaminado ni qué actividades son susceptibles de ser potencialmente contaminantes de este. No será hasta la entrada en vigor del R.D. 9/2.005 cuando se precisen todos estos parámetros y por tanto se incorporen las bases para una verdadera gestión de la contaminación del suelo. En el R.D. 9/2.005 también se regulan cuales son los niveles genéricos de referencia (NGR, de ahora en adelante) que determinan si la concentración de un contaminante en el suelo supone un riesgo superior al máximo aceptable. Estos niveles de referencia se agruparon en relación a la peligrosidad para la salud humana o para los ecosistemas los cuales, se pueden observar en la tabla 1.1 para el percloroetileno en cuestión.

Tabla 1.1. Niveles genéricos de referencia para el PCE en los suelos para la protección de la salud humana y para la protección de los ecosistemas.

Fuente: R.D. 9/2.005, Anexo V

	Niveles genéricos de referencia para la protección de la salud humana (mg/Kg peso seco)			Niveles genéricos de referencia para la protección de los ecosistemas (mg/Kg peso seco)		
	Uso industrial	Uso urbano	Otros usos	Organismos del suelo	Organismos acuáticos	Vertebrados terrestres
Percloroetileno	10	1	0,1	0,01	0,06	0,15

➤ Contaminación de las aguas

La norma fundamental en materia de protección del medio acuático en Europa es, como ya se ha comentado con anterioridad, la Directiva 2.000/60/CE, a partir de la cual se establece el marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas y a partir del cual derivan un conjunto de normativas subsidiarias con las que se fijan los límites máximos de contaminantes. Para combatir la contaminación de las aguas, esta directiva establece un listado de 33 substancias prioritarias que presentan un riesgo significativo, entre las cuales no se encuentra el PCE (Decisión 2.455/2.001/CE). A su vez, el artículo 17, ordena la adopción de medidas

específicas para prevenir y controlar la contaminación de las aguas subterráneas a través de la determinación de unos criterios comunes. Así pues, se aprueba la Directiva 2.006/118/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2.006, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro, en la cual el PCE se encuentra en la lista mínima de substancias por las cuales los Estados miembros han de establecer unos límites de contaminación (Directiva 2.006/118/CE, Anexo II, parte B).

En lo que se refiere a aguas de consumo, el Real Decreto 140/2.003 y la Directiva 1.998/83/CE establecen que el agua de consumo humano no deberá de sobrepasar la concentración de 10 µg/L en la suma de PCE y Tricloroetileno (TCE de ahora en adelante), otro disolvente halogenado. En los EEUU la concentración máxima de PCE en las aguas potables está fijada en 5 µg/L.

Respecto a Cataluña el Decreto 130/2.003 establece que la concentración máxima de PCE en aguas residuales no domésticas que se aboquen en los sistemas públicos de saneamiento está limitado en 0,4 mg/L.

En lo que respecta a la gestión autonómica de las aguas subterráneas, pese a no existir una normativa homóloga al R.D. 9/.2005 de suelos, en la gestión de las aguas freáticas existen diferentes protocolos y niveles de actuación que son las bases de actuación en el territorio catalán.

Inicialmente, a partir de un acuerdo entre el ACA, Fomento de Trabajo Nacional, PIMEC, *Consell de Càmbres de Comerç, Indústria i Navegació de Catalunya*, se presentaron el documento denominado “*Criteris d'aplicació de valors genèrics per a la restauració de les aigües subterrànies en emplaçaments contaminats per fonts d'origen puntual*” (09/2.009). En este documento se establecen dos valores de referencia:

- Valor Genérico de No Riesgo (VGNR de ahora en adelante): no son previsibles riesgos para los usuarios del agua subterránea. Este nivel se considera el valor objetivo a partir de la restauración y sería el valor homólogo al Valor Objetivo de las Listas holandesas.
- Valor Genérico de Intervención (VGI de ahora en adelante): la superación de este valor supone un riesgos para los usuarios actuales o potenciales de las aguas subterráneas si no se realiza un tratamiento adecuado en un amplio abanico de usos del agua. A partir de este nivel son necesarias la aplicación de acciones de restauración del emplazamiento (pueden ser en el suelo o en el acuífero)

En este documento también se presenta una lista de compuestos considerados y sus VGNR y VGI (tabla 1.2)

Tabla 1.2. Valores Genéricos de No Riesgo y Valores Genéricos de Intervención para los disolventes halogenados volátiles en las aguas subterráneas de Cataluña.

Fuente: "Criteris d'aplicació de valors genèrics per a la restauració de les aigües subterrànies en emplaçaments contaminats per fonts d'origen puntual" 2.009

Compost	Valor Genèric de No Risc ($\mu\text{g/L}$)	Valor Genèric d'Intervenció ($\mu\text{g/L}$)
Hexaclorobenzè	0,05	1
1,1,2,2-Tetracloroetà	7	30
Tetraclorur de metà	8	30
1,2- Dicloroetà	10	50
1,1,2-Tricloroetà	20	90
Cloroform	70	210
Clorobenzè	80	240
1,2-Dicloroetilè, trans	80	240
Diclorometà	250	750
Tricloroetileno	* La suma dels tres valors no podrà superar els 10 $\mu\text{g/l}$ com a màxim.	50
1,1 Dicloroetileno		60
Tetracloroetileno		75

El ACA, posteriormente a la presentación de los valores genéricos de aplicación en aguas subterráneas, presentó el documento llamado "*Protocol d'actuació en episodis de contaminació d'aigües subterrànies per fonts d'origen puntual*" (10/2.009) basado en la DMA por la cual establece un marco de actuación en la gestión de los casos de contaminación de los acuíferos. En este documento se rigen cuatro etapas principales del episodio:

- Etapa 1: Caracterización del emplazamiento, preliminar y efectiva, hasta obtener el modelo conceptual del caso.
- Etapa 2: Restauración de la zona afectada
- Etapa 3: Seguimiento de la evolución del medio
- Etapa 4: Cierre del expediente administrativo de restauración de acuíferos.

Así, entre estos dos documentos publicados por el ACA, se fijan las bases para la gestión de las aguas subterráneas contaminadas por fuentes de origen puntual en Cataluña.

2. Objetivos

En este proyecto de final de carrera se quiere estudiar, como ya se ha comentado previamente, todo el proceso de gestión, caracterización y seguimiento de la descontaminación de percloroetileno (aún en proceso) en dos medio: el suelo y las aguas subterráneas. Además, a partir de este análisis detallado se va a hacer una comparación del coste económico de la remediación frente a las medidas de prevención.

La zona de estudio tiene una superficie de 81.462 m², con diferentes edificaciones. Las zonas exteriores están cubiertas, en su mayoría por zonas ajardinadas, exceptuando un parking y diferentes vías alrededor de las edificaciones que están asfaltadas. Los terrenos de estudio están rodeados de zonas agroforestales con alguna casa aislada en sus proximidades. La zona no dispone de red de distribución de agua, lo que hace común el uso de pozos.

En la zona de estudio, se utilizaron desde sus inicios (1.987), hasta finales de los noventa diferentes sustancias peligrosas para el medio ambiente (PCE, aceites minerales, ácido crómico, grasas...). A causa de derrames, fugas o falta de conocimiento, la liberación en el suelo o el agua fue habitual. A su vez, la zona de estudio, se ha visto afectada por una afección por selenio ajena a las actividades desarrolladas en la planta. A partir de la implantación del sistema ISO 14.001, se realizaron diferentes estudios que dieron a conocer indicios de contaminación en el suelo y las aguas subterráneas de los cuales derivaron planes específicos de gestión.

Como característica a destacar, es el hecho que gran parte del proceso de caracterización y descontaminación se ha llevado aplicando la Ley 10/1.998 pero con las dificultades que conlleva el no tener un reglamento que la desarrolle y por tanto que fije los procedimientos, las tareas y los límites para considerar un suelo como contaminado. En los inicios de la gestión de suelos y aguas subterráneas en estos terrenos (1.996), para caracterizar un medio se utilizaban las Listas Holandesas como valores de referencia. Los límites marcados en la Lista Holandesa no estaban basados en suelos y acuíferos de la Península Ibérica y por tanto, no se ajustaban correctamente a las características hidrogeológicas de la zona. Una vez publicado el R.D. 9/2.005, se verá la adaptación que se tuvo que llevar a cabo por parte de la empresa gestora del proceso de descontaminación para adaptarse a la norma.

Para la correcta gestión de un acuífero y un suelo contaminado es necesario llevar a cabo diferentes pasos para poder seleccionar un sistema efectivo de descontaminación. En este proyecto se quiere dar a conocer y llevar a cabo un análisis crítico de cada una de estas necesarias fases:

- **Caracterización de la contaminación** (punto 5.1 y 5.2): detección de todos los contaminantes que hay en el medio de estudio, la cantidad acumulada y la afección de los diferentes estratos (suelo, acuífero,

profundidad de suelo contaminado y superficie afectada por la contaminación).

- **Elección del método de descontaminación** (punto 5.1 y 5.2) más eficaz económicamente y técnicamente en el momento en cuestión para los contaminantes que supongan un riesgo inadmisible para las personas y/o los ecosistemas.
- **Puesta en marcha y seguimiento** (punto 5.3 y 5.4) de los diferentes procesos de descontaminación necesarios para cada contaminante.
- **Fin del proceso de descontaminación** (punto 5.5) por el cambio (a partir de la descontaminación del suelo y el acuífero) a una situación con riesgos aceptables para la salud y los ecosistemas.

Una de las partes complicadas de este proceso es el fin de los trabajos de descontaminación. Para considerar un suelo como contaminado se deben de contemplar dos opciones (R.D. 9/2.005):

- **Se sobrepasa el NGR en más de 100 veces:** automáticamente el suelo se considera contaminado y se tienen que llevar acciones correctivas.
- **Se sobrepasa el NGR pero menos de 100 veces:** se debe de realizar un análisis cuantitativo de riesgo. Si la valoración de riesgos dice que existen riesgos para los ecosistemas o las personas, se deben de llevar acciones correctivas. De lo contrario no es necesario hacer nada siempre y cuando no cambien los usos o las actividades desarrolladas.

En cada una de las dos opciones anteriores, para descatalogar un suelo como contaminado, es necesario que las acciones correctivas, hayan hecho disminuir los riesgos hasta un nivel aceptable. Esto significa que el suelo debe de quedar siempre con una concentración menor a 100 veces el NGR pero que puede ser mayor que 1 vez el NGR. En el caso de que la concentración sea superior al NGR, en caso de cambio de usos del suelo, se debe volver a realizar un análisis de riesgos.

A su vez, el cierre en un sistema de descontaminación es un tema delicado dependiendo del contaminante, la gestión que se lleva a cabo y las concentraciones a las que se quiera/deba llegar. Los sistemas de descontaminación se comportan de manera exponencial, en la cual, al principio se elimina mucho contaminante pero poco a poco, el proceso se va acercando más a una asíntota horizontal en la cual cuesta mucho llegar una descontaminación completa. Si esta asíntota está por debajo de los requisitos legales o bien de lo que se marca en los niveles de referencia, se podrá cerrar

sin ningún problema. Si al contrario, la asíntota queda por encima de este nivel de referencia, es posible o que se necesite mucho tiempo para poder llegar a los umbrales a partir de los cuales se puede considerar descontaminado o bien sea necesario replantearse el tipo de sistema de descontaminación y barajar la opción de un cambio.

Una vez evaluado el proceso de gestión de suelos y aguas subterráneas, se llevará a cabo otro objetivo de este proyecto: realizar una comparación de los costes de la remediación actual frente a los costes de los trabajos derivados de prevenir la contaminación. Esta valoración se realizará a partir de los costes reales del proceso de descontaminación y de los diferentes presupuestos para cada uno de los trabajos de prevención (entregados por los proveedores reales)

La realización de todos los puntos anteriores, requiere de un estudio y un conocimiento realmente amplio de materias de carácter tanto técnicas (geología, edafología, hidrología, química...) como sociales (economía, política, normativa ambiental...). Esta multidisciplinariedad indica que se trata de una temática adecuada para la realización de un proyecto de fin de carrera de la licenciatura de Ciencias Ambientales.

3. Marco teórico

Los disolventes pueden clasificarse según su estructura química básica en alifáticos, alicílicos o aromáticos, y según su grupo funcional en halogenados, alcoholes, acetonas, glicoles, esters, eters, ácidos carboxílicos, aminas o amidas. En este estudio nos hemos centrado en la descontaminación de un contaminante en particular: el percloroetileno (Nº CAS: 127-18-4) (también conocido como percloro, percloroetileno o tetracloroetileno). Este compuesto es un hidrocarburo alifático clorado formado por dos carbonos unidos por un doble enlace (figura 3.1).

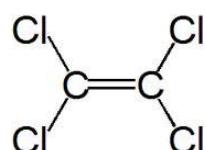


Figura 3.1. Estructura química del PCE
Fuente: Urrea, 2007

Tabla 3.1 Características físico químicas del PCE
Fuente: Urrea, 2007; INSHT, 2011

Densidad relativa mezcla vapor/aire 20°C	Solubilidad en agua	Densidad relativa de vapor	Presión de vapor	Constante de Henry 25 °C	Coeficiente de partición octanol-agua	Coeficiente de partición de carbono
(Kg/m³)	(mg/L)	(Kg/m³)	(kPa) 20°C	(adimensional)	(log K _{ow})	(log K _{oc})
PCE	1,09	149	5,8	1,9	0,723	2,9

El PCE es una sustancia manufacturada de amplio uso en lavado de telas al seco y como desengrasante de metales. También se utiliza en la manufactura de otros productos químicos y de algunos artículos de consumo.

El PCE no es inflamable a temperatura ambiente, se evapora con facilidad y tiene un aroma dulce penetrante. La exposición a altos niveles de PCE puede producir mareo, dolores de cabeza, somnolencia, confusión, náuseas, dificultad para hablar y/o caminar, pérdida de conocimiento y la muerte (web ATSDR). El PCE en la ficha de datos de seguridad (FDS, de ahora en adelante) es considerado Nocivo y Peligroso. También se informa de sus características cancerígenas y su toxicidad para los organismos acuáticos (FDS, 2.011).

Según Letka, empresa experta en procesos de descontaminación de suelos, afirma que el hormigón es permeable al PCE. Esto hace que en puntos donde sea usual la utilización de este componente, puedan existir goteos o fugas, poco a poco se puedan producir filtraciones en el subsuelo. Los fabricantes recomiendan su almacenamiento en envases metálicos o de vidrio ya que los plásticos los corroen.

Para el tratamiento y contención de la contaminación por PCE (y hidrocarburos halogenados volátiles) existen distintas técnicas de remediación. Se han utilizado técnicas físicas (*soil vapor extraction, air sparging*), químicas (oxidación con permanganato de potasio o ozono) y biológicas (biodegradación anaeróbica en técnicas bioestimulación o bioaugmentación) (web, CPEO).

Una vez el contaminante está en el medio es común que se produzca una biodegradación anaeróbica del PCE. La biodegradación anaeróbica del PCE se produce a través de una decloración secuencial de la molécula en la que el hidrógeno sustituye a un átomo de cloro dando lugar a compuestos cada vez menos clorados² (ver figura 3.2). Dependiendo del tipo de bacterias y la disponibilidad de nutrientes en el sustrato, la cadena de descomposición se puede finalizar o bien quedarse en alguno de los pasos intermedio. En estudios de campo se ha observado que a menudo la descomposición de PCE se detienen en 1,2, Dicloroetileno, cis (1,2-DCE, cis, de ahora en adelante) o en cloruro de vinilo (Urrea, 2.007).

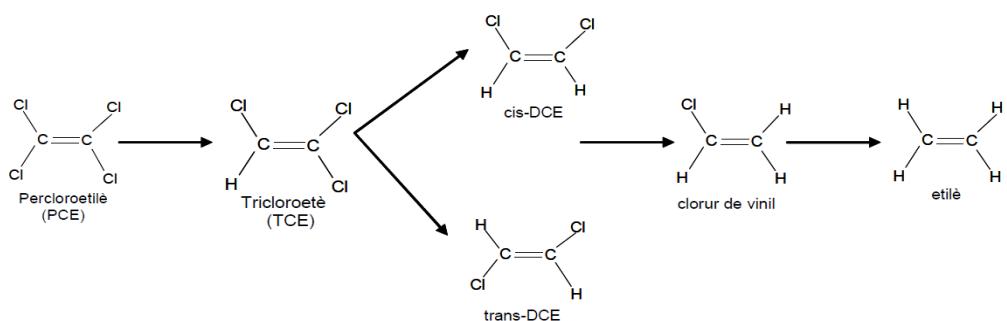


Figura 3.2. Proceso de biodegradación anaeróbico del percloroetileno.
Fuente: Urrea, 2007

Una vez vistas las características químicas del PCE, en la Figura 3.3 se puede observar de forma esquemática el comportamiento del PCE en el suelo debido a una fuga en un tanque subterráneo.

El PCE y la mayoría de los contaminantes, una vez vertido en el suelo se pueden delimitar según si la zona que ocupa tiene mayor o menor cantidad de agua. La capa más superficial que no tiene todos los poros cubiertos de agua se denomina zona no saturada mientras que la que los tiene completamente llenos de agua, se denomina zona saturada.

La zona no saturada se caracteriza por tener la mayoría del espacio de sus poros, llenos de aire y está comprendida desde la superficie hasta la

² Para más información sobre cada uno de los productos de descomposición ver http://www.atsdr.cdc.gov/es/es_index.html.

zona saturada la cual veremos más adelante. Así pues, esta es la primera capa que recibe el contaminante y en el caso de un vertido de PCE de poca cantidad es probable que se volatilice rápidamente debido a su presión de vapor (1,9 kPa) y a la poca absorción en el suelo (Wilson, 1.981). Si el vertido es suficientemente grande como para no volatilizarse por completo, el PCE puede migrar verticalmente a través de la zona no saturada por los poros del suelo, esencialmente debido a la fuerza de la gravedad. Durante esta migración, parte del producto puede ser retenido en los poros del suelo por adsorción (saturación residual), la cual si es suficientemente grande, puede evitar también que el vertido llegue al acuífero. La saturación residual, tiene una relación directa con la textura del suelo, la porosidad y la cantidad de carbono orgánico presente en el suelo o en los sedimentos (Grathwohl, 1.993). Así mismo, la cantidad de PCE retenida en este proceso se considera negligible, de manera que lo más probable, es que el compuesto acabe migrando vía gaseosa o vía acuosa. En el caso de la vía acuosa debido a lluvias o ascenso del nivel freático podría hacer que finalmente el PCE llegase a la zona saturada (Russell, 1.992).

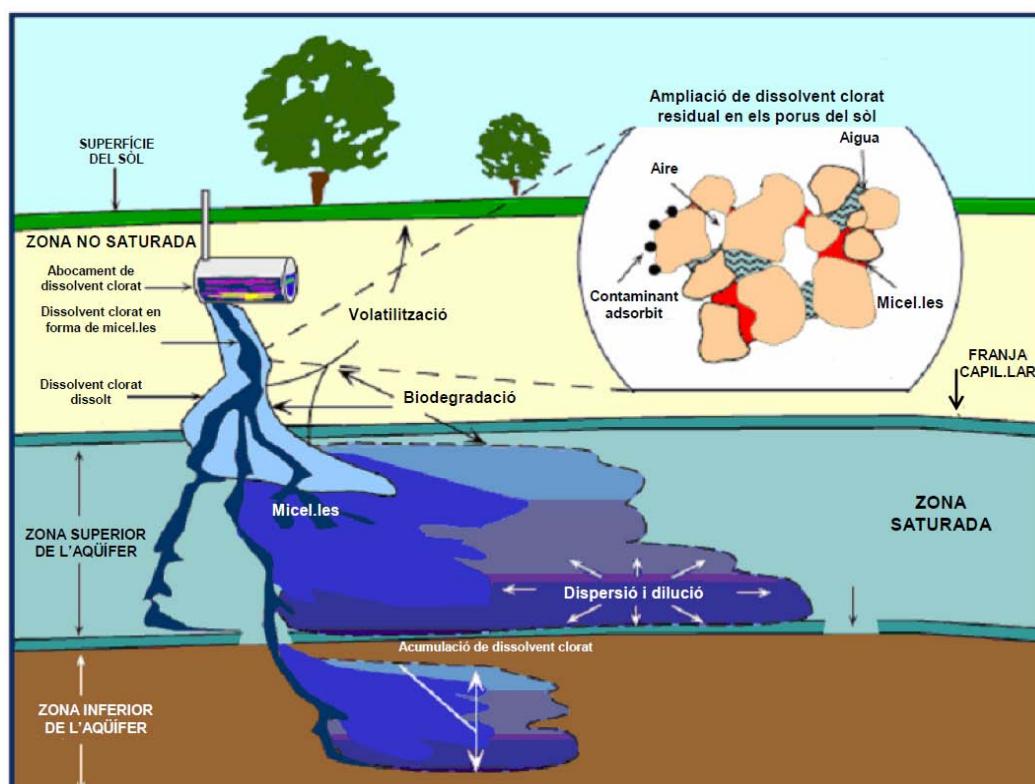


Figura 3.3. Esquema de distribución del PCE en el suelo
Fuente: Urrea, 2.007

La zona saturada, al contrario de la no saturada, se caracteriza por tener todos de sus poros completamente saturados en agua. Esta zona también se conoce como aguas subterráneas, aguas freática o acuífero y la

línea imaginaria que separa las dos zonas se la conoce como nivel freático. El nivel freático no es una línea fija, sino que está en función de distintos parámetros como la cantidad de agua extraída por pozos o los aportes por precipitaciones.

Como se pudo ver en la tabla 3.1, el PCE tienen una solubilidad relativamente alta en agua (150 ppm). Por esta razón el PCE es miscible en agua. Cuando la concentración de PCE en agua es superior a la solubilidad se crea la fase libre, en este caso más densa que el agua (DNAPL) (CE, 2.005). Los compuestos DNAPL, al ser más densos que el agua, tienen una migración esencialmente vertical hasta que el contaminante llega a la base de la zona saturada, normalmente un estrato o capa poco permeable. Una vez llega a este punto, el contaminante puede comenzar una acumulación si la base del acuífero tiene forma cóncava o bien una migración lateral siguiendo principalmente, el flujo de las aguas freáticas.

Otro compartimento en el cual se puede acumular PCE es en los organismos, también llamado bioacumulación. El factor de bioconcentración depende fuertemente de las características hidrofóbicas del contaminante, la cual está directamente relacionada con la constante octanol-agua (K_{o-w} , de ahora en adelante). La K_{o-w} del PCE es relativamente baja ($\log K_{o-w}$: 2,9), lo que indica un bajo potencial de bioacumulación. En estudios realizados con peces y algas no se muestran indicios que la bioacumulación sea una de las vías principales de acumulación (CE, 2.005)

Como se ha comentado en la introducción, en la empresa de estudio, además del uso de PCE también se utilizaban otras primeras materias como el ácido crómico o los aceites minerales. Estos productos, pese a no ser el objeto de estudio, debido a su peligrosidad para las personas o el medio ambiente también están regulados y por tanto, también ha requerido de una gestión en el suelo y las aguas subterráneas.

El selenio, al igual que el cromo o los aceites minerales también es un compuesto peligroso en altas concentraciones. Este compuesto se detectó en las aguas subterráneas del emplazamiento por una contaminación ajena a las actividades de la empresa. De la gestión que se ha llevado de este compuesto, no se tiene demasiada información debido a que la empresa de estudio solo ha tenido acceso a la sentencia judicial derivada de dicha contaminación y a las analíticas realizadas en los pozos propios de la empresa de estudio.

En Terminología básica (página 168), se puede encontrar una definición de los términos que se consideran necesarios para poder entender y estudiar parte del contenido de este proyecto.

4. Descripción de la zona de estudio

4.1. Antecedentes

La empresa de la zona de estudio, lleva en activo desde el año 1.987. Esta empresa en sus inicios preparaba piezas metálicas directas de fundición para su posterior montaje. Inicialmente sometía las piezas a un proceso de anodizado de la capa superficial con ácido crómico para incrementar la resistencia de las piezas. Posteriormente mecanizaba las piezas y eliminaba las posibles impurezas que pudiesen quedar. Este trabajo se realizaba a partir de unos tornos que utilizan aceites minerales como componente refrigerante y como agente de limpieza de los posibles restos de ácido crómico.

Una vez se había anodizado y mecanizado, la pieza metálica se sometía a un proceso de limpieza en unas máquinas que utilizaban percloroetileno para la eliminación principalmente de los aceites minerales y grasas que pudiesen haber quedado adheridos durante todo el proceso.

Durante todos estos años de funcionamiento de la empresa, debido principalmente a la ignorancia de los peligros derivados del trabajo con cromo, aceites y PCE, no se controló lo suficiente el buen estado de la maquinaria. El mal estado de mantenimiento de la maquinaria produjo pequeñas fugas o goteos que fueron produciendo continuas filtraciones en el suelo. No es hasta la realización de los trámites necesarios para la inclusión en la certificación ISO 14.001, en 1.996 cuando se toma conciencia de los errores en la gestión de la contaminación de los suelos históricamente producidos y los trabajos que ellos conllevarán en un futuro.

A partir de toda una serie de estudios realizados a partir de 1.996 se detectaron concentraciones superiores a los máximos permitidos en suelos y aguas subterráneas de PCE y de aceites minerales. La contaminación de suelos por hidrocarburos halogenados volátiles (PCE) ocupa una superficie de unos 1.300 m² y tiene unas concentraciones superiores a 10.000 mg/m³. En el caso de aceites minerales el volumen de contaminación algo más de unos 74.100 m³ de suelo y unas concentraciones máximas de 12.500 mg/m³. Respecto a la afección por cromo, a partir de los trabajos llevados a cabo hasta 2.010, se ha demostrado la no afectación en profundidad y únicamente se detectan concentraciones importantes en los primeros centímetros por debajo de la solera de hormigón.

Estas dos afecciones a suelos se detectan también en las aguas subterráneas. En el caso de los aceites minerales, únicamente se limita a los pozos más cercanos al foco de contaminación. Con el PCE, la contaminación de las aguas subterráneas se extiende fuera de las instalaciones, afectando a las fincas situadas aguas abajo.

En 2.001, se deja de utilizar el percloroetileno como agente desengrasante y se pasa a utilizar únicamente taladrinas (aceites minerales emulsionables).

Durante 2.004 - 2.007 se modifica la aleación de metales de las piezas mecanizadas lo que consigue que las piezas de trabajo adquieran la misma resistencia anterior, sin la necesidad del proceso de anodizado. En ese momento se deja de trabajar con ácidos en las instalaciones de estudio.

Actualmente, las sustancias de mayor peligro utilizadas en la planta son los aceite minerales emulsionables (taladrinas).

Debido a la mayor conciencia adquirida en todos los trabajos relacionados con la contaminación de suelos, actualmente, hay diferentes vías de prevención implementados para la contaminación de suelos por aceites minerales. (planes de mantenimiento preventivo de máquinas, bandejas de retención, recubrimiento con resina epoxi de toda la planta...).

4.2. Situación geográfica de las instalaciones.

Morfoestructuralmente, las instalaciones se ubican dentro de la Depresión Prelitoral, enmarcada entre las Cordilleras Litoral, al Sur, y Prelitoral, al Norte, y de orientación NE-SW.

Las instalaciones se encuentran situadas sobre una zona agrícola de relieves suaves y alomados, y a unos 200 m sobre el nivel del mar. Los accidentes geográficos locales más destacables son: el Río Rojo, a 1 Km. al oeste aproximadamente; y unas de sus rieras afluentes, la Riera Verde, que bordea, a escasos metros el límite este de las instalaciones. Esta riera forma el Río Grande a unos 8 Km. al sur del término municipal en el que está ubicada la instalación, que finalmente desemboca en el Mediterráneo. (ECA, 1.999).

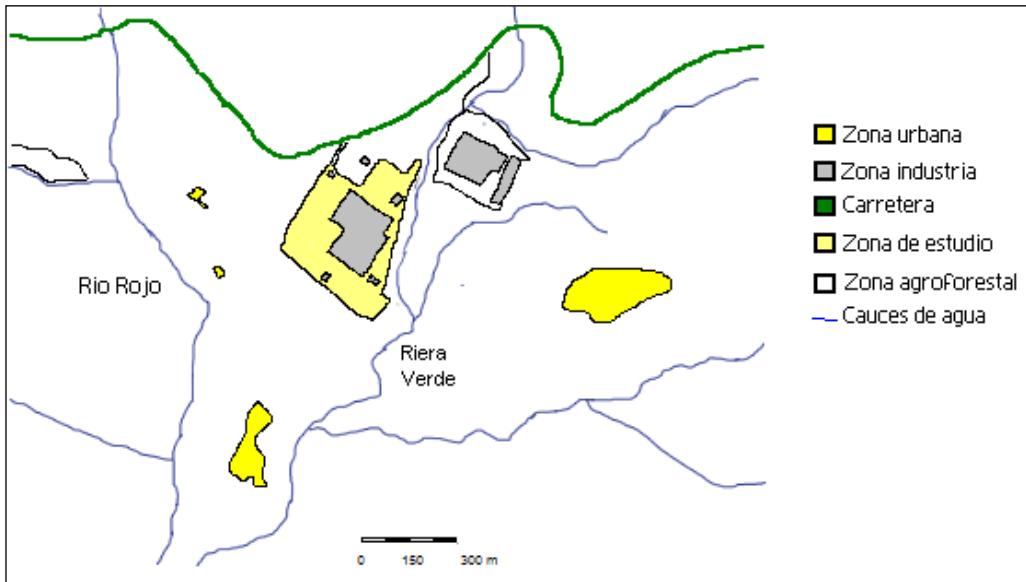


Figura 4.1. Situación geográfica del entorno de las instalaciones de estudio.
Fuente: Elaboración propia. Adaptado ICC

4.3. Geología e hidrología de la zona

La litología predominante en esta zona corresponde a materiales de relleno de la Depresión Prelitoral. Estos rellenos están compuestos por materiales aluviales neógenos del Mioceno Medio formados por arcosas cárnicas y lutitas. En los tramos cercanos al Río Rojo y sus rieras, se encuentran cubiertos por sedimentos del Cuaternario correspondientes a arenas, gravas y arcillas. Estos sedimentos se encuentran formando terrazas, glacis y coluviones asociados al río. Las instalaciones se emplazan directamente sobre unos 40 - 60 cm de relleno antrópico compuesto por gravas, arcillas, escombros, etc. que descansan sobre los materiales neógenos del Mioceno Medio (ECA, 1.999).

Las instalaciones se encuentran situadas dentro de la Cuenca Hidrográfica del Río Grande. Esta cuenca posee 1.268 km^2 de superficie total. La precipitación media anual en esta zona oscila entre 600 - 700 mm/año.

La unidad hidrogeológica que se ha definido en el área, ocupa el sector norte de la fosa prelitoral situada al noreste del Río Grande y en su delimitación física no presenta problemas de definición. Es este caso se diferencian dos unidades: una unidad hidrogeológica mixta formada por materiales neógenos (depósitos detríticos mio-pliocenos) y materiales aluviales cuaternarios, y otra unidad correspondiente a los depósitos aluviales actuales formados por gravas, arenas y arcillas (ECA, 1.999).

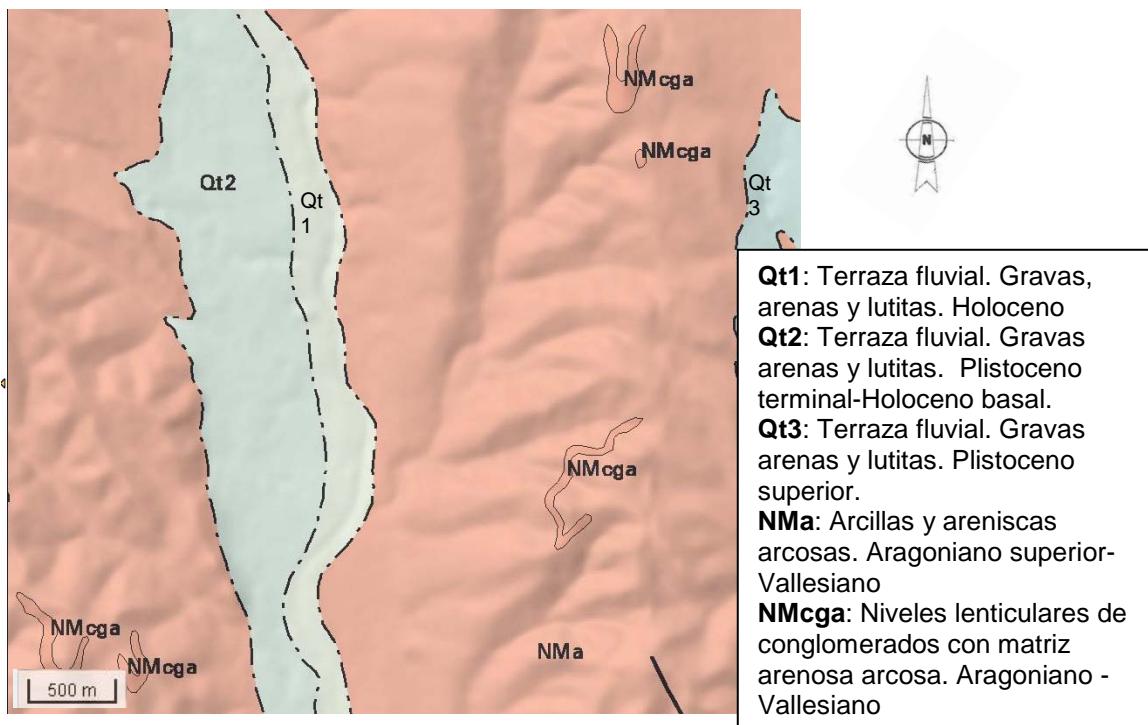


Figura 4.2. Mapa geológico de la zona de estudio.
Fuente: Adaptado ICC.

En la zona de ubicación de las instalaciones el acuífero superficial está formado por el nivel de arcosas y lutitas miocénicas. Las arcosas presentan una permeabilidad alta aunque en los tramos más cementados y en los tramos lutíticos esta permeabilidad disminuye.

En los terrenos se dispone de dos pozos de agua profundos perforados dentro del substrato terciario para el abastecimiento de las actividades, aunque actualmente sólo uno de ellos se encuentra en servicio. Igualmente la parcela agrícola situada al sur de la instalación dispone de un pozo propio para su abastecimiento. La presencia de otros pozos en parcelas próximas no se descarta debido a la ausencia de red de agua potable en la zona.

A partir de los estudios realizados por la empresa Letka, en los terrenos de la factoría se ha podido extraer una visión global del contexto geológico e hidrogeológico del emplazamiento.

Así, se pudieron identificar las siguientes capas o niveles desde la superficie hasta una profundidad de 24 metros. (Letka, 2.006):

- Una primera capa superficial constituida por hormigón/asfalto de espesores de entre 0,10 y 0,60 m.

- Debajo de esta primera capa superficial existen materiales limosos con pasadas arenosas de consistencia sólida o semisólida de color marrón claro medianamente compactados.
- Dentro de estos materiales limosos con pasadas arenosas, en las inmediaciones de la central de taladrinas (12, Anexos, Plano 1), a una profundidad de entre 8,5 y 11 m se presenta un estrato constituido por gravas finas de baja consistencia de espesor medio del orden de 1m.
- A partir de 22 - 24 m de profundidad existen materiales limo arcillosos de consistencia semisólida.

La ubicación topográfica de la planta reviste importancia a la hora de interpretar la hidrogeología local, ya que al este existe un fuerte desnivel de unos 15 metros sobre la Riera Verde, tributaria del río Rojo. A partir de los valores de cota relativa de varios pozos y los datos de profundidad del nivel freático (obtenidos a partir de campañas de nivelación, Letka, 1.996 / 2.001 / 2.003) pudo conocerse que el sentido de flujo del agua subterránea del emplazamiento en estado natural es de componente Suroeste (gradiente hidráulico del orden de 2,5%).

Sin embargo, teniendo en cuenta que el pozo de abastecimiento de la factoría (pozo Nº 4) se encuentra en fase de bombeo continuado, se considera que el sentido del flujo del agua anteriormente citada ha sufrido un cambio en sentido hacia el mismo. El nivel freático en esta zona se encuentra, aproximadamente, a unos 9 - 10 metros de profundidad aunque en el pozo Nº 4 su nivel natural es de 7,5 - 8 m y que actualmente se encuentra deprimido el nivel hasta una cuota de 11 m para producir un efecto barrera a los terrenos situados aguas abajo de la fuente de contaminación.

5. Trabajos realizados para la caracterización, implantación del método de descontaminación y evolución del emplazamiento

En este apartado se va a hacer un seguimiento de los estudios/trabajos llevados a cabo para gestionar la posible afección en el suelo y las aguas subterráneas por las primeras materias utilizadas en la empresa de estudio. En las siguientes páginas se podrá ver el análisis de los siguientes puntos:

- Caracterización del medio (suelo, aguas subterráneas).
- Elección de un proceso de descontaminación para los contaminantes generados por la empresa de estudio.
- Proceso judicial por una contaminación de aguas subterráneas ajena a las instalaciones de estudio.
- Análisis de seguimiento de los procesos de descontaminación desde la puesta en marcha de los equipos hasta la actualidad.
- Informe Preliminar de situación. Adaptación a la normativa R.D. 9/2.005 de gestión de suelos contaminados.
- Plan de futuro en la gestión de suelo y aguas subterráneas.

5.1. Gestión de la contaminación por percloroetileno

La empresa del estudio, siguiendo su política medioambiental, desde el año 1.996 ha ido contratando de manera continuada tanto a Letka como a ECA para la elaboración de distintas investigaciones de carácter medioambiental.

Todos los trabajos relacionados con la descontaminación del PCE en las instalaciones ha sido gestionado por Letka. Como excepción, en 1.999, ECA llevó a cabo un estudio encaminado a caracterizar la potencial contaminación del suelo y a su vez, ha llevado a cabo algún otro estudio no centrado con el PCE. En algunos de estos estudios, pese a no estar centrados en el PCE, se han aprovechado otros trabajos para llevar a cabo más análisis o mediciones.

En este apartado se va hacer, de forma resumida y cronológicamente un seguimiento de todos los estudios principales relacionados con el seguimiento de la contaminación por PCEs. Estos a su vez se van a agrupar en dos grupos generales; la zona no saturada y la zona saturada.

En las tablas 5.1 y 5.2 se puede observar un resumen de los diferentes proyectos llevados a cabo en cada una de las etapas de gestión de la contaminación por PCE y el resto de contaminantes

Tabla 5.1 Desglose de informes relacionados con cada una de las etapas en la gestión de la contaminación por hidrocarburos halogenados volátiles en suelos y aguas subterráneas del emplazamiento

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por la empresa de estudio

Zona de estudio	Etapa de gestión	Fecha	Informe
Zona no saturada	Caracterización	21/01/1.996	Environmental site assessment. Letka
		16/04/1.999	Estudio de caracterización de la potencial contaminación en el subsuelo de las instalaciones. ECA
		08/02/2.001	Investigación de suelos en los terrenos industriales. Letka
	Instalación equipo	05/12/2.001	Investigación de saneamiento de la zona no saturada en los terrenos de las instalaciones. Letka
		---	Technical Description (Descripción técnica del equipo de descontaminación)
	Seguimiento	14/08/2.002 - 03/02/2.005	Informes de avance trimestrales: Saneamiento de la zona no saturada de los terrenos industriales (12 informes). Letka
		04/02/2.003 - 17/01/2.007	Informes resumen anuales: Resumen de saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales (5 informes). Letka
		17/05/2.005	Informe Preliminar de Situación, según lo establecido en el R.D. 9/2.005. Letka
		30/07/2.008 - 25/08/2.010	Informes resumen anuales conjuntos de la zona no saturada y zona saturada: Continuación de saneamiento de la zona saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (3 informes). Letka
Zona saturada	Caracterización	08/04/2.003	Trabajos de reconocimiento hidrogeológico del pozo de abastecimiento N°4 en los terrenos industriales. Letka
		03/06/2.003	Propuesta de actuaciones de recuperación de la zona saturada en los terrenos industriales. Letka
		28/08/2.003	Construcción de pozos y muestreo de agua subterránea para el saneamiento de la zona saturada de los terrenos industriales. Letka
		11/11/2.003	Muestreo de pozos de agua subterránea. Letka
	Instalación equipo	07/04/2.004	Manual de operaciones y descripción del sistema de contención y tratamiento de agua subterránea. Letka
		27/08/2.004	Requeriment de restauració del medi a les instal·lacions de l'empresa. ACA
		08/06/2.004	Plan de control y seguimiento de las aguas subterráneas de los terrenos industriales. Letka
	Seguimiento	27/08/2.004 - 05/02/2.007	Informes de avance trimestrales: Contención y tratamiento del agua subterránea en los terrenos industriales (9 informes). Letka
		18/07/2.005 -29/05/2.007	Informes resumen anuales: Resumen de saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales (3 informes). Letka
		17/05/2.005	Informe Preliminar de Situación, según lo establecido en el R.D. 9/2.005. Letka
		30/07/2.008 - 25/08/2.010	Informes resumen anuales conjuntos de la zona no saturada y zona saturada: Continuación de saneamiento de la zona saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (3 informes). Letka

Tabla 5.2 Desglose de informes relacionados con cada una de las etapas en la gestión de la contaminación en suelos y aguas subterráneas por otros contaminantes diferentes de los hidrocarburos halogenados volátiles
 Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por la empresa de estudio

Cont.	Zona de estudio	Etapa de gestión	Fecha	Informe
Selenio	Zona saturada y zona no saturada	Caracterización	15/09/1.998 - 21/10/2.010	Analíticas Dr. Oliver Rodés entre 1.998 y 2.010
			29/06/2.006	Sentencia judicial
Aceites minerales	Zona saturada y zona no saturada	Caracterización	16/04/1.999	Estudio de caracterización de la potencial contaminación en el subsuelo de las instalaciones. ECA
			16/10/2.001	Estudio de investigación y de caracterización de la potencial presencia de contaminación en el suelo de las instalaciones. ECA
			17/05/2.005	Informe Preliminar de Situación, según lo establecido en el R.D. 9/2.005. Letka
			07/08/2.006	Investigación detallada de la calidad del suelo respecto a aceites minerales en las instalaciones
			30/01/2.003	Caracterización de los terrenos de la línea de anodizado y planta de tratamiento físico químico. Letka
Cromo III y Cromo VI	Zona saturada y zona no saturada	Caracterización	13/07/2.003	Caracterización de los terrenos de la línea de galvanizado (La 002). Letka
			17/11/2.003	Caracterización de los terrenos de una línea de galvanizado (La 005). Letka
			07/06/2.004	Caracterización de los terrenos de dos líneas de galvanizado (La 003 y La 004). Letka
			28/02/2.005	Caracterización de los terrenos de una línea de galvanizado (La 006). Letka

5.1.1. Caracterización zona no saturada

- Año 1.996. Auditoría medioambiental.

En este año la dirección de la empresa de la zona de estudio, se propuso implantar en las instalaciones diversos sistemas de gestión que ayudasen a llevar al día aspectos tan importantes como la calidad, la prevención de riesgos laborales o el medio ambiente. Para ello, se deciden por comenzar el proceso de implantación de los sistemas de gestión ISO y OHSAS. En cuestión de medio ambiente, la ISO 14.001 es la acreditación más ampliamente implantada por las empresas para gestionar todos los aspectos de la empresa relacionados con el medio ambiente.

Así, a partir de una visita realizada a las instalaciones y una vez revisada toda la información obtenida desde el punto de vista medioambiental, Letka, elaboró un documento de título “*Environmental site assessment*”

(21/01/1.996). Con este documento se quería auditar la gestión de todos los aspectos relacionados con el medio ambiente.

Para realizar este documento y poder extraer un estado preliminar de los datos medioambientales se recogieron datos sobre:

- Información histórica, general y local de las instalaciones.
- Un inventario de sustancias peligrosas utilizadas en el sistema productivo.
- Información sobre abastecimiento de agua y vertido de aguas residuales.
- Producción, almacenamiento y gestión de residuos.
- Información de los terrenos circundantes.
- Manipulación y almacenaje de sustancias peligrosas.

Este documento, pese a no estar centrado en la contaminación de suelos, es el primero en el que se considera que existe la posibilidad de una posible contaminación de los suelos y aguas subterráneas sobre las que están situadas las instalaciones

En base a toda la información recopilada, en relación a la contaminación del subsuelo y acuíferos, se elaboró un plano en el que se localizaban las zonas potencialmente contaminadas (ver Anexos, Plano 1). En base a este plano se llevó una propuesta de investigación preliminar de la calidad del suelo. Se propuso, la realización, en un futuro, de varios puntos de muestreo del subsuelo con el objetivo de analizar aquellas sustancias contaminantes contenidas en los productos utilizados en cada una de las zonas. En la tabla 5.3 se encuentran las sustancias, que en este documento, se consideran potenciales contaminantes del subsuelo relacionado con la zona de actividad y su fecha de inicio y fin de la instalación.

Tabla 5.3 Relación de zonas potencialmente contaminadas frente al año de inicio y fin de la actividad y sustancia relacionada con la actividad en cada zona. Ver situación en Anexos, Plano 1.

Fuente: Adaptación Letka, 1.996

Nombre/tipo de actividad	Nº en Plano	Fecha de inicio	Fecha de cierre	Sustancia relacionada a la actividad
Zona de desengrase de PCE	1	1.987	2.001	PCE
Depósito de destilación de PCE	2	1.987	1.996	PCE
Almacenaje de productos químicos	3	1.987	Actualidad	PCE, TPH, BTEX, MP
Zona de mecanizado y anodizado	4	1.987	Actualidad	TPH, BTEX
Zona de mantenimiento	5	1.987	Actualidad	TPH, PCE, BTEX
Zona de pinturas	6	1.991	1.999	BTEX
Depósito de gasoil	7	1.987	1.999	TPH
Surtidor de gasoil	8	1.987	1.999	TPH
Depósito de gasoil 30 m ³	9	1.999	Actualidad	TPH
Depósito de gasoil 5 m ³	10	1.999	Actualidad	TPH
Zona de calderas	11	1.987	Actualidad	TPH
Zona de recuperación de taladrinas	12	1.987	Actualidad	TPH, MP
Depósitos de taladrinas	13	1.987	Actualidad	TPH, MP

PCE: Percloroetileno TPH: Hidrocarburos totales del petróleo

BTEX: Hidrocarburos aromáticos volátiles MP: Metales pesados

- Año 1.999. Estudio de caracterización de la potencial contaminación en el suelo.

Durante el año 1.999, la empresa ECA, siguiendo las recomendaciones del informe de 1.996, realizó un estudio de caracterización del estado del suelo para detectar la potencial presencia de contaminantes en diversas áreas de las instalaciones debido a las actividades desarrolladas. De este modo, se elaboró el documento "Estudio de caracterización de la potencial contaminación en el suelo de las instalaciones" (16/04/1.999).

En dicha investigación se realizaron seis sondeos de entre 5 - 11 metros de profundidad para la toma de muestras de suelo y se instaló un piezómetro permanente para la toma de muestras de agua subterráneas (MW-2, posteriormente se renombró como PC-3). Los sondeos y el piezómetro fueron localizados en áreas potencialmente contaminadas, es decir, en el área de producción, en el área de recogida de taladrinas, sala de compresores y calderas, almacén de materias primas y área de proceso de limpieza y anodizado crómico. En Anexos, Plano 2, se puede observar un croquis de cual es la estructura de un piezómetro de control permanente.

A partir de una muestra tomada se detectó afección de tetracloroetileno de 715,29 mg/Kg en la zona de desengrase de PCE (Marca en rojo, Figura 5.1). En 1.999 este valor se comparó con el valor de referencia de uso industrial de la Guía de Calidad de Suelos de Cataluña (3,5 mg/Kg en PCE) y

el valor de intervención de la Guía Holandesa (4 mg/Kg en PCE). Actualmente, valorándolo con el R.D. 9/2.005 también sigue estando por encima de los NGR que marca la norma para suelo industriales (10 mg/Kg en PCE). A partir de los resultados de las analíticas de los diferentes sondeos se observa como la contaminación parece ser máxima en las zonas más cercanas a la superficie y disminuye progresivamente hasta una profundidad de unos 4 metros. La migración vertical, parece haber sido la predominante, parándose en la base impermeable existente en la zona (4,5 metros aproximadamente) donde los resultados obtenidos se sitúan por debajo del NGR (4,5 m: 0,177 mg/Kg 9,5 m: 0,71 mg/Kg).

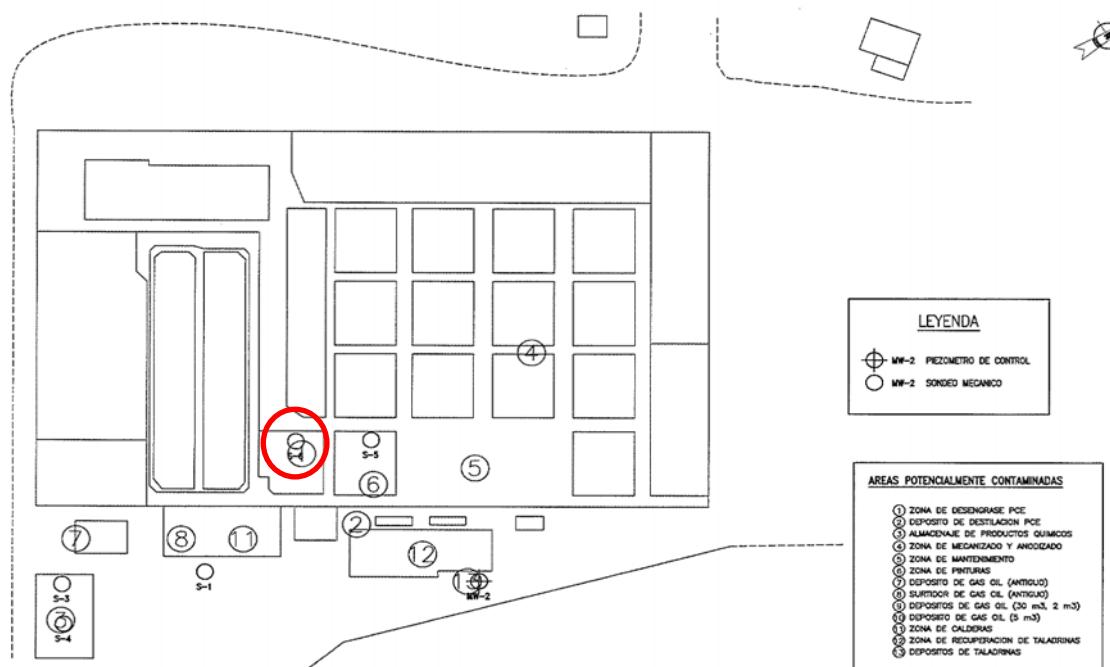


Figura 5.1. Localización de los sondeos realizados frente a las zonas potencialmente contaminadas

Fuente: Adaptado Letka, 1.999

- Año 2001. Investigación de delimitación de disolventes en el subsuelo.

A principios del año 2.001 Letka, realizó una investigación relacionada única y exclusivamente a la delimitación de los disolventes halogenados volátiles en los terrenos de estudio. Es importante remarcar que Letka, es una empresa con una amplia experiencia en proyectos de investigación y saneamiento de zonas degradadas por disolventes halogenados tanto en España como en el resto de Europa (especialmente Alemania). De este modo, se elaboró el documento “Investigación de suelos en los terrenos industriales de la empresa de estudio” con fecha de emisión del 8 de febrero de 2.001. Esta empresa, a partir de su experiencia, afirma en dicho informe que la vía de entrada del contaminante es el mismo suelo ya que el percloroetileno

“penetra soleras de hormigón aparentemente impermeables”. En relación a esta afirmación no se ha encontrado bibliografía alguna para poder contrastar dicha información.

La investigación de la existencia de contaminación en el suelo/aguas por el uso de PCE en una empresa, se debe de llevar a cabo analizando el conjunto de hidrocarburos halogenados volátiles. Esto se debe al hecho de que el análisis del conjunto de los hidrocarburos halogenados volátiles permite conocer las concentraciones de los subproductos de degradación de este (TCE, DCE...). Adicionalmente, algunos de estos subproductos, tienen diferentes niveles de referencia que el PCE, como es el caso del 1,1-DCE el cual tiene un NGR para usos industriales de 21 mg/Kg.

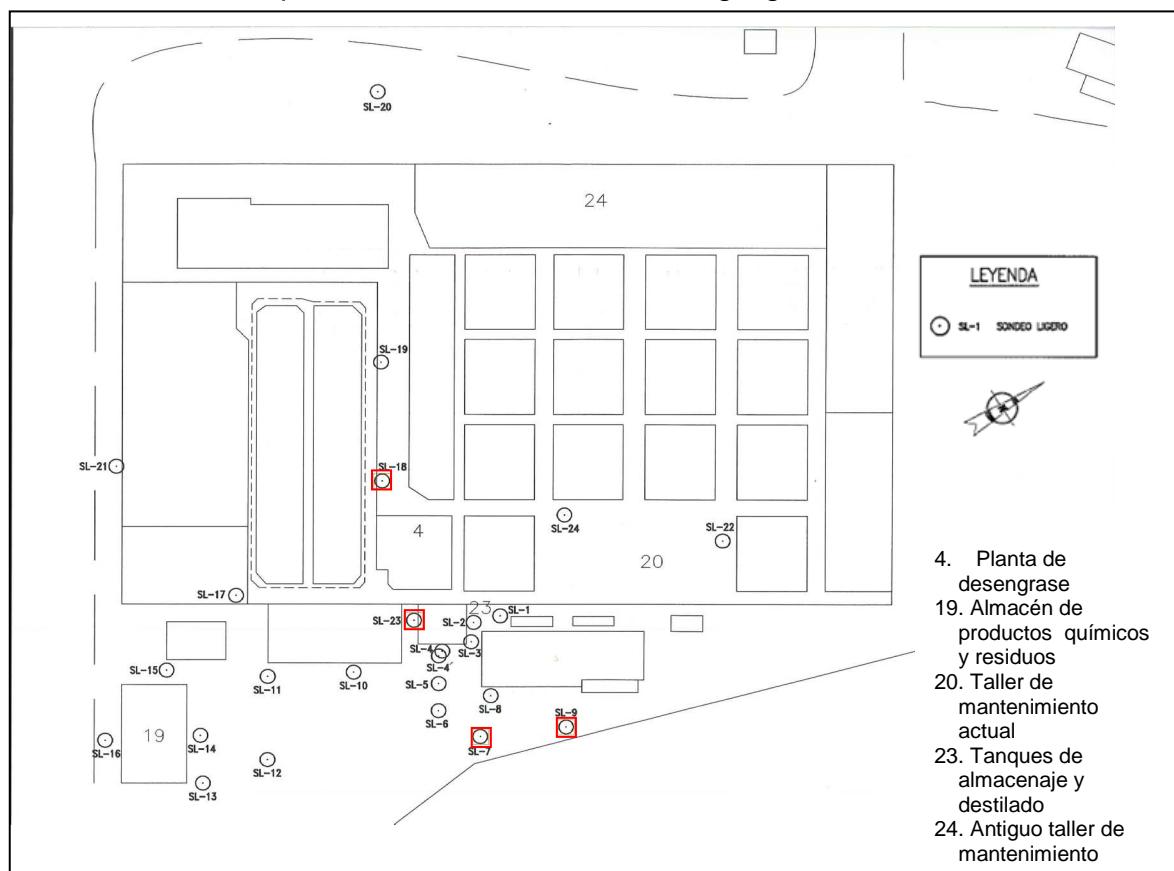


Figura 5.2. Sondeos y piezómetros realizados en el estudio de 2.001

Fuente: Letka, 02/2.001

En dicha investigación se realizaron veinticuatro sondeos ligeros para la toma de muestras de gas del suelo y análisis de hidrocarburos halogenados volátiles (ver plano 5.2). Este tipo de sondeo se realiza mediante un martillo perforador a percusión y un conjunto de varillas de perforación (\varnothing 35 mm) y que permiten extraer el testigo del suelo. Los sondeos tuvieron una

profundidad de 1 - 5 metros y fueron localizados en el área de la antigua planta de desengrase, tanques de almacenaje y destilado, almacén de productos químicos y taller actual de mantenimiento ya que el antiguo quedó descartado tras aclarar por parte de la empresa que en esta zona el uso de disolventes fue mínimo.

En lo que se refiere a la técnica de muestreo, se optó por un muestreo del gas del suelo, dado que los disolventes halogenados son muy volátiles (Constante de Henry 25 °C: 0,723). Según la empresa encargada de la caracterización, durante numerosas investigaciones realizadas con anterioridad, se ha demostrado que muestras directas de suelo no permiten obtener resultados representativos ya que gran parte del contaminante se volatiliza durante las tareas de toma y trasiego de las muestras. Como técnicas analíticas del aire del suelo, en este estudio se decidieron a utilizar dos:

- Semicuantitativas: Fueron utilizados como análisis orientativos para seleccionar donde realizar los diferentes sondeos ya que pese a ser semicuantitativos, los resultados se obtenían in-situ. Estos análisis se realizaban a partir de tubitos de control calibrados en percloroetileno. Estos tubitos pueden dar tres niveles generales a gran escala): no se detecta, se detecta presencia (diferentes concentración) y se detecta abundante presencia. Para seleccionar la situación de los sondeos, Letka, comenzó por realizar un sondeo en lo que parecía ser el foco de contaminación (tanques de PCE y destilado) y a partir de los resultados de los sondeos próximos a estos, se seguía o no en esa línea. Para ver los resultados en los diferentes sondeos ver Anexos, Plano 3.
- Cuantitativos: Para conocer con más exactitud las concentraciones en aire del suelo de PCE, se utilizaron tubitos de carbón activo (Dräger). Estos tubitos se introducen en la perforación previamente realizada, utilizando para ello una varilla hueca especialmente diseñada para tal fin, quedando finalmente los tubitos aislados, tanto de la superficie como del espacio que rodea la perforación. Con la ayuda de una bomba de aspiración manual se extrae una cantidad definida de gas del suelo (1.000 cm³). Las sustancias volátiles al pasar a través del tubito, son absorbidas por el carbón activo y después se precintan por los dos extremos para llevarlas al laboratorio (Innolab, Alemania). Para ver los resultados en los diferentes sondeos ver Anexos, Plano 4.

Adicionalmente a la ejecución de sondeos ligeros y aprovechando la perforación realizada se procedió a la instalación de 4 piezómetros de control permanente que permiten realizar el seguimiento del saneamiento. Los piezómetros se instalan en los sondeos 7 - 9 - 18 - 23 (marcados en rojo,

figura 5.2) con profundidades de 5 metros excepto en el 18 que es de 3 metros.

Al contrario de los dispuesto para análisis directos de contaminantes en el suelo (criterios provisionales de calidad del suelo en Cataluña, lista holandesa, R.D. 9/2.005...) o aguas subterráneas (lista holandesa) no existen valores de referencia o límites en gas del suelo con los cuales contrastar los resultados obtenidos. Por esto los resultados se contrastan de acuerdo con el criterio técnicamente aceptado de que concentraciones superiores a 50 mg/m^3 frecuentemente causan afección no aceptable en aguas subterráneas (valores de orientación del LAWA, Sociedad federal de aguas de Alemania)

Con los resultados analíticos obtenidos, se diferenciaron claramente tres zonas afectadas por hidrocarburos halogenados volátiles (Figura 5.3):

1. Planta de desengrase: principal foco de afección con concentraciones superiores a 10.000 mg /m^3 , con una superficie aproximada de unos 900 m^2 .
2. Almacén de productos químicos: foco de afección con concentraciones máximas del orden e 2.800 mg/m^3 , con una superficie aproximada de 300 m^2 .
3. Exteriores / patio: Área del sondeo SL-7: foco de afección con concentraciones máximas del orden de 9.000 mg/m^3 , con una superficie aproximada de 100 m^2 .

En la figura 5.3 queda reflejada la localización de las tres focos de contaminación de hidrocarburos halogenados volátiles (marcado en azul).

A partir de este estudio, Letka recomendó la técnica de extracción de contaminantes volátiles “*Soil Vapor Extraction*”. Este proceso, se basa en la realización de pozos de extracción de gases, conectados a unas bombas de vacío que absorben el gas del suelo. Esta absorción de gases provoca un flujo continuo de contaminante volatilizado hacia unos filtros de carbón activo que a medida que se van saturando, deben ser cambiados.

En las instalaciones de estudio se prevé que con la instalación de 4 pozos de extracción de gas (*VEW - Vapor extraction well*). sería suficiente para subsanar la contaminación. El primer sondeo se realizaría en la zona de la planta de desengrase, por considerarse el foco de la contaminación. Una vez hecho, se debería de realizar un ensayo de extracción para determinar el rango y radio de influencia del pozo, las concentraciones del gas del suelo y así determinar la ubicación del próximo pozo. Una vez hechos todos los pozos y sus respectivos ensayos de extracción, se valoraría la posibilidad de ampliar la cantidad de pozos de extracción para que se garantice la gestión de descontaminación de toda la pluma de contaminación.

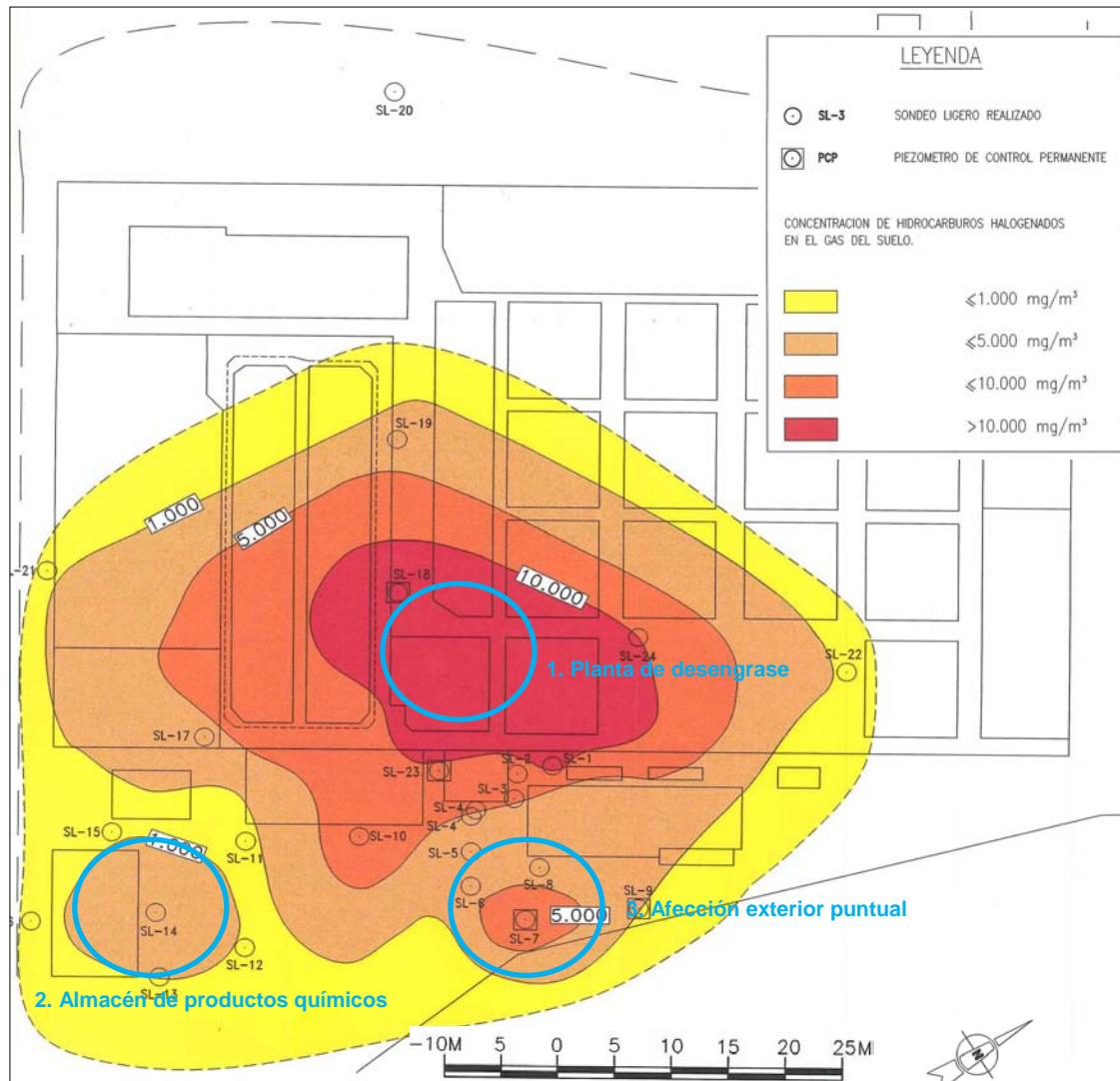


Figura 5.3. Plano de isolíneas de concentración hidrocarburos halogenados volátiles y marcado de las 3 zonas principales de afección (Azul)
Fuente: Letka , 02/2.001

También se propone la instalación de un piezómetro de control permanente (PVMP - Permanent Vapor Monitoring Probe) adicional en la zona del almacén de productos químicos (SL-16) (ver Anexos, Plano 5).

- Año 2.002. Instalación del sistema de descontaminación de suelos.

Durante noviembre de 2.001 se comenzaron los trabajos de construcción de los pozos de extracción y el piezómetro de control permanente adicional recomendado en el estudio de febrero de 2.001.

Las labores de perforación fueron realizadas por la empresa Bosch & Ventayol, Geoserveis, bajo la supervisión de Letka.

Los trabajos de perforación fueron realizadas mediante el método de rotación con extracción de testigo continuo. El funcionamiento del sistema consiste en la transmisión de un movimiento de avance y giro a un útil de corte por medio de varillaje. Este útil de corte consiste de una corona de carburo de tungsteno, que se acopla en el extremo de la batería de perforación, siendo el terreno introducido en el hueco de la batería y posteriormente es extraído a la superficie. Las varillas de perforación se van uniendo mediante manguitos a medida que se avanza en el terreno. Cabe destacar, que en todo momento la perforación se realizó en seco, es decir, sin la utilización de aditivos líquidos (agua, lodos, etc). Para sondeos ambientales se recomienda la perforación en seco ya que de esta manera, se evita la utilización de agua y aditivos que podrían alterar la muestra.

Una vez realizados los sondeos fueron levantadas las columnas litológicas a partir de los testigos extraídos de los sondeos. Ya realizadas las perforaciones a las profundidades deseadas, se procedió a la instalación de tubería de polietileno de alta densidad (PEAD) para las construcciones de los pozos de acuerdo con las especificaciones que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5.4. Características de los pozos de extracción

Fuente: Letka, 12/2.001

	Pozo de extracción de gases			
	VEW-1	VEW-2	VEW-3	VEW-4
Ø Perforación (mm)	128	128	128	128
Ø de tubería PEAD (mm)	80	80	80	80
Metros perforados (m)	12,4	15	15	15
Tubería ciega, parte inferior (m)	1	1	1	1
Tubería filtro, parte intermedia (m)	10	12	12	12
Profundidad tramos de tubería filtro (m)	1,3 - 11,3	1,9 - 13,9	1,9 - 13,9	1,9 - 13,9
Tubería ciega, parte superior (m)	1,3	1,9	1,9	1,9
Sellado de bentonita, parte inferior (m)	0,4	0,3	0,3	0,3
Grava, parte intermedia (m)	10,9	13	13	13
Arena, parte intermedia (m)	0,1	0,2	0,2	0,2
Sellado con bentonita parte superior (m)	1	1,5	1,5	1,5

Una vez realizados los pozos, con el fin de comprobar la efectividad de la extracción de gas del suelo en la zona no saturada del emplazamiento, y la correcta situación de los pozos, se llevaron a cabo ensayos de extracción, según iban siendo finalizados. Los ensayos fueron realizados mediante un ventilador de tipo compresor a canal lateral, con un caudal nominal de 28 m³/h y un vacío de 250 mbar. En total se realizaron 4 ensayos de extracción (uno por pozo). La duración de los ensayos, así como las muestras tomadas se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 5.5. Duración de los ensayos de extracción y muestras tomadas
 Fuente: Letka, 12/2.001

Pozo de extracción	Tiempo de extracción (horas)	Muestras tomadas (horas)			
VEW-1	15	0,5	1	4	15
VEW-2	17	0,5	1	4	17
VEW-3	9	0,5	1	4	9
VEW-4	12	0,5	1	4	12

La toma de muestras de gas del suelo se utilizaron, igual que en los últimos trabajos, tubitos de carbón activo (Dräger) y la extracción de una cantidad de aire definido (1.000 cm³). Una vez finalizada la toma de muestras, los tubitos son mandados a Innolab para el análisis a partir del método de Cromatografía de Gases con Detector de Captura de Electrones (GC-ECD) con un límite detección de entre 0,1 y 0,5 mg/m³. En esta muestra se analiza el diclorometano, 1,2-DCE (cis y trans), triclorometano, 1,1,1-tricloroetano, tetraclorometano, TCE y PCE.

Para disponer de información “in-situ” sobre el rendimiento del sistema, también se llevaron a cabo mediciones semicuantitativas a partir de tubitos de control. Para ver los resultados ver Anexos, Tablas 1 y 2.

Los resultados analíticos llevados al laboratorio Innolab, confirmaron las mediciones semicuantitativas realizadas. Las concentraciones más elevadas de PCE fueron detectadas de nuevo, en los pozos localizados cerca de la planta de desengrasar con valores máximos del orden de 70.000 mg/m³ en el VEW-1 y valores de menor rango, pero en todo caso muy elevados del orden de 12.000 mg/m³ y 6.500 mg/m³ en el VEW-2 y VEW-4 respectivamente. Las mínimas concentraciones fueron las analizadas en el pozo VEW-3 con una concentración de 1.200 mg/m³ de PCE.

También se detectaron cantidades considerables de TCE, con concentraciones máximas de 2.300 mg/m³ en el VEW-1 frente a concentraciones mínimas de 110 mg/m³ en el VEW-3.

Los parámetros de 1,2-DCE, cis y trans también mostraron concentraciones importantes, con unos valores de entre 4 mg/m³ en el pozo VEW-3 y 530 mg/m³ en el pozo VEW-2.

Referentemente a la evolución de las concentraciones totales durante los períodos de los ensayos de extracción, cabe mencionar que tuvieron una evolución ligeramente hacia la baja, a excepción de la evolución detectada en el pozo VEW-4 que fue ligeramente ascendente.

Basado en los resultados analíticos fueron realizados nuevos cálculos, (definitivos) de coeficientes de extracción, los cuales se presentan en la tabla 5.6.

Tabla 5.6. Coeficientes de extracción a partir de los resultados analíticos
Fuente: Letka, 12/2.001

	Ensayos de extracción			
	VEW-1	VEW-2	VEW-3	VEW-4
Velocidad de aire extraído (m/s)	10	11,5	15,85	12,9
Caudal de salida (m ³ /h)	70,7	81,3	109,6	91,2
Medición de PCE al final de extracción (ppm)	66.000	11.000	1.200	7.900
Coeficiente de extracción (Kg/h)	4,66	0,89	0,13	0,72

Durante, los ensayos de extracción de cada uno de los pozos se realizó una medida cuantitativa a partir de tubitos Dräger en los piezómetros de control permanentes más cercanos a los pozos para ver la concentración previa a los ensayos de extracción. Los resultados se pueden ver en la tabla 5.7:

Tabla 5.7. Concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en muestras de gas del suelo a partir de los piezómetros de control permanentes (mg/m³). Análisis cuantitativos.
Fuente: Letka, 12/2.001

Parámetros	Valor límite establecido (LAWA)	MUESTRAS				
		PVMP-1	PVMP-2	PVMP-3	PVMP-4	PVMP-5
Diclorometano	50	ND	ND	ND	ND	ND
1,2-Dicloroeteno, trans		ND	ND	4,8	ND	0,7
1,2-Dicloroeteno, cis		0,5	1,6	30	ND	56
Triclorometano		1,5	ND	0,1	ND	0,1
1,1,1-Tricloroetano		0,2	ND	ND	ND	ND
Tetraclorometano		ND	ND	ND	ND	ND
Tricloroeteno		130	37	120	4,7	23
Tetracloroeteno		6.200	1.100	2.600	310	690
Total		6.332,2	1.138,6	2.754,9	314,7	769,8

LAWA: Sociedad Federal de Aguas de Alemania

Durante los ensayos en cada uno de los pozos de extracción se llevaron a cabo medidas semicuantitativas a partir de tubitos Dräger, en los piezómetros de control permanentes más cercanos a estos pozos al objeto de definir la afección generada por la extracción.

Tabla 5.8. Mediciones semicuantitativas realizadas en los PVMPs durante los ensayos de extracción
Fuente: Letka, 12/2.001

Ensayo de extracción en VEW-1				Ensayo de extracción en VEW-2					
PVMP-1		PVMP-2		PVMP-2		PVMP-3		PVMP-4	
1h	15h	1h	15h	1h	17h	1h	17h	1h	17h
>300	>300	>300	>300	>300	300	>300	300	250	150
Ensayo de extracción en VEW-3				Ensayo de extracción en VEW-4					
PVMP-1		PVMP-2		PVMP-2		PVMP-3			
1h		9h		1h	12h	1h	12h		
150		150		300	200	300	275		

En términos globales se pusieron de manifiesto ligeros descensos de las concentraciones en las muestras tomadas al finalizar los ensayos. Estos resultados confirmaron la correcta localización de los pozos con el fin de llevar a cabo un saneamiento efectivo.

Según los resultados obtenidos se observó que el terreno presenta permeabilidad de gas media, con caudales de salida comprendidos entre 70 - 110 m³/h. Respecto a los coeficiente de extracción, destaca el del pozo VEW-1 con un valor de 43,6 Kg/h, mientras que los otros pozos tienen un rango inferior a 1Kg/h.

El 17 de Enero de 2.002 fueron instalados y conectados dos sistemas de extracción (VES) a los cuatro pozos de extracción (VEW) existentes en la factoría.

5.1.2. Caracterización zona saturada

- Año 1.996. Auditoría medioambiental

La caracterización de las aguas subterráneas comienza al igual que la afección de la zona no saturada, en 1.996 con la auditoría medioambiental encaminada a certificar la instalación con el sistema de gestión ISO 14.001. En este estudio además de realizar un mapa con los posibles puntos de contaminación de suelos y sustancias a estudiar (Ver tabla 5.3 y figura 5.1 págs. 53 y 54), también se hace mención a la posibilidad de una posible afección a las aguas subterráneas. En este estudio se concluyó con la propuesta de realizar en un futuro, análisis de las aguas subterráneas de los parámetros marcados en el suelo como posibles contaminantes (Percloroetileno, Hidrocarburos totales del petróleo, hidrocarburos aromáticos volátiles y metales pesados).

- Año 1.999. Análisis de aguas tras la detección de la contaminación por PCE en la zona no saturada

En el siguiente estudio en relación la caracterización de la potencial contaminación en el subsuelo de las instalaciones (1.999), pese a observarse una afectación del suelo por PCE, únicamente se muestreó el pH, la conductividad y la cantidad de aceites minerales. En este estudio no se pudieron obtener datos sobre la posible afectación del acuífero por PCE.

En el estudio de 1.999 pese a no analizarse el estado de las aguas subterráneas, se verifica una contaminación de la zona no saturada por PCE. Así pues, tras observarse esta afección del suelo por PCE, la empresa solicitó que en las analíticas periódicas de los pozos de las instalaciones (realizados por el laboratorio especializado y acreditado para el análisis de aguas Dr. Oliver Rodés) se incluyeran los parámetros relativos a hidrocarburos halogenados volátiles (PCE, TCE, 1,2-DCE,cis, 1,2-DCE, trans, 1,1,1-Tricloretano, Tetraclorometano, 1,2-Dicloropropano, cis-1,3 Dicloropropeno, 1,1,2,2-Tetracloroetano, 1,3-Diclorobenceno, 1,4-Diclorobenceno, 1,2-Diclorobenceno, 1,3,5-Triclorobenceno, 1,2,3-Triclorobenceno y Hexaclorobutadieno).

Así el 18/07/1.999 se realizó el primer análisis de aguas del pozo Nº 4 (agua sanitaria utilizada en fábrica) observándose unas concentraciones de 116 µg/L de TCE, 1.145 µg/L de PCE y 541 µg/L de 1,1,1-Tricloretano. En aquel momento se aplicaron los valores paramétricos de la Directiva 1.998/83/CE relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. La directiva únicamente limitaba la concentración en agua a la suma de TCE y

PCE menor de 10 µg/L, lo cual mostraba una afección positiva de las aguas subterráneas de los terrenos de estudio.

Pese a la detección positiva por PCE en las aguas subterráneas, como se verá en el siguiente punto (punto 5.2), este medio ya estaba afectado por otro contaminante (Selenio). Debido a la contaminación por selenio el agua de consumo humano era comprada a suministradores externos, lo cual permitió que el agua del pozo Nº 4 se pudiese seguir utilizando como agua sanitaria (lavabos, limpieza de suelos y duchas).

En Septiembre del año 2.000 tras haber detectado otro positivo por PCE y TCE en el pozo Nº 4, se decide poner en conocimiento de las autoridades (ACA y ARC). A finales de 2.001 se reúnen representantes de la ARC, el ACA, técnicos de Letka y responsables de la empresa para ver posibles soluciones.

En esta reunión se llegó a la conclusión de no actuar en la zona saturada hasta no comenzar una remediación en la zona no saturada. La justificación a esta espera fue que el foco de contaminación por PCE es el suelo, no el agua. Así, si se hubiesen llevado a cabo trabajos de descontaminación en el agua desde un inicio, se podría haber provocado un aumento de la migración de contaminantes del suelo a las aguas subterráneas.

Tras esta reunión las autoridades avisan a los propietarios de la masía cercana (aguas abajo) sobre la posibilidad de que sus aguas subterráneas puedan estar contaminadas. Esta masía no es de uso habitual por los propietarios sino una parte la habita un "masovero" y el resto de la edificación se utiliza solo unas pocas semanas al año. Pese a esto, en la masía se utiliza el agua de pozos como agua sanitaria únicamente. El agua de riego proviene del Río Rojo a través de una red de canales de riego existente en la zona. El agua de consumo proviene de agua embotellada ya que la zona nunca ha tenido suministro de agua potable.

De aquella reunión con el ACA y el ARC también se especifica la obligación por parte de la empresa de seguir con las analíticas de control de las aguas subterráneas y aumentarlas a los pozos colindantes. El hecho de que el pozo Nº 4 (el pozo situado aguas debajo de la instalación) superara los 10 µg/L de PCE+TCE, abría la posibilidad de que los demás pozos existentes aguas abajo, también lo estuvieran. Los puntos que se muestrearon para conocer la concentración de PCE fuera de los terrenos de la empresa son los marcados en la figura 5.4. Los resultados de los análisis desde ese momento a la actualidad los podrán encontrar en los Anexos, Tablas 3, 4, 5 y 6.

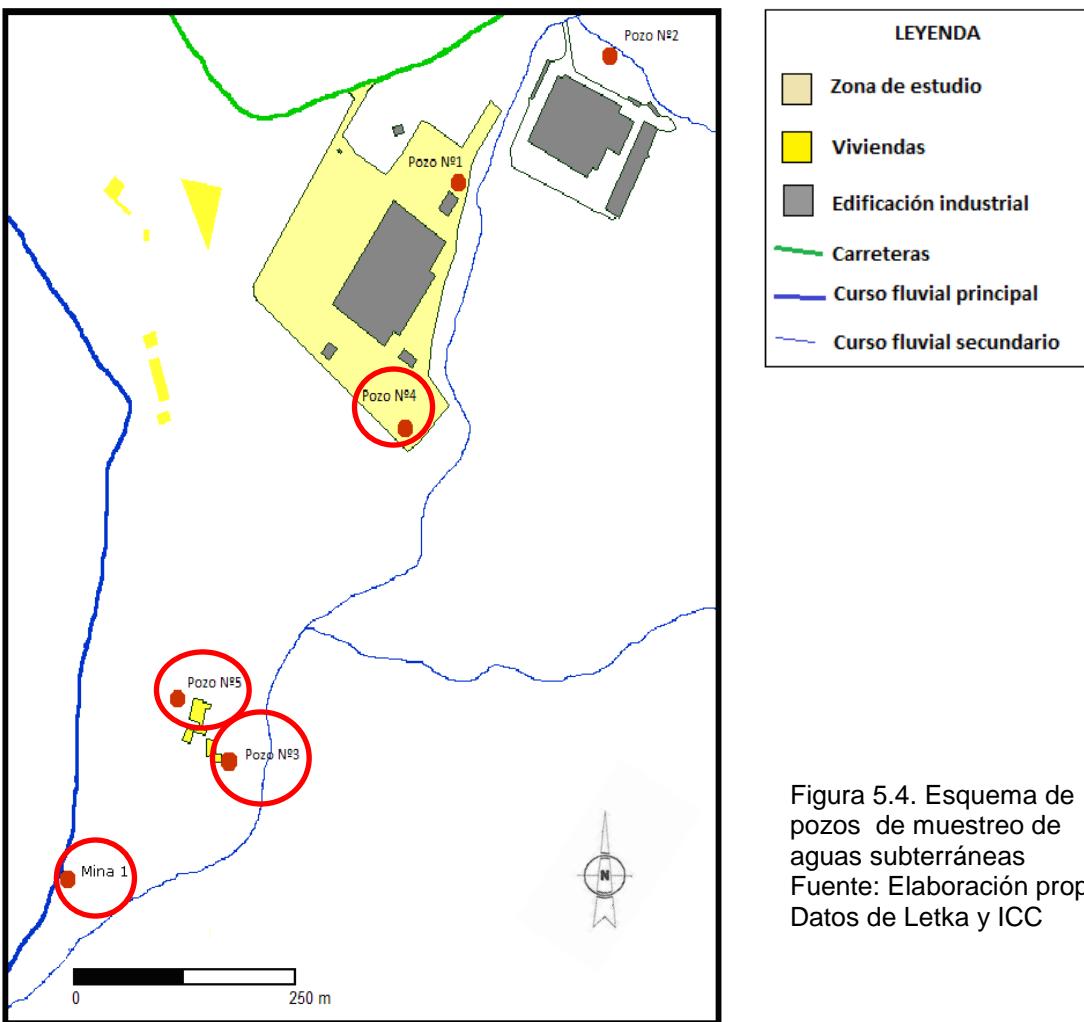


Figura 5.4. Esquema de pozos de muestreo de aguas subterráneas
Fuente: Elaboración propia.
Datos de Letka y ICC

A finales de 2.001 se realizaron las primeras analíticas en la finca colindante, evidenciándose la detección en todos los pozos, pese a que solo se sobrepasan los valores límite de 10 µg/L en el pozo 5 y en la Mina 1 situada más al sur. Los valores máximos se detectan en diciembre de 2.001 en el pozo 5 con una concentración de 2 µg/L de TCE y 302 µg/L de PCE. En la Mina 1 se detecta una concentración de 17 µg/L de PCE y en el pozo 3 una concentración de 4 µg/L de PCE.

Tras observar estos datos, el mismo diciembre de 2.001, los responsables de la empresa, se ponen en contacto con las autoridades locales para solicitar el cierre de la Mina 1. Para esto, el mismo enero de 2.002, se colocó una losa sobre la fuente y se etiquetó la fuente como agua no potable.

A finales del mismo diciembre, la empresa de la zona de estudio solicitó oferta urgente a Letka para llevar a cabo un tratamiento de las aguas del pozo

5. Con este tratamiento se pretendía si no la eliminación del PCE, la disminución de su concentración para poder seguir utilizando esta agua sanitaria sin peligro alguno para los habitantes de la masía. Desde Letka se recomendó el uso de filtros de carbón activo para el tratamiento inmediato de esta agua.

El 24/01/2.002 se instalaron los filtros en el pozo 5 y se llevaron a cabo analíticas de las aguas no tratadas y tratadas dando como resultados 158 µg/L y no detectado respectivamente, demostrándose la eficacia del método. A su vez durante los meses siguientes se incrementó el número de análisis para asegurar el buen funcionamiento de las instalaciones (en todo el 2.002 las concentraciones fueron más bajas en el agua tratada que la no tratada y siempre inferiores a 10 µg/L de TCE+PCE).

- Marzo 2.003. Reconocimiento del pozo número 4.

A principios de 2.003 se comienzan a detectar en los pozos de extracción de aire, unas concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles considerablemente menores que en sus inicios. En este punto la empresa de estudio solicita a Letka la preparación de un proyecto de actuaciones de recuperación de la zona saturada de los terrenos de la factoría. Por parte de la empresa se solicita como objetivos principales lo siguiente:

- Proceder con la recuperación de la zona saturada afectada por hidrocarburos halogenados volátiles.
- Evitar los efectos hacia las zonas colindantes al emplazamiento.

Para el segundo objetivo, Letka solicitó llevar a cabo un estudio de las características del pozo Nº 4 para ver la posibilidad de utilizarlo como barrera hidrogeológica al avance de la afección de los terrenos hacia zonas colindantes.

El día 27/03/2.003 comenzaron los trabajos de reconocimiento. Inicialmente se llevo a cabo un ensayo de bombeo del pozo Nº 4. Un ensayo de bombeo no es más que la extracción de agua de un pozo a caudal fijo o variable. Mientras se realiza el bombeo, se sigue la evolución del nivel de agua en el pozo objeto del ensayo y si los hay en los pozos o sondeos cercanos. Este tipo de ensayos permite obtener información sobre las características propias tanto del pozo, como del acuífero. De este tipo de bombeos se extraen datos como son la calidad de la construcción del pozo, el caudal máximo de explotación, transmisividad, almacenamiento...

Así pues, con un caudal de extracción de 6 L/s pudo deprimirse el nivel freático del pozo Nº 4 desde una profundidad de 8,5 m hasta una profundidad de 10,68 m en 2 horas 30 minutos. En total se trajeron 54 m³ de agua.

Una vez finalizado el proceso de bombeo, se procedió a medir la recuperación del freático para dar a conocer la cantidad de agua de entrada en el pozo, o lo que es lo mismo, el caudal máximo que se puede extraer de este sin hacer disminuir el nivel. Este valor fue del orden de 2,7 L/s, considerándose sino el valor máximo, próximo al máximo, ya que los labores se realizaron en una época de niveles freáticos elevados y acuíferos recargados debido a las lluvias producidas en época invernal. En la época estival se espera que este nivel descienda considerablemente.

Ya recuperado el nivel freático, se procedió a muestrear el agua subterránea con la finalidad de saber la concentración de hidrocarburos halogenados volátiles, la conductividad eléctrica, temperatura y pH. Estos parámetros son útiles a la hora de diseñar el sistema de descontaminación ya que en del resultado se puede favorecer o dificultar la extracción de un contaminante en el agua. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 5.9. Resultados analíticos y parámetros de campo a partir del agua subterránea del pozo N° 4.

Fuente: Letka, 04/2.003

	Unidades	Resultados analíticos
Flurotriclorometano	µg/L	Nd
1,1,2-Triclorotrifluoroetano	µg/L	Nd
Diclorometano	µg/L	Nd
1,2-Dicloroetileno, cis	µg/L	190
1,2-Dicloroetileno, trans	µg/L	Nd
Triclorometano	µg/L	Nd
1,1,1-Tricloroetano	µg/L	Nd
Tetraclorometano	µg/L	Nd
Tricloroeteno	µg/L	23
Tetracloroeteno (PCE)	µg/L	1.900
Total	µg/L	2.113
Conductividad	µg/L	3.000
Temperatura	°C	15,9
pH	upH	7,06

Nd: No detectado

Debido a que no se disponía de cuales eran las características del pozo N° 4, salvo constancia de varias galerías subterráneas, se llevaron a cabo labores de inspección y descripción. Para la inspección se introdujo en el pozo a un buceador, el cual descendió hasta la base del pozo situada a 15,2 m. Allí observó que la bomba sumergible de extracción de agua se encontraba en buen estado, situada sobre una madera clavada al fondo del pozo. El diámetro del pozo era de 1,5 m. Cerca de la base del pozo localizó tres galerías con las siguientes direcciones y profundidades:

Galería A - N 250 E con la base de la galería a 12,7 m de profundidad.

Galería B - N 160 E con la base de la galería a 12,4 m de profundidad.

Galería C - N 70 E con la base de la galería a 12,7 m de profundidad.

Las galerías, de 0,7 m de ancho por 1,2 m de alto, se encontraban en perfecto estado con 10 cm de sedimentos en el fondo de las mismas. Debido a las dimensiones de la galería el buceador no pudo penetrar en las galerías aunque mediante el foco pudo visualizar una longitud del orden de 15 m sin ver cambio de dirección alguno a excepción de la galería A, la cual a unos 10 m de distancia, empezaba a cambiar de dirección ganando grados hacia el norte (Ver Anexos, Plano 6).

A partir de este estudio se consideró que el pozo Nº 4 era apto para utilizarlo como barrera de contención de agua subterránea, ya que las galerías A y C se encuentran perpendicularmente localizadas a la dirección de flujo del agua subterránea. El ensayo de bombeo, también permitió conocer la cantidad de agua máxima que se podía extraer (2,7 L/s), la cual parece ser suficiente para mantener un proceso de bombeo en continuo. Pese a esto, Letka, recomendó la construcción de un pozo adicional en la zona suroeste de la instalación con la finalidad de determinar la anchura total de la pluma de contaminación en el agua subterránea (PC-1 en Anexos, Plano 6). Este pozo, en caso necesario, podría ofrecer otro punto de extracción de agua para complementar la extracción a partir del pozo Nº 4.

- Agosto – Septiembre 2.003. Construcción de nuevos pozos y ensayos.

Una vez, aceptada la posibilidad de utilizar el pozo Nº 4 como barrera de contención, Letka, propuso la construcción e instalación de un sistema de pozos de bombeo que sería complementado con el actual. Estos pozos se conectan mediante una red de tuberías a un sistema de bombeo y tratamiento aplicando la metodología de extracción denominada “*stripping*”.

El “*stripping*” se basa en un proceso de transferencia de materia, en el cual haciendo pasar aire a través del agua se favorece la volatilización de los compuestos contenidos en ella, y por tanto su transferencia desde la fase acuosa al aire. Este proceso, es uno de los más utilizados para el tratamiento de agua subterránea contaminada con compuestos orgánicos volátiles. Este proceso se puede aplicar a un amplio rango de compuestos volátiles y permite reducir la contaminación hasta unos niveles muy bajos (Letka, 09/2.003).

Letka propuso, para complementar al pozo Nº 4, la construcción de dos pozos de bombeo adicionales localizados uno en la zona directamente afectada por hidrocarburos halogenados volátiles (PC-1) y el otro localizado aguas abajo del anterior y paralelo al pozo Nº 4 (PC-2) (Ver Anexos, Plano 7). Se propuso que la profundidad de estos fuese de 30 metros y un diámetro

mínimo de 220 mm siendo equipados con una tubería interior de PEAD de 125 mm de diámetro. A partir de los caudales del pozo Nº 4 se estimó que los pozos de nueva construcción deberían de tener un caudal de extracción de 0,3 L/s.

El día 05/06/2.003 tuvo lugar la reunión en la cual asistieron representantes del ACA, de la empresa de la zona de estudio y de Letka. En esta reunión se le presentó el proyecto de descontaminación ofertado por Letka, la cual dio el visto bueno para comenzar los trabajos.

El día 15/07/2.003 la empresa Agua Propia S.L comenzó las labores de construcción de los dos pozos de agua subterránea que deberían de complementar al pozo Nº 4. La perforación se realizó en todo momento en seco lo cual es recomendable para no dañar las muestras.

Pese a que estaba previsto que los pozos tuvieran una profundidad de 30 metros, a profundidades inferiores se identificaron materiales limo arcillosos los cuales no es recomendable perforar ya que estos son de baja permeabilidad y evitan el flujo vertical de la contaminación hacia profundidades mayores.

En la tabla 5.10 se puede observar las características de construcción de los pozos PC-1 y PC-2.

Tabla 5.10. Características de los pozos de agua subterránea

Fuente: Letka, 08/2.003

Unidades	Pozos de agua subterránea	
	PC-1	PC-2
Metros de profundidad del nivel freático	m	10,77
Ø Perforación	mm	200
Ø de tubería PEAD	mm	125
Metros perforados	m	29,00
Tubería ciega, parte inferior	m	1,00
Tubería filtro, parte intermedia	m	17,00
Tubería ciega, parte superior	m	7,00
Sellado de bentonita, parte inferior	m	4,00
Grava, parte intermedia	m	21,00
Arena, parte intermedia	m	1,00
Sellado con bentonita parte superior	m	2,00
		3,00

Una vez instalados los pozos, se realizó un purgado para eliminar sedimentos en suspensión del agua y se realizó un ensayo de bombeo en el PC-1 para determinar parámetros hidrogeológicos del acuífero, tales como transmisividad, permeabilidad y la influencia del bombeo sobre las aguas de los restantes pozos. En el caso del PC-2, no se llegó a bombear debido a que el volumen de agua a extraer era mínimo.

La metodología de los ensayos de bombeo realizados consistió en bombear agua del pozo siguiendo la evolución del nivel del agua debida al bombeo.

Para el cálculo de la permeabilidad se utilizó el método de recuperación a régimen variable, que consiste en efectuar las interpretaciones del ensayo en base a los datos que se obtienen una vez que el pozo detiene su extracción de agua. Se escogió este método debido a que es el que proporciona una información de mayor fiabilidad al tratarse de un acuífero de escasa entidad. Este tipo de acuíferos, normalmente, no tienen caudales que permiten un bombeo continuo del piezómetro sin variarlo, y el tiempo de recuperación es de varias horas o días.

A partir de las pruebas de bombeo del PC-1 se calculó una transmisividad de $0,053 \text{ m}^2/\text{día}$ y una permeabilidad de $0,004 \text{ m/día}$. Con estos valores y en base a los valores de contraste ilustrados en el libro "Pozos y acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo" (Instituto Geológico y Minero de España, 1.984), se puede calificar estimativamente que el acuífero es de muy baja transmisividad y muy baja permeabilidad.

A su vez se llevó a cabo una toma de muestras de agua subterránea que fueron tomadas mediante el método tomamuestras metálico en los pozos de extracción de gas del suelo (VEW-1, VEW-2, VEW-3, VEW-4) y el PC-2 debido a la poca cantidad de agua existente en cada pozo. Además el bombeo realizado en el PC-1 influyó en los niveles de los pozos en cuestión, con lo que se considera que el agua de los pozos fue regenerada. En los pozos PC-1 y Pozo 4, el muestreo fue realizado mediante bomba sumergible. Los resultados de este muestreo se pueden observar en la tabla 5.11:

Como se puede ver en la tabla 5.11, las concentraciones detectadas en los pozos PC-1 y PC-2 fueron muy reducidas. Esto se cree que fue debido al fenómeno de volatilización de los hidrocarburos halogenados volátiles producido por el aire a presión utilizado por la máquina perforadora. Por eso se decidió realizar otra toma de muestras en septiembre, dejando el tiempo suficiente como para que el sistema se estabilizara. Otra diferencia más entre la toma de muestras de julio y de septiembre fue el estado del sistema de descontaminación del suelo. En julio durante la recogida de las muestras en los pozos de extracción de aire (VEW), el sistema de descontaminación de aire seguía en funcionamiento, mientras que en septiembre los equipos se apagaron con un día de antelación. Este hecho, es el que provocó que en todos los pozos de extracción de aire (a excepción del VEW-2) en septiembre tuvieran una concentración bastante más alta que en julio.

Tabla 5.11. Resultados analíticos a partir del agua subterránea en pozos de extracción de gas del suelo, pozos de agua subterránea y pozo de abastecimiento de la factoría

Fuente: Letka, 08/2.003 y 11/2.003

	Valores Intervención Lista Holandesa	Fecha de muestra	Ensayos de extracción					
			PC-1	PC-2	Pozo nº4	VEW-1	VEW-2	VEW-3
Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	---	15/07/2003	864	1.065	3.000	1.155	2.520	1.678
		30/09/2003	764	1.082	2.690	1.240	2.360	1.730
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	---	15/07/2003	24,2	19,3	15,9	20,5	21,00	19,7
		30/09/2003	18,7	18,4	16,1	19,5	19,2	18,3
pH	---	15/07/2003	8,04	8,16	7,06	7,58	7,20	7,42
		30/09/2003	7,75	7,76	7,06	7,20	6,97	7,24
Compuestos halogenados volátiles								
Fluorotriclorometano ($\mu\text{g}/\text{L}$)	---	15/07/2003	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
		30/09/2003	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
1,1,2-Triclorotrifluoroetano ($\mu\text{g}/\text{L}$)	---	15/07/2003	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
		30/09/2003	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Diclorometano ($\mu\text{g}/\text{L}$)	1.000	15/07/2003	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
		30/09/2003	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
1,2-Dicloroetileno, cis ($\mu\text{g}/\text{L}$)	20	15/07/2003	Nd	Nd	Nd	51	870	590
		30/09/2003	Nd	Nd	240	50	760	470
1,2-Dicloroetileno, trans ($\mu\text{g}/\text{L}$)	20	15/07/2003	Nd	Nd	190	Nd	Nd	Nd
		30/09/2003	Nd	Nd	Nd	Nd	21	Nd
Triclorometano ($\mu\text{g}/\text{L}$)	400	15/07/2003	Nd	Nd	Nd	13	Nd	Nd
		30/09/2003	Nd	Nd	Nd	17	Nd	1
1,1,1-Tricloroetano ($\mu\text{g}/\text{L}$)	300	15/07/2003	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
		30/09/2003	Nd	Nd	Nd	1	Nd	Nd
Tetraclorometano ($\mu\text{g}/\text{L}$)	10	15/07/2003	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
		30/09/2003	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Tricloroeteno, ($\mu\text{g}/\text{L}$)	500	15/07/2003	3	2	23	690	9	130
		30/09/2003	Nd	Nd	24	1.300	5	150
Tetracloroetileno, ($\mu\text{g}/\text{L}$)	40	15/07/2003	6	4	1.900	28.000	170	3.700
		30/09/2003	4	3	1.900	54.000	120	5.600
Total ($\mu\text{g}/\text{L}$)	---	15/07/2003	9	6	2.113	28.754	1.049	4.420
		30/09/2003	4	3	2.164	55.368	906	6.220

Nd: no detectado

A partir de estos dos muestreos se recomendó que una vez se instalase el sistema de extracción de hidrocarburos halogenados volátiles del agua subterránea, se mantuviese también en funcionamiento el sistema de extracción de gases del suelo para evitar un flujo mayor de PCE del aire del suelo al agua subterránea.

Durante la fase de bombeo y recuperación del PC-1 en los trabajos de julio, adicionalmente a las mediciones realizadas en el propio pozo, se realizaron mediciones de nivel freático de varios pozos de extracción de gas (VEW-1, VEW-2, VEW-3 y VEW-4). El objetivo principal era el de conocer la influencia en los pozos de extracción de aire respecto al bombeo realizado en el PC-1. Según las mediciones se observó que los niveles de los pozos de extracción no variaron y por tanto, se pudo afirmar que no existe influencia alguna entre el PC-1 y los pozos de extracción de aire (VEW).

A partir de los valores de cota relativa de cada pozo (obtenidos en la nivelación de septiembre) y los datos de profundidad del nivel freático (obtenidos mediante sonda eléctrica septiembre) pudo conocerse que el sentido de flujo del agua subterránea del emplazamiento. Se observó que el sentido era de componente Suroeste con un gradiente hidráulico del orden de 2,5% (ver Anexos, Plano 7).

Los datos de la nivelación fueron obtenidos a partir del estudio de septiembre debido a que durante este mes, la bomba sumergible instalada en el pozo Nº 4 para abastecimiento de la planta no fue accionada. Así, es de suponer que en el momento de accionamiento de la bomba, el sentido de flujo del agua anteriormente citado, sufra un cambio hacia el pozo de abastecimiento (ver Anexos, Plano 8).

Como resultado global a los trabajos realizado en julio y septiembre de 2.003, se recomendó la realización de un bombeo en continuo únicamente desde el pozo Nº 4 con motivo de llevar a cabo un sistema de contención del agua subterránea. La razón de que se utilice el pozo Nº 4 como único pozo de extracción se baso en tres razones:

- Caudal de extracción: Este es del orden de 1,5 L/s el cual permite la extracción necesaria para mantener en funcionamiento un sistema de descontaminación de aguas subterráneas.
- Disposición de tres galerías horizontales subterráneas: El radio de influencia del bombeo prolongado sería relativamente elevado, ejerciendo una barrera suficiente al avance del agua afectada hacia tierras colindantes
- Concentración de hidrocarburos halogenados volátiles: Esta es del orden de 2.000 µg/L, la cual es suficiente para poder tratarla.

Los pozos PC-1 y PC-2, pese a que fueron instalados con el objetivos de enmarcarlos dentro del sistema de saneamiento, las bajas concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles de sus aguas y la escasa agua que pueden aportar, provocó que se desestimara su uso dentro del sistema de descontaminación de aguas.

El nivel freático del pozo Nº 4 se recomendó que no bajara más de los techos de las galerías horizontales del pozo para evitar desprendimiento en las paredes de estas (11 metros).

Una vez establecidos los parámetros necesarios para diseñar el equipo, se propuso el control y seguimiento mediante analíticas bimestrales de los pozos de agua (PC-1, PC-2 y pozo 5) y los pozos de extracción de aire (VEW-1, VEW-2, VEW-3 y VEW-4). El pozo Nº 4 al ser del que se extrae agua para la descontaminación, se propuso llevar a cabo las analíticas antes y después

del tratamiento y con una periodicidad mensual. También se propuso que anualmente se analizaran las concentraciones de calcio (Ca), potasio (K), sodio (Na), magnesio (Mg), bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos y nitritos del pozo Nº 4 para tener mayor control del agua que entrase al sistema de “*stripping*”. Estos datos aportarían la información suficiente para ver si el sistema puede funcionar correctamente. A su vez, también se propuso controlar aspectos como el olor, color, pH, conductividad, temperatura y nivel freático de todos los muestreos.

- Abril 2.004. Recepción del equipo y descripción del funcionamiento del sistema

En abril de 2.004 llega la torre de “*Stripping*” y todos los componente del equipo (arquetas, cañerías...) a la empresa con el debido manual de operaciones y descripción del proceso.

Así pues, el sistema se diseño para evitar en la medida de lo posible la afección a los terrenos colindantes. Para conseguir este fin el sistema crea un cono de depresión de nivel freático mediante el bombeo en continuo del pozo Nº 4. A partir de un sistema de sondas, se ha deprimido su nivel freático natural (7,5 - 8,5 m según la estación) hasta una profundidad siempre superior a 9,5 metros y no mayor de 11 metros para no llegar al nivel del techo las galerías del pozo. Con estas condiciones estaba previsto una extracción media anual de 5 m³/h, pudiendo regular el caudal de la bomba para que se reduzcan al máximo el número de paradas y arrancadas de la bomba y por tanto ajustar el consumo al mínimo.

El agua extraída es enviada a través de una tubería, a un depósito de amortiguación (30 m³) instalado en la zona Norte del emplazamiento junto a la unidad de tratamiento. Debido a la elevada cantidad de carbonatos disueltos en agua se instaló en la salida del depósito un mando inductivo de impulsos que determina el caudal de una bomba dosificadora que añade un agente inhibidor antical en función del caudal. El producto es el Polystabil KWS, siendo este inocuo y no nocivo (Letka, 04/2.004).

Mediante una bomba, el agua del depósito de amortiguación se pasa hasta la torre de “*stripping*” de 5 bandejas para la trasferencia del disolvente al aire. En ella, el agua se introduce por la parte superior de la torre y por la parte inferior se inyecta aire mediante un ventilador (caudal nominal de 20 m³/min). De este modo, en el interior de la torre, se genera un burbujeo de agua llegando a liberar las sustancias volátiles desde la fase acuosa hasta la gaseosa.

La salida de gases, situada en la parte superior de la torre de “*stripping*”, evacúa el gas liberado de la fase acuosa, no suponiendo este ningún peligro

debido a las bajísimas concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles que arrastra el aire (Letka, 04/2.004).

Una vez tratado, el agua puede ser derivada por tres vías a través de un sistema de electroválvulas que funciona según el siguiente orden:

- I. Envía agua tratada al depósito de la fábrica hasta que la sonda indica que se encuentra lleno.
- II. Recircula agua tratada al depósito de amortiguación cuando la sonda del depósito de la fábrica indica que está lleno.
- III. Envía agua tratada al cauce de la Riera Verde cuando los otros dos depósitos están llenos.

A partir de esta electroválvula el sistema prioriza que haya agua suficiente en el depósito de la empresa, como segunda opción asegura que el depósito de amortiguación esté lleno y el “stripping” pueda trabajar en continuo. Finalmente, una vez las otras dos opciones están cubiertas, el agua tratada se puede verter a la Riera Verde.

El vertido a la Riera está situado aguas arriba del pozo Nº 4 para recircular al agua de nuevo y así aumentar la migración de contaminante de los focos de contaminación al pozo Nº 4.

- Junio 2.004. Puesta en marcha y adaptación a requisitos establecidos según la Agència Catalana de l'Aigua.

El 8 de marzo de 2.004, el ACA, emitió un informe en el cual se aprobaba el plan de los trabajos propuestos así como establecía una serie de requisitos a cumplir para llevar a cabo el control y seguimiento de las aguas subterráneas del emplazamiento

Básicamente, el ACA solicitaba una ampliación de la toma de muestras de agua a la Mina 1 y el pozo Nº 1 y solicitó que se especificara que compuestos de hidrocarburos halogenados volátiles se analizarían.

La empresa y Letka fijaron que los compuestos debían de ser los siguientes: Diclorometano, 1,2-DCE (cis y trans), Triclorometano, 1,1,1-Tricloroetano, Tetraclorometano, TCE y PCE.

Pese a aceptar los requisitos del ACA, la empresa negoció que periódicamente se volviesen a reunir de nuevo las partes para ajustar la periodicidad y los parámetros a analizar. Generalmente, pasado un cierto tiempo, tanto la periodicidad de muestreo como la de los análisis de los parámetros que en ningún momento superan los valores establecidos se

aumenta, con la finalidad de reducir gastos, manteniendo en todo momento la misma calidad de los resultados analíticos.

Tras la aceptación de las condiciones por parte del ACA, el 15/06/2.004 se pone en marcha el sistema de extracción y contención de aguas subterráneas de las instalaciones de estudio.

5.2. Gestión de contaminaciones alienas al caso de los hidrocarburos clorados

❖ Gestión de la contaminación por selenio

En las aguas subterráneas de la zona industrial estudiada, existe una afeción por selenio cuyo origen es ajeno a las actividades que se desarrollan o han desarrollado sobre los terrenos de estudio.

En 1.997 la empresa de la zona de estudio detectó, durante los análisis periódicos del agua potable de fábrica, elevadas concentraciones de selenio. El agua potable de suministro de la planta se extraía del pozo Nº 1, situado aguas arriba de la instalación, lo cual hace suponer desde un primer momento, que la contaminación proviene de las empresas situadas aguas arriba. Tras conocer este hecho, se modificó la instalación ese mismo año para que el agua sanitaria de la fábrica fuese extraída del pozo Nº 4, situado aguas abajo y por lo tanto aun no afectada por el selenio. De manera preventiva para la salud de los trabajadores, se instalaron fuentes de agua potable suministrada por empresas externas y se marcaron los grifos de la fábrica con carteles de agua no potable por Selenio.

Tras la detección de dicha contaminación, la empresa, presentó una denuncia ante la Junta de Sanejament (ahora Agència Catalana de l'Aigua, ACA) como consecuencia de la cual se abrió una investigación por parte de la Fiscalía del Departament de Medi Ambient del Tribunal Superior de Justicia de Catalunya.

El proceso se abrió imputando como principal sospechoso a la empresa más cercana situada aguas arriba.

La empresa estaba dedicada a la fabricación de aditivos para el sector de la alimentación, en la cual, entre otras sustancias, se utilizaban como primeras materias selenio metálico, hidrato de aluminio, ácido fosfórico y ácido sulfúrico.

Durante el proceso judicial se observaron una serie de incongruencias que dieron fuerza al hecho de que esta empresa pudiese ser la causante de la contaminación por selenio. A la empresa sospechosa, desde un principio, se le otorgó la "Licencia Municipal de Actividades Clasificadas" al ser catalogada como una "industria molesta, insalubre, nociva y peligrosa debido a los vapores y aguas residuales que se generan". Pese a la concesión de la Licencia municipal, la empresa carecía de autorización por parte de las antiguas ARC y ACA, para el almacenamiento de residuos líquidos, tóxicos peligrosos o contaminantes y de la autorización de vertido de aguas residuales industriales a cauce público, respectivamente.

Posteriormente, en las Declaraciones anuales de Residuos, no se hicieron constar la generación de residuo alguno, ni tampoco la existencia de un sistema de tratamiento y/o eliminación propio. Esto supuso una incorrecta gestión de residuos generados en el proceso industrial (básicamente aguas residuales). Esto, junto a la no impermeabilización de las instalaciones, provocó una continua infiltración de aguas residuales, provocando una contaminación del suelo y aguas subterráneas de la instalación.

En Octubre de 1.993 la Junta de Residus de la Generalitat autorizó una inspección de las instalaciones tras recibir la denuncia de algunos vecinos al observar a los operarios de la empresa quemando residuos en el patio exterior. A partir de la inspección, la Junta de Residus, ya nombrada como Agencia de Residus de Catalunya (ARC) requirió a la empresa para la correcta gestión de los residuos. Tras diversas inspecciones, se observó una agravación cuantitativa y cualitativa de la gestión de residuos de dicha empresa, encontrándose en la inspección de Marzo de 1.994 "un importante esparcimiento de productos derramados que forman regueros y charcos, detectándose presencia de selenio en el suelo y en subsuelo". En Abril de 1.994, la Junta acordó la incoación de un expediente la cual acabó en Junio de 1.995 con una sanción por incineración de residuos que no hacía mención a la contaminación de suelos detectada también en las inspecciones de 1.994.

Después de estos hechos, en Mayo de 1.997, como ya se ha comentado anteriormente, es cuando la empresa afectada por la contaminación por selenio, realizó la denuncia a partir de la detección en los análisis rutinarios del agua de consumo de la planta (unos cuatrocientos análisis anteriores al resultado positivo por selenio) cuando se detecta una concentración de 48 y 38 µg/L de Selenio cuando el límite máximo admisible en aguas potables de uso público es de 10 µg/L.

A partir de esta denuncia, la Junta de Sanejament realizó una inspección de las instalaciones denunciada a fecha de Junio de 1.997 con la presencia de uno de los imputados. En dicha inspección se observaron 5 depósitos al descubierto sin cubeta de seguridad, estando dos de ellos

rebosando. También se observó un charco de unos 2 x 2 metros y unos 10 cm de profundidad de aguas residuales intentándose tapar durante la inspección con arena por los propios operarios de la empresa. Tras realizar un estudio fotográfico, se recogieron muestras del agua de los cinco depósitos y del charco, ofreciéndole muestras gemelas al Director técnico quien las rechazó. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 5.12. Resultados de los análisis realizados por la Junta de Sanejament en las instalaciones de la empresa demandada

Fuente: Elaboración propia. Datos: Sentencia judicial, 2.006.

	DQO	pH	Sulfatos	Aluminio	Manganoso	Selenio	Cobre	Cinc	Níquel
* Límites de potabilidad	mg O ₂ /L	6,5-9,5 udpH	250 mg SO ₄ /L	200 µg/L	50 µg Mn/L	10 µg/L	2 mg/L	µg/L	20 µg/L
Depósito 1	97	4	5.289,4	635	56	0,06	0,3	0,55	0,2
Depósito 2	970	3,8	14.660	2.205	165	5,18	1,1	24,64	0,2
Depósito 3	546	---	4.906,3	0,34	64	4.766	0,86	12,98	4,7
Depósito 4	1.766	---	6.908	3,26	3,2	55.900	10,28	4,96	31,8
Depósito 5	3.000	3,6	13.056,9	27,6	36	8.300	76,4	92,6	144,4
Aguas del Charco	19.720	---	---	100,3	4,4	1.905	31,3	10,97	10,8

* Límites según el Real Decreto 140/2003 (R.D. 140/2003), de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, armonizado con la Directiva 98/83 CE de la Unión Europea.

El mismo día de la inspección de la Junta de Sanejament, también se recogieron 8 muestras de las aguas subterráneas a lo largo de la Riera Verde (ver situación en Anexos, Plano 9) y dos muestras de agua de la propia riera aguas arriba y aguas abajo de las instalaciones imputadas. Los resultados fueron los siguientes:

	Selenio (µg/L)
Límites de potabilidad	10 µg/L
Pozo Cabassa (Aguas arriba de la instalación imputada)	<10
Pozo Can Bas	1.801
Pozo Can Ametller	695,75
Pozo Grande	401
Pozo Can Trias	169,35
Pozo Nº 2	21,04
Pozo Nº1 (Empresa estudiada)	49,7
Pozo Nº 4 (Empresa estudiada)	<10

Tabla 5.13. Resultados de los análisis realizados por la Junta de Sanejament en los pozos cercanos a las instalaciones demandadas.
Ver situación en Anexos, Plano 9

Fuente: Elaboración propia.
Datos: Sentencia judicial, 2.006.

Posteriormente a estos análisis, la empresa imputada dejó sus actividades en dicho recinto para seguir con su producción en otro municipio de la zona.

Tras el cierre, en Septiembre de 1.998, el Servicio de Protección de la Naturaleza de la Guardia Civil (SEPRONA), procedió a una inspección ocular y toma de muestras de las instalaciones. Las muestras fueron tomadas en el pozo de Can Cabassa, Can Bas (pozo dentro de la empresa imputada) y el Pozo Nº 1 de la empresa denunciante. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 5.14. Resultados de los análisis por la Sociedad General de Aguas de Barcelona obtenidos por el muestreo realizado por SEPRONA en los pozos de la empresa demandada y de las zonas cercanas

Fuente: Elaboración propia. Datos: Sentencia Judicial, 2.006.

	Selenio ($\mu\text{g/L}$)	Manganoso ($\mu\text{g/L}$)
* Límites de potabilidad	10	50
Pozo Can Cabassa	5	<70
Pozo Bas	528	770
Pozo 1	27	520

Límites según R.D. 140/2.003

Partiendo de todos los datos recopilados, la Junta de Sanejament manifestó lo siguiente:

“El alto nivel de Selenio manifestado en el pozo de Can Bas (dentro de la empresa imputada) suponía la existencia de un foco de contaminación de Selenio a las aguas subterráneas que dada las características hidrogeológicas y morfológicas del terreno afectaba, y según el piezométrico, a las aguas superficiales de la Riera Verde por desplazamiento superficial o hipodérmico, lo que así ocurrió según Informe de la Junta de Sanejament, por lo que existiendo selenio en las aguas superficiales de dicho torrente, estas afectan al acuífero a partir de la infiltración inducida por el bombeo de los pozos”.

Una vez valorados los resultados de los análisis de los depósitos de aguas residuales de la empresa, la Junta de Sanejament afirmó que dichas aguas implicaban un riesgo de contaminación de acuíferos y aguas superficiales.

A partir de las muestras tomadas por el SEPRONA en relación a las aguas superficiales de la Riera Verde, los valores de selenio y cinc, resultaron ser superiores a los niveles mínimos recomendados por la EPA (United States Environment Protection Agency). Estos niveles pueden provocar riesgos en los ecosistemas acuáticos, pudiendo en concreto los niveles de zinc hallados afectar a las especies más sensibles de peces, en especial, a los alevines. Los niveles de Selenio hallados superaban la concentración máxima aceptable para el mantenimiento de la vida acuática según la EPA. Estos niveles de Selenio pueden provocar unos efectos similares a la intoxicación de arsénico respecto a las personas y animales, como caída del pelo, daños en las uñas de las persona y pezuñas de los animales.

Analizados todos los hechos, en Julio de 1.997 la Junta de Sanejament envió un requerimiento a la empresa demandada de suspensión de vertidos y actividades contaminantes y de restauración del medio afectado. La empresa demandada a fecha 23/09/1.997, presentó un estudio de restauración del medio afectado el cual, la Unidad de Aguas Subterráneas de la Junta de Sanejament, consideró insuficiente y por lo tanto se le remitió un nuevo requerimiento el 27/10/1.997 solicitando un plan de actuaciones que comprenda ciertos aspectos no contemplados (no hay acceso a dichos datos). En fecha 12/11/1.997 la empresa presentó un nuevo plan de actuaciones aceptado (tampoco, se tiene acceso a los datos) por la Unidad de Aguas Subterráneas con fecha de 15/01/1.998, debiendo de informar a la Junta de Sanejament del desarrollo de los trabajos. Durante los siguientes meses no se recibió noticia alguna de los trabajos llevados a cabo y a finales de mayo de 1.998 se vuelve a enviar un nuevo requerimiento.

A partir del Informe de Noviembre de 2.002 sobre evaluación y validación de las actuaciones efectuadas en el emplazamiento de la empresa imputada, se concluye que los trabajos de descontaminación, centrados en la afectación del agua, es incompleta. Esto se debe a lo siguiente:

- El estudio no alcanza la zona no saturada del subsuelo.
- No se presenta un plano que muestre los puntos exactos de ubicación de las muestras del suelo.
- No se da una solución para el foco emisor.
- Las obras de descontaminación del pozo de Can Bas no han sido definitivas.

A partir de todos estos datos, el informe concluyó con que las obras llevadas a cabo fueron insuficientes y se recomendó a la administración competente a avisar a la población e industrias de los alrededores de la empresa, de la afectación por selenio de las aguas subterráneas.

En este punto y con todos estos datos, el 21 de Junio de 2.006 se abrió la vista oral hasta el día 29/06/2.006 que se presentó la sentencia. En ella se condenó a los dos dueños de la empresa:

"como responsables en concepto de autores, de un delito contra el medio ambiente del artículo 347 bis del Código Penal Texto Refundido de 1.973, con la concurrencia de la circunstancia atenuante analógica de dilaciones indebidas muy cualificada, a la pena de seis meses y multa de tres mil euros, debiendo los dos condenados de forma conjunta y solidaria indemnizar" a la empresa contaminada y denunciante "en la suma de 280.480,15€ intereses legales desde el dictado de la presente sentencia deberán así como

la obligación de proceder, contratando los servicios técnicos que consideren oportunos o en caso de incumplimiento los contratados por “ la empresa denunciante, “al pago de los costes de eliminación de la contaminación de las aguas del pozo de la finca” de los terrenos industriales externos afectados “conforme al Plan de restauración del medio afectado aprobado por la Junta de Sanejament”.

Analizando más a fondo la condena, se puede observar como la indemnización a pagar a la empresa afectada únicamente cubría los costes derivados del consumo de agua embotellada (unos 36.628,45 € al año visto a partir de facturas) desde que se detecta el positivo en selenio en el pozo Nº 1 (sep. - 1.997) hasta el día del juicio (jun. - 2.006). A partir de esta fecha los costes del suministro de agua potable de la empresa afectada deben de ser asumidos por ella misma.

A su vez, la empresa demandante, solicitaba el pago de los gastos de los análisis, lo cual la sentencia niega al considerar que estos costes igualmente se deberían de haber llevado a cabo para asegurar la prevención de la salud de los trabajadores.

En lo que se refiere a la contaminación por selenio, a día de hoy, aun se siguen encontrando unas concentraciones muy por encima al límite en aguas de consumo. En el gráfico 5.1 (pág. 81) se puede observar la evolución desde el primer análisis realizado por el SEPRONA hasta 2.010.

La concentración en el pozo Nº 1 sigue aumentando de una manera exponencial pese a que en el último análisis, disminuyó considerablemente (sería necesario ver la evolución futura para ver si ya se ha llegado al máximo o bien, si aún debe seguir incrementando la concentración de selenio). La concentración máxima se detectó el día 18/03/2.011 con 2.119 µg/L, una cantidad que supera en más de 200 veces la cantidad permitida.

En el pozo Nº 4, la primera detección de selenio en una muestra fue el día 21/12/2.004 con una concentración de 7 µg/L. En el siguiente análisis realizado (17/03/2.005) la concentración de selenio ya superaba el valor máximo permitido y se situaba en 27 µg/L. La evolución en el pozo Nº 4 fue muy parecida a la observada en el pozo Nº 1 en sus inicios; desde el 17/03/2.005 que no se detectó un valor negativo (siempre por encima de 10 µg/L) y desde ese momento hasta finales de 2.007 permaneció con fluctuaciones más o menos constantes, detectándose concentraciones siempre inferiores a 50 µg/L. A partir de 2.008 comenzó a aumentar la concentración de manera exponencial igual que sucedió en el pozo Nº 1. En el último análisis, se ha detectado el valor más alto registrado hasta la fecha en el pozo Nº 4 (12/ 2.010), con una concentración de 318 µg/L de selenio.

Evolución de la concentración de selenio detectada en los pozos 1 y 4

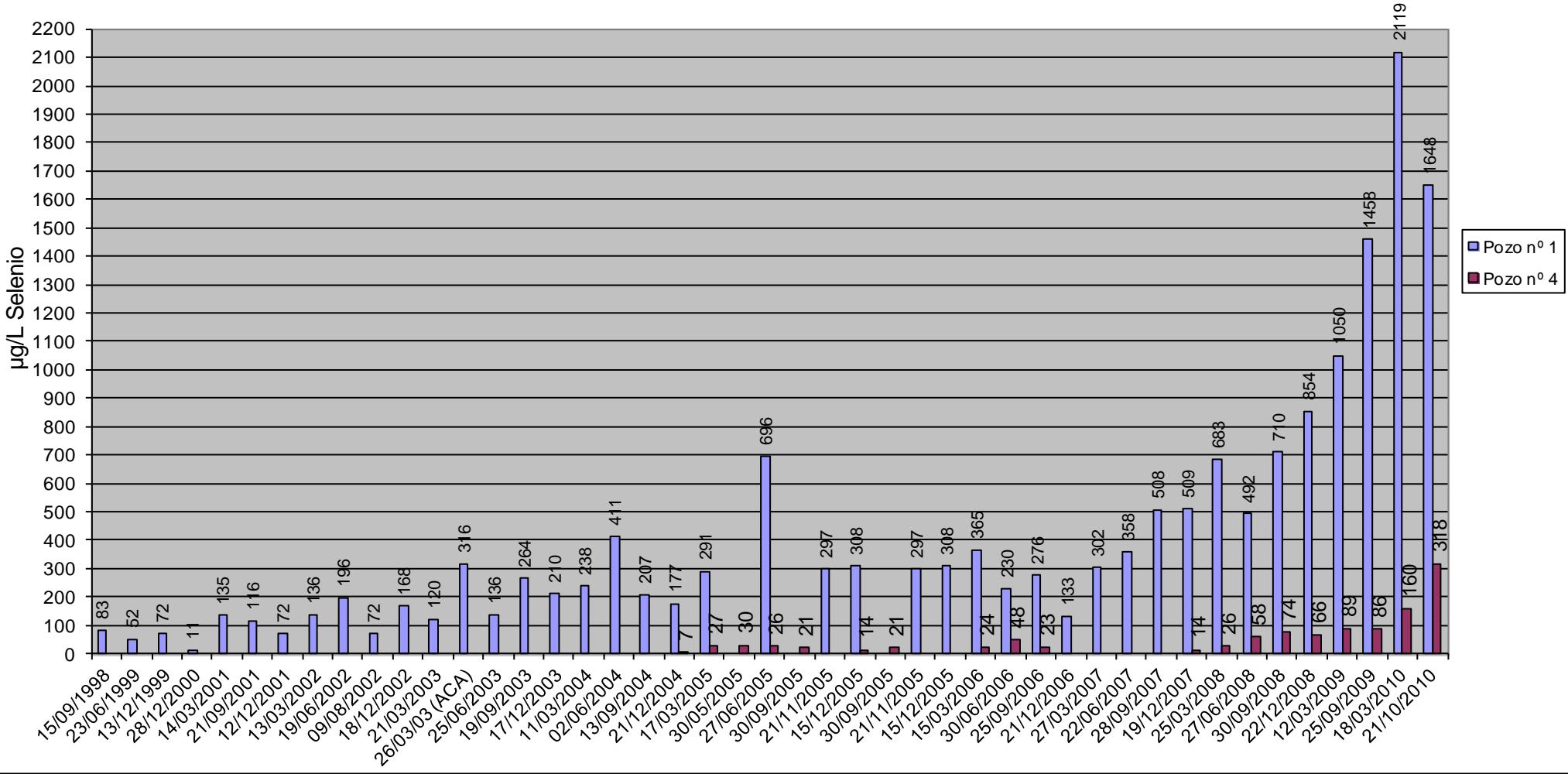


Gráfico 5.1. Evolución en los análisis de aguas de los pozos número 1 y número 4 desde el inicio de los análisis hasta la actualidad
Fuente: Elaboración propia. Datos: Analíticas Dr. Oliver Rodés, 1.998 – 2.010

Otro punto a destacar de la sentencia judicial, es que los costes derivados de la descontaminación de los pozos de la empresa demandante, irían a cargo de los imputados. Por otro lado se dejaba la opción de que la descontaminación fuese contratada por los imputados personalmente o bien, que la empresa afectada fuese la que contratara los servicios y ellos cubrieran los costes del proceso. De todos modos la sentencia no fija cuales deben de ser las actuaciones y los plazos para subsanar dicha contaminación.

En la actualidad, la empresa afectada se ha puesto en contacto con distintas empresas expertas en descontaminación de suelos y ninguna tiene un sistema probado que permita el tratamiento correcto de selenio.

Se tiene constancia de que los imputados llevaron a cabo pruebas piloto con un tipo de resinas que actuaban como filtro. Estas resinas, en pruebas de laboratorio, habían conseguido disminuir la concentración de selenio en agua. En campo se observó que debido a la alta concentración de selenio, esta resina se saturaba en pocas horas, lo que provocaba un mal funcionamiento del equipo.

El proceso de contaminación del agua subterránea por selenio, sigue estando abierto. Tanto el ACA, como el ARC conocen las dificultades que está encontrando la empresa de estudio para encontrar un método efectivo que solucione la contaminación por selenio. Además de no existir un equipo de descontaminación probado y fiable para este contaminante, los imputados, actualmente, se han declarado en quiebra, lo que hace aún más difícil el cobro de los trabajos y por tanto la realización de nuevas pruebas piloto.

La sentencia, según mi opinión, debería de tener en cuenta al poseedor o propietario de los terrenos como marca el punto 2 del art. 26 de la Ley 10/1.998, por la cual dicta lo siguiente:

“Estarán obligados a realizar las operaciones de limpieza y recuperación reguladas en el párrafo anterior, previo requerimiento de las Comunidades Autónomas, los causantes de la contaminación, que cuando sean varios responderán de estas obligaciones de forma solidaria y, subsidiariamente, por este orden, los poseedores de los suelos contaminados y los propietarios no poseedores [...]”

De esta manera, pese a existir la dificultad del método de descontaminación a seleccionar, se agilizaría la posibilidad de realizar pruebas piloto con otros métodos experimentales.

En último caso, la administración debería de promover el método y la financiación necesaria para dar solución a la problemática descrita.

Gestión de la contaminación por Cromo III y cromo VI

En el sistema de producción de las instalaciones de la zona de estudio, como se ha visto con anterioridad, se estuvo llevando a cabo un proceso de anodizado de piezas metálicas con ácido crómico. El ácido crómico una vez llega al suelo se puede detectar como cromo III y cromo VI. El Cromo III y VI pueden provocar erupciones cutáneas, malestar, problemas respiratorios, cáncer de pulmón o la muerte (web ATSDR). A su vez el ácido crómico puede provocar un deterioro del hormigón y un aumento de pH a partir de los procesos en los cuales se utiliza (Letka, 2.003).

En la zona de estudio se estaba utilizando una cantidad de ácido crómico anual en torno a las 6 toneladas

Para poder caracterizar los terrenos, se llevaron a cabo 5 estudios realizados por la empresa Letka entre enero de 2.003 y febrero de 2.005. Cada uno de estos estudios se realizó según los siguientes pasos:

- Realización de sondeos ligeros y descripción de los materiales extraídos mediante el levantamiento de la columna litológica, realizando al mismo tiempo un análisis organoléptico de los mismos
- Toma de muestras de suelo
- Evaluación y análisis de resultados

En todo el periodo de estudio (2.003 - 2.005) se llevaron a cabo un total de 14 sondeos ligeros con una profundidad de 3 metros cada uno. De cada uno de los sondeos se tomaron una serie de muestras a una profundidad concreta (Tabla 5.10). En cada una de las muestras se analizó el pH, la concentración de Cr III y Cr VI y la agresividad del hormigón.

Los valores de contraste utilizados con el cromo fueron los contemplados en la Guía de evaluación de la Calidad del Suelo según los Criterios provisionales de calidad del suelo en Cataluña, publicado por ARC donde se incluyen valores de referencia para la calidad del suelo atendiendo a su uso específico industrial. Los límites contemplados son para el Cr III, 700 mg/Kg y para el Cr VI 0,1 mg/Kg, ya que este estado de oxidación es más peligroso que el Cr III.

En pH como no existen valores de contraste se utilizó la referencia "A Study of soil Science Dr. Herry D. Foth (1.970)" en el cual se citan como valores de pH representativos de suelos limosos aquellos comprendidos entre valores de 6 - 8 e incluso más alcalinos. Por lo tanto se consideró positivo si se superaban las 9 upH.

Para la agresividad del suelo se utilizó como valor de referencia los establecidos en la norma DIN 4030.

En ninguno de los sondeos ligeros realizados en estos cinco estudios se detectó el nivel freático, el cual a partir de otros estudios realizados en la zona, se conoce que está sobre los 10 metros de profundidad.

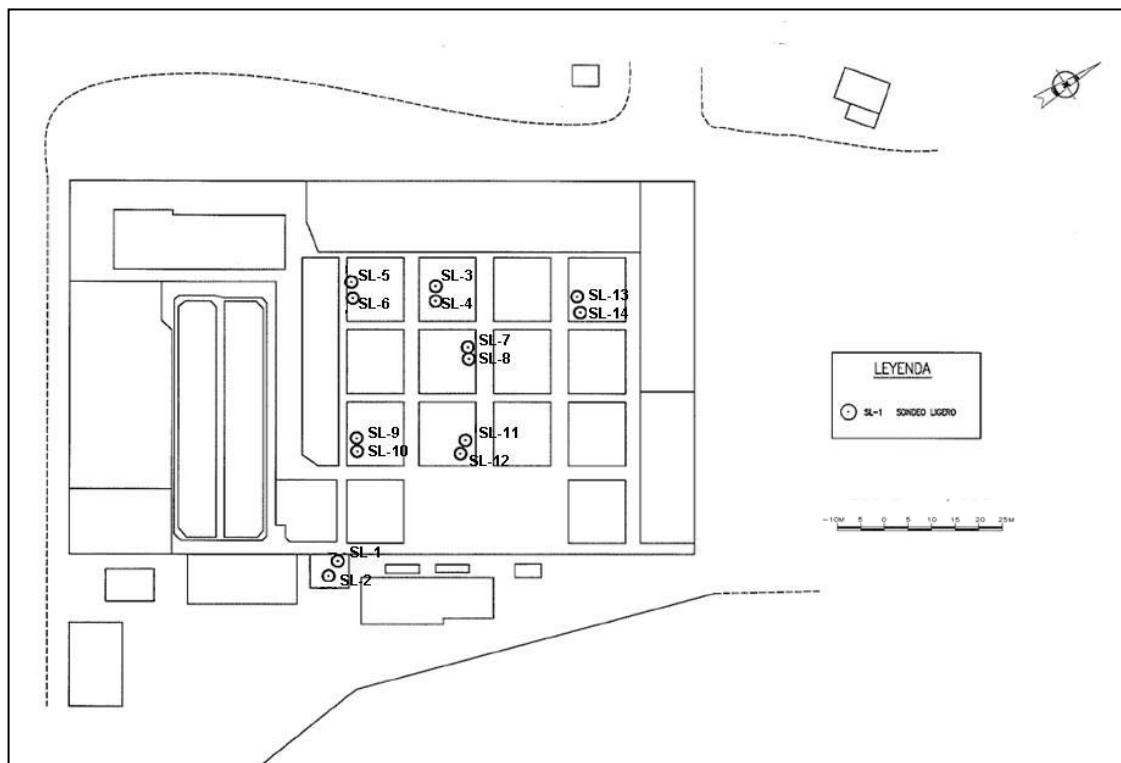


Figura 5.5. Localización de sondeos para la caracterización de suelos por Cr III, Cr IV y pH.
Fuente: Letka, 2.005

Los puntos de realización de los sondeos ligeros fueron escogidos atendiendo a las indicaciones de la empresa según el emplazamiento de las instalaciones donde se usa el cromo. Los sondeos SL-1 y SL-2 fueron realizados en una planta de tratamiento físico-químico en el exterior del edificio (desmantelada en 2.003). El resto de puntos de muestreo están ubicados en las zonas de trabajo donde se utilizaba el ácido crómico.

En la tabla 5.12 se muestran los resultados de las muestras recogidas en cada uno de los sondeos marcados en la figura 5.5. Los sombreados en naranja son los parámetros que sobrepasan los límites marcados.

Tabla 5.12. Muestras y resultados de los sondeos realizados para determinar la afección por Cromo.

Fuente: Elaboración propia. Datos: Letka, 01/2.003, 07/2.003, 11/2.003, 06/2.004, 02/2.005

Datos del muestreo			Parámetros			
Sondeo ligero	Fecha del sondeo	Profundidad de la muestra (m)	pH	CR III	Cr VI	Agresividad del hormigón
			Límites*			DIN 4030
			6-9	700 mg/Kg	0,1 mg/Kg	
SL-1	20/01/2.003	0,3 - 0,7	8,5	32	<0,03	---
		2 - 2,3	8,52	33	<0,03	---
SL-2	20/01/2.003	0,3 - 0,7	8,11	12	<0,03	OK
SL-3	20/01/2.003	0,25 - 0,7	8,98	36	8	---
		2,2 - 2,5	8,81	31	<0,03	---
SL-4	20/01/2.003	0,25 - 0,6	11	20	8,7	OK
SL-5	15/07/2.003	0,2 - 0,4	10,5	32	30	OK
		2,8 - 3	8,17	17	<0,03	---
SL- 6	15/07/2.003	0,20 - 0,40	9,19	47	3,8	---
		2,8 - 3	8,33	16	<0,03	---
SL-7	03/11/2.003	0,30 - 0,50	10,4	14	<0,03	---
		2,7 - 2,9	8,51	11	<0,03	---
SL- 8	03/11/2.003	0,30 - 0,50	---	12	0,6	OK
		2,7 - 2,9	8,55	11	<0,03	---
SL-9	19/05/2.004	0,20 - 0,40	8,37	14	<0,03	---
		2,8 - 3	8,52	13	<0,03	---
SL-10	19/05/2.004	0,20 - 0,40	8,63	19	<0,03	OK
SL- 11	19/05/2.004	0,20 - 0,40	8,55	14	<0,03	---
		2,8 - 3	8,91	12	<0,03	---
SL- 12	19/05/2.004	0,20 - 0,40	9,9	9,6	<0,03	OK
SL-13	09/02/2.005	0,30 - 0,50	8,45	21	<0,03	---
		1,50 - 1,80	10,2	24	<0,03	---
SL- 14	09/02/2.005	0,30 - 0,50	8,52	34	<0,03	---
		1,50 - 1,80	---	---	---	OK

*Límites de pH según "A study of soil Science" y límites Cr III y Cr VI según Guía de evaluación de la calidad del suelo (ARC)

En la tabla 5.12 se puede ver que se superan en 4 muestras el pH máximo de 9 llegando como máximo a 10,5. En lo que se refiere al cromo se supera en 5 veces el máximo establecido para el Cr VI. Los resultados para Cr III y la agresividad del hormigón no se superan en ninguna de las muestra tomadas.

Como conclusiones se extrae que en algunas de las zonas existe una afección puntual por Cr VI y pH alto en los primeros centímetros de suelo. En la muestra del SL-13 de profundidad 1,5 - 1,8 se considera que el aumento de pH es debido al propio terreno al no encontrarse afección superior.

A la hora de evaluar la necesidad de tomar medidas para solucionar dicha afección por Cromo IV se valoró lo siguiente:

- No había prevista la excavación de dichos suelos.
- La zona disponía de una losa de hormigón que impedía todo contacto de los trabajadores con el terreno.
- En profundidad se evidenciaba un descenso de las concentraciones hasta encontrarse por debajo del límite de detección, limitándose de esta manera una posible afección hacia las aguas subterráneas.
- No afección por Cromo VI en profundidad (estado de oxidación más peligroso para las personas).

Así se concluyó que esta zona no representaba un riesgo para la salud humana o de los ecosistemas, encontrándose muy limitado el riesgo de dispersión en el medio.

Como recomendaciones, se concretó que en un futuro se debía de tener presente el hecho de que cambios de distribución de la zona que pudiesen llevar asociada la excavación de los terrenos, debían de ir acompañados de una caracterización de los materiales para la correcta definición de la gestión para su tratamiento o deposición.

Actualmente todos los puntos de utilización de ácido crómico en la instalación han sido eliminados. Esto se debe a cambios en la composición de la aleación de metales utilizada en el producto propiamente dicho. Con el cambio de metales, se ha conseguido aumentar la dureza de la pieza sin la necesidad del proceso de anodizado. En la desmantelación de las líneas no ha sido necesario la extracción del suelo. Además, actualmente, la losa de hormigón, se ha cubierto con una capa de Epoxi para evitar la contaminación por otras sustancias y a su vez disminuir los riesgos para los trabajadores.

❖ Gestión de la contaminación por aceites minerales

Como ya se ha comentado con anterioridad, en el plano de 1.996 (tabla 5.1 situación en Anexos, Plano 1) se muestra como otro de los posibles contaminantes del suelo y las aguas subterráneas podrían ser los hidrocarburos totales del petróleo (aceites minerales / TPHs, de ahora en adelante). Los aceites minerales se podían encontrar en diferentes instalaciones dentro de la planta, bien como refrigerante, lubricante o emulsionado en las taladrinas. Las taladrinas es una emulsión de agua con aceites minerales que se utiliza como líquido lubricante y refrigerante en procesos de mecanizado de piezas metálicas.

En el estudio de caracterización de la potencial contaminación del subsuelo (1.999), se llevaron a cabo los primeros análisis del suelo en relación a aceites minerales. A partir de la realización de sondeos y toma de muestras del suelo se observó una afección por aceites minerales en tres de los seis sondeos realizados en aquel estudio (ver Tabla 5.15, situación de los sondeos en Anexos, Plano 10, sondeos en azul).

Tabla 5.15. Muestras y resultados de los análisis de aceites minerales
Fuente: ECA, 1.999

Localización	nº Plano 5.1	punto de muestreo	NGR*	Parámetro de (TPHs)
			(R.D. 9/2.005)	
Antiguo surtidor de gasoil/ zona calderas	8, 11	SS-1, 3,5	50	<6
		PC-3, 5,3		<6
		PC-3, 9,1		13.133
Central de taladrinas	12	PC-3, 10,6		<6,2
		SS-3, 1,5		1.924
		SS-4, 2		<6
Alm. de Prod. Químicos y aceites	3	SS-5, 4,45	722,5	<6
		SS-5, 6,75		<6
		SS-6, 1,9		142
Antigua zona de pinturas	6	SS-6, 4,5		<10
		SS-6, 9,5		
Antigua zona de desengrasar de PCE	1			

*Niveles Genéricos de referencia, según R.D. 9/2.005

En el documento original los resultados analíticos fueron comparados con los Criterios Provisionales de la Guía de Calidad de Suelos de Cataluña (valor de referencia: de 5.000 mg/Kg en suelos industriales) y los valores de la Lista Holandesa (valor objetivo y de intervención respectivamente: 50 mg/Kg y 5.000 mg/Kg). En el presente, éstos han sido comparados con la concentración de 50 mg/Kg; NGR según el Anexo IV del R.D. 9/2.005.

De todas las muestras de suelo recogidas, en cuatro de ellas se detectaron concentraciones superiores a 50 mg/Kg, con un máximo de 13.133 mg/Kg en el sondeo realizado bajo la Central de Taladrinas. En este punto se supuso una fuga de la central de taladrinas, que debido al peso de los hidrocarburos provocó una migración vertical hasta llegar a los 9 metros de profundidad. En los otros dos puntos, se observó una afección mayoritariamente superficial y con unas concentraciones considerablemente más bajas que las concentraciones encontradas en la central de taladrinas.

Respecto a la muestra de agua subterránea tomada en el piezómetro de control, esta demostró un valor muy alto, con una concentración de hidrocarburos totales del petróleo de 46,3 mg/L; concentración muy por encima del valor de intervención de la Lista Holandesa (0.05 mg/L valor objetivo y 0.6 mg/L valor intervención). Cabe destacar que este piezómetro fue instalado mediante el sondeo, en el cual se detectó la máxima concentración de aceites minerales en el suelo.

En 2.001, se llevó a cabo una investigación del suelo por contaminación de aceites minerales debido a una noticia aparecida en los medios de comunicación local. En ella se decía que había habido fugas en el circuito de refrigeración durante un periodo vacacional provocando contaminación en las aguas y el suelo. A partir de este hecho, el ayuntamiento requirió a la empresa a llevar a cabo un estudio para ver el estado del subsuelo en relación a los aceites minerales. A su vez, también muestreó el agua subterránea de varios pozos de los alrededores de las instalaciones para comprobar si había habido o no afección por aceites.

La situación de los sondeos se puede observar de color rosa en Anexos, Plano 10. En la siguiente tabla, se pueden ver los resultados analíticos obtenidos en la toma de muestras:

Tabla 5.16. Muestras y resultados de los análisis de aceites minerales en el estudio referido a la fuga del sistema de refrigeración 2.001.

Fuente: ECA, 2.001

Localización	Nº Plano 5.1	punto de muestreo	NGR* (RD 9/2.005)	Parámetro de (hidrocarburos totales del petróleo)
		m		mg/Kg
Zona de mecanizado y anodizado / Zona de mantenimiento	4, 5	S-1 0,5	50	2,11
		S-2 0,5		1,31
		S-3 0,6		3,08
		S-4 2,0		2,41
		S-5 1,3		14
		S-6 0,6		3,39
Central de taladrinas	12	S-7 7,3		42,7

*Niveles Genéricos de referencia, según R.D. 9/2.005

Como se puede observar la afección es mínima a excepción del sondeo 7 realizado en la central de taladrinas, zona en la cual se detectó en 2.001 las concentraciones de 13.000 mg/kg de suelo. En este punto, pese a no detectarse un resultado mayor que los límites permitidos, se observó un persistente olor a hidrocarburos los cuales hizo suponer la existencia de hidrocarburos (posiblemente a más profundidad, como se vio en 1.999).

En lo que se refiere a las aguas subterráneas, no hubo detección de aceites minerales en ninguno de los pozos analizados:

Tabla 5.17. Resultado del análisis de aguas subterráneas y aceites minerales en el estudio referido a la fuga del sistema de refrigeración 2.001. Ver situación en Anexos, Plano 9

Fuente: ECA, 2.001

Localización	Listado holandesa (Valor objetivo)	Listado Holandesa (Valor intervención)	Parámetro de (TPHs)
	mg/L	mg/L	
Pozo Nº 6	0,05	0,6	<0,02
Mina1	0,05	0,6	<0,02
Pozo Nº 5	0,05	0,6	<0,02
Pozo Nº 4	0,05	0,6	<0,02
Pozo Nº 1	0,05	0,6	<0,02
Pozo Nº 2	0,05	0,6	<0,02

El estudio de 2.001, se concluye con las recomendaciones de llevar a cabo una fase de estudio posterior que delimita tanto en la horizontal, como en la vertical la afectación por TPHs (tanto en suelos como en aguas subterráneas).

Tras el estudio de 2.001, la empresa prioriza los trabajos encaminados a disminuir la contaminación por PCE mientras que la afección por aceites se deja, en cierto modo, pospuesto. La administración tampoco solicita actuaciones de ningún tipo en relación a aceites minerales, pese a tener copia de todos los documentos.

No es hasta julio de 2.005, con la presentación del Informe Preliminar de Situación (obligatorio según lo establecido en el R.D. 9/2.005), cuando la ARC recomienda dar una solución ambiental a aquellas zonas no solventadas/caracterizadas por la contaminación de aceites minerales. Este es el único contaminante caracterizado el cual no se ha desarrollado ningún proceso para decidir si se debe declarar el suelo como contaminado por TPHs y por tanto llevar a cabo acciones de remediación o bien archivar el caso.

Siguiendo las recomendaciones de la administración, en julio del 2.006, Letka comenzó los trabajos de investigación detallada de la calidad del suelo mediante análisis de riesgos por la afección de aceites minerales.

En este estudio se consideró necesario que los trabajos cumpliesen dos funciones:

I. Ampliar la información en las zonas en que anteriormente se detectó afección por aceites:

- Almacén de productos químicos y aceites (3, en Plano 10, Anexos), a una profundidad del orden de 1,5 m, con concentraciones del orden de 1.900 mg/Kg.
- Antigua zona de desengrase (1, en Plano 10, Anexos): profundidad del orden de 2 m, con concentraciones del orden de 700 mg/Kg y a una profundidad del orden de 9,5 m con concentraciones de 100 mg/Kg.
- Zona central de taladrinas (12, en Plano 10, Anexos): a una profundidad del orden de 9 m, con concentraciones máximas del orden de 13.000 mg/Kg.
- Aguas subterráneas de las inmediaciones de la central de taladrinas con valores del orden de 46.3 µg/L a partir del PC-3

II. Caracterizar las zonas en las que aun no se haya probado la inexistencia de aceites:

- Antiguo surtidor de gasoil (8, en Plano 10, Anexos)
- Depósitos aéreos de gasoil / Almacén de productos químicos y aceites (9, en Plano 10, Anexos)
- Zona de calderas (11, en Plano 10, Anexos)

Hay dos puntos de la lista de la tabla 5.1 que no se estudiaron en ninguno de los estudios debido a diferentes motivos:

- Antiguo depósito de gasoil (7, en Plano 10, Anexos): Este depósito era aéreo y disponía de cubeto de retención. Según las indicaciones de la empresa, en ningún momento se detectaron fugas del mismo y durante las obras de acondicionamiento de esta zona de la factoría, se llevó a cabo una gestión eficaz de las tierras excavadas.
- Depósito aéreo de gasoil (5 m^3) (10, en Plano 10, Anexos): Este depósito es aéreo y según la empresa, en ningún momento hasta la actualidad se han detectado fugas del mismo.

Entre todas las zonas investigadas, cobra especial atención la zona de la central de taladrinas compuesta por un foso rectangular, cuya base se presenta a 5,5 m por debajo de la cota de la superficie del emplazamiento. En una de sus esquinas dispone de un cubeto de recogida para posterior bombeo

de taladrinas y en otra esquina un compartimento destinado a depósitos de contención de ácidos.

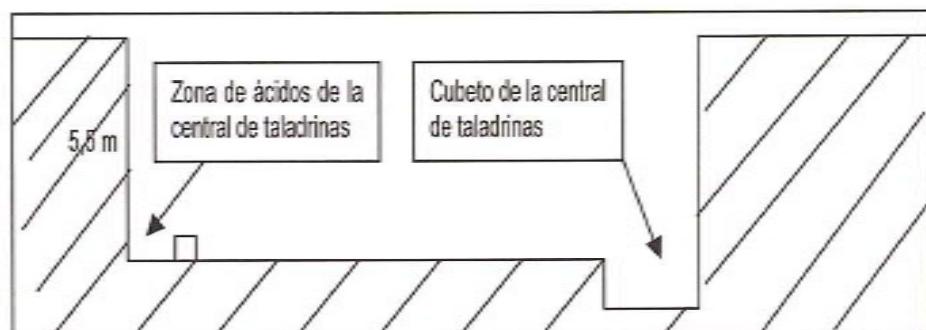


Figura 5.6. Esquema de la central de taladrinas.

Fuente: Elaboración propia.

En el estudio de 2.006, se realizaron 7 sondeos ligeros y 5 sondeos mecánicos (ver situación en Anexos, Plano 11). Los sondeos ligeros se realizaron en las zonas donde se estimaba una afección a nivel superficial y/o donde el acceso era reducido. Los sondeos mecánicos se utilizaron donde se requería llegar a profundidades mayores. En cada uno de ellos se tomaron muestras a diferentes profundidades para poder valorar la migración vertical de TPHs.

Tabla 5.18. Localización de los puntos de muestreo en base a las zonas potencialmente contaminadas por TPHs.

Fuente: Adaptación Letka. 2.006

	Localización	Nº en 5.1	Punto de muestreo
Central de taladrinas	Base del foso de la central de taladrinas	12	SL-1
	Cubeto de la central de taladrinas		SL-2
	Zona de ácidos de la central de taladrinas		SL-3
	Inmediaciones de la central de taladrinas		SM-1
	Aguas abajo de la central de taladrinas		SM-2
	Almacén de productos químicos y aceites		SM-3
Depósitos aéreos de gasoil/ Almacén de productos químicos y aceites	Almacén de productos químicos y aceites	3	SM-4
	Antiguo surtidor de gasoil	9	SL-5
	Zona de calderas	8	SL-6
		11	SL-7
			SM-5 / PC-4

El sondeo mecánico número 5 (SM-5) se utilizó para construir un piezómetro de control permanente para la toma de muestras de agua (PC-4).

En lo que se refiere a aguas subterráneas, se llevaron a cabo 6 muestreos:

Tabla 5.19. Localización de los puntos de muestreo de aguas subterráneas.
Fuente: Adaptación Letka . 2.006

Localización	Nº en Figura 5,1	Punto de muestreo	Objetivo
Antigua zona de desengrase PCE	1	VEW-1	Caracterización de aguas subterráneas en las inmediaciones de la antigua zona de desengrase de PCE
Central de taladrinas	12	VEW-2	Caracterización de aguas subterráneas en las inmediaciones de la central de taladrinas
		PC-3	
		PC-4	Caracterización de aguas subterráneas aguas abajo de la central de taladrinas
Aguas abajo del emplazamiento	--	Pozo nº4	Caracterización de aguas subterráneas aguas abajo del emplazamiento
		PC-2	

El programa analítico se basó en la determinación de los siguientes parámetros en las muestras de suelo y agua subterránea:

- Hidrocarburos del petróleo. Se utilizaron dos técnicas analíticas, la determinación del índice de hidrocarburos alifáticos (TPH) con un número de carbonos en sus cadenas entre C10-C40 y la determinación de hidrocarburos por fracciones según el número de carbonos en sus cadenas (C5-C6, C6-C8, C8-C10, >C10-C12, >C12-C16, >C16-C35, >C35-C40)
- Hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs).

Para facilitar el entendimiento de la caracterización de este estudio se ha separado según el medio de estudio: zona no saturada y zona saturada.

➤ Caracterización de aceites minerales en zona no saturada

El nivel máximo que marca el R.D. 9/2.005 de 50 mg de TPH por Kilogramo de suelo es un valor único independientemente de los usos del suelo presentes o futuros. En Anexos, Tabla 7 se puede ver los resultados obtenidos del total de muestras del suelo en relación con los TPHs

En la base del foso de la central de taladrinas (SL-1, SL-2 y SL-3), todas las muestras tomadas bajo la solera del foso de hormigón superaron el nivel de referencia con valores máximos del orden de 2.500 mg/Kg. En los sondeos SL-1 y SL-3 se observa como en profundidad, las concentraciones disminuyen, no detectándose a 1,5 y 3 metros. En cambio en el sondeo SL-2, localizado junto al cubeto de la central de taladrinas, las dos muestras analizadas superaron el valor establecido del orden de 50 mg/Kg detectándose concentraciones de 11.000 mg/Kg a una profundidad de 2,5 m.

En las inmediaciones de la central de taladrinas (SM-1, SM-2, SM-3, SM-4 y PC-4) se pudo observar la superación del valor establecido en dos niveles claramente bien diferenciados:

- Nivel superficial bajo la solera de hormigón/asfalto: se detectaron concentraciones de entre 1.000 y 210 mg/Kg. En los sondeos SM-1, SM-2 y SM-3. En SM-4 y PC-4 no fueron detectados estos compuestos.
- Nivel profundo relacionado con las gravas: se detectaron concentraciones de entre 12.500 y 90 mg/Kg. En el sondeo SM-2 no se observó esta capa de gravas profundas, mientras que en sondeo PC-4 estas gravas no presentaron afección alguna.

En los restantes puntos de muestreo (SL-4, SL-5, SL-6, SL-7 y SL-8), únicamente se superó muy ligeramente el valor de 50 mg/kg en la muestra superficial del punto de muestreo SL-7 situado en la zona de calderas, no detectándose en la muestra tomada a 1,5 metros de profundidad.

Al objeto de disponer de información adicional sobre estos compuestos, se procedió a fraccionar varios de estos resultados en base al tamaño de las cadenas de los hidrocarburos del petróleo.

Los resultados fueron comparados con la Propuesta para la revisión de los valores de intervención para hidrocarburos del petróleo sobre la base de las fracciones de los hidrocarburos del petróleo, de 1.999 elaborado por el *National Institute of Public Health and the Environment* de Holanda. El valor más restrictivo establecido para el rango de cadenas analizadas es para la fracción C8-C10 donde se establece que el valor de intervención propuesto es de 27 mg/Kg. En los Anexos, Tabla 8 se pueden observar los resultados de las muestras llevadas a cabo.

Los resultados analíticos demostraron una detección de las fracciones superiores a C12 con concentraciones máximas del orden de 10.000 mg/Kg, (>C16-C40), en el punto de muestreo SM-1 relacionado con el nivel profundo de gravas.

En el programa analítico también se tuvo en cuenta la determinación de hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs). Para llevar a cabo la confrontación de resultados, se utilizaron los criterios de dos Anexos del R.D. 9/2.005:

- Anexo III : si la concentración excede 100 o más veces el NGR, el suelo es declarado como contaminado
- Anexo VI : la concentración supera el NGR sin llegar a 100 veces el NGR, el suelo será declarado como alterado y requerirá un análisis de riesgos

En total se analizaron dos muestras del suelo con concentraciones elevadas de TPHs y los resultados se pueden ver en Anexos, Tabla 9.

Según los resultados analíticos obtenidos sobre PAHs, ninguna de las muestras analizadas superaba los NGR recogidos en R.D. 9/2.005. De todos los compuestos analizados, únicamente fueron detectados el naftaleno, fluoreno y fenantreno en concentraciones mínimas.

➤ Caracterización de aceites minerales en aguas subterráneas

Para realizar la confrontación de las muestras de aguas subterráneas, como ya se había realizado con anterioridad, se utilizaron los valores contemplados en la Lista Holandesa. En los Anexos, Tabla 10 se pueden observar los resultados de las muestras llevadas a cabo.

Según los resultados analíticos de TPH, se superó el valor de intervención de la lista holandesa en los dos pozos más cercanos a la central de taladrinas (VEW-2 y PC-3) con una máxima concentración de 506 mg/L en el PC-3. Adicionalmente, cabe mencionar la existencia de una capa flotante de aceites con un espesor de unos 5 cm en este pozo.

Asimismo, tanto en el VEW-1 (antigua zona de desengrase) como en el PC-4 (aguas debajo de la central de taladrinas) se detectaron valores superiores al valor objetivo aunque inferiores al valor de intervención. En las muestras tomadas aguas abajo del emplazamiento (PC-2 y Pozo Nº 4) no se detectó concentración alguna de TPHs.

En tres muestras de aguas subterránea, también se llevó a cabo una determinación de hidrocarburos del petróleo según sus fracciones (HCF). En los Anexos, Tabla 11 se pueden ver los resultados.

Según los resultados analíticos obtenidos se observó que las fracciones principales son las referentes a las superiores a C16-C40, con un valor del orden de 410 mg/L en la muestra en la que se detectó mayor concentración (PC-3, central de taladrinas) de aceites.

Con los resultados de los análisis de las muestras tomadas en los sondeos y las columnas litológicas de los mismos, se elaboraron los perfiles indicados y reflejados en la figura 5.7 (página siguiente). En los Anexos, Plano 11 se puede ver cual es la situación del corte A-A' y la situación de los sondeos incluidos en él.

CORTE A-A'

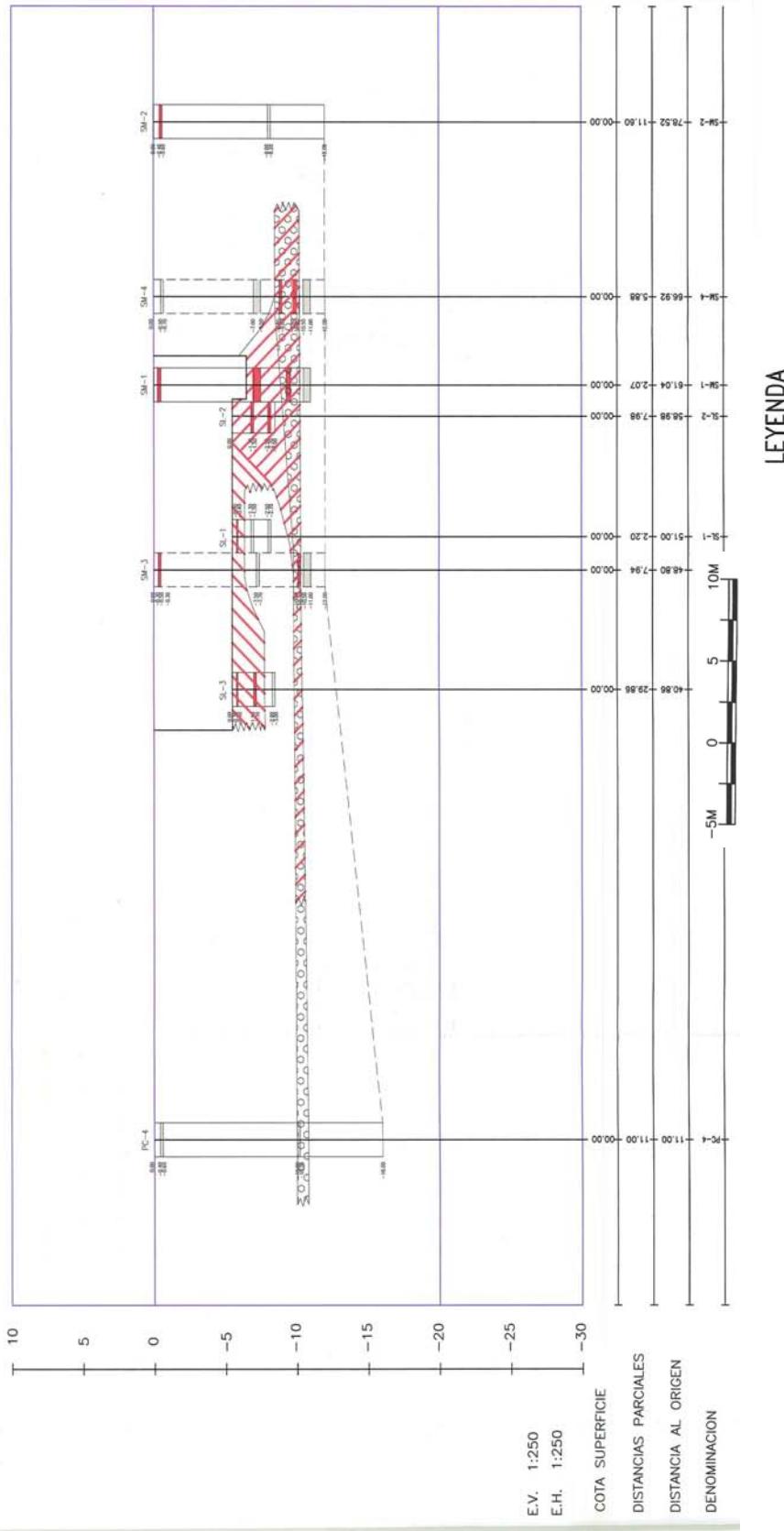


Figura 5.7. Delimitación de hidrocarburos totales del petróleo.
Fuente: Letka, 2.006

Mediante el cálculo de semiáreas, se pudo llevar a cabo los siguientes cálculos de volúmenes de materiales afectados por los diferentes compuestos, en base al origen de los mismos:

Base del foso de la central de taladrinas: Se pudo estimar un volumen aproximado de materiales con concentraciones superiores a 50 mg/Kg de TPHs del orden de 4.100 m³ superficialmente bajo la solera del hormigón. Entre 1 - 3 metros de profundidad se observa una clara disminución de las concentraciones. Las concentraciones máximas encontradas fueron del orden de 2.500 mg/Kg de TPHs.

Cubeto de la central de taladrinas: Se pudo estimar un volumen aproximado de materiales con concentraciones superiores a 50 mg/Kg de TPHs del orden de 70.000 m³. En este caso se pudo observar claramente como esta afección tiene su origen en el cubeto de retención. Los aceites minerales percolaron hasta el estrato de gravas profundas y a favor de la permeabilidad relativamente elevada de estos materiales, migraron hacia zonas colindantes. En este caso las concentraciones máximas fueron de 12.500 mg/Kg de TPHs.

Detección superficial no vinculado con la central de taladrinas: Existencia a nivel superficial de concentraciones superiores al establecido para TPHs, no relacionadas con la actividad de la central de taladrinas. Concretamente se detectaron concentraciones de entre 55 y 1.000 mg/Kg (SL-7,SM-1, SM-2, SM-3, SM-4), no llegándose a poder correlacionar las mismas, por consiguiente tampoco delimitarlas, estimándose estos valores procedentes de diferentes actividades llevadas a cabo en la superficie de la factoría.

Aquas subterráneas bajo la central de taladrina: Se observó una afección de TPHs en las inmediaciones de la central de taladrinas, relacionada con la afección al suelo, procedente del cubeto de dicha central. Se llegó a la conclusión, de que la pluma de agua subterránea afectada no es de gran magnitud y que se encuentra estrechamente relacionada con la central de taladrinas, ya que los pozos VEW-1 y PC-4, demostraron concentraciones muy inferiores a los existentes en los pozos PC-3 y VEW-2. A partir de la no detección en el PC-2 y en el pozo N° 4, se considera que la afección a los terrenos colindantes es nula.

- Análisis de riesgos

A partir de las concentraciones obtenidas en el estudio de 2.005 (concentraciones totales de TPHs y de HCF) se realizó un análisis de riesgos a partir del software desarrollado por Lynn R. Spence para BP y denominado RISC 4 (Risk- Integrated Software for Cleanups) basado en los principios del

Risk Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites (RBCA toolkit, Estados Unidos).

Para realizar el análisis, se han llevado a cabo 3 escenarios de riesgo diferentes, ya que se distinguieron diferentes situaciones respecto a concentraciones, localización de los contaminantes, usuarios y medios afectados:

Escenario I: Escenario de trabajo en la central de taladrinas que mostró una contaminación superficial por TPHs. En este escenario los receptores potenciales son trabajadores adultos, con una frecuencia de exposición considerada de 8h/día, 250 días/año y 25 años. Este patrón de actividad es considerado muy conservador ya que la mayoría de trabajadores desarrollan su actividad en otra área y sólo acuden a esta zona en ocasiones puntuales.

Las vías de exposición de los trabajadores se consideraron que son la inhalación de contaminante de forma gaseosa, la ingestión directa de suelo y la absorción de suelo y polvo a través de la piel.

Escenario II: Contaminación por TPHs detectada a profundidades de 9,0 m aproximadamente en la zona de gravas finas (zona saturada). El riesgo evaluado en este escenario es el de la migración de la contaminación hacia las aguas subterráneas en dirección al pozo de abastecimiento de la planta (pozo Nº 4). En este escenario se ha aplicado el modelo de dispersión a través de las concentraciones máximas, tiempo de 50 años y una distancia de 40 metros aguas abajo.

Escenario III: Estudio de la migración en fase disuelta de los TPHs, desde las aguas subterráneas del PC-3 hacia el pozo Nº 4. Para aplicar el modelo de dispersión en la fase disuelta de este modelo se ha tenido en cuenta un tiempo de 30 años y una distancia de 40 m aguas abajo.

A partir de todos los datos y cálculos llevados a cabo se concluye con los siguientes resultados:

Escenario I: Los riesgos calculados en el foso de la central de taladrinas resultaron ser inferiores al límite aceptable. Además el modelo, como ya se ha comentado con anterioridad, era muy conservador teniendo en cuenta que se consideraron como vías activas la ingestión y contacto dérmico del suelo, cuando en realidad la mayor parte de las zonas de trabajo están cubiertas con una capa de hormigón o asfalto. A su vez los tiempos de exposición son también más elevados que los reales, lo cual justifica aún más la veracidad de los resultados.

Escenario II: Los resultados del modelo de dispersión que se aplicó, indicó que las concentraciones de las sustancias detectadas en la zona saturada no alcanzarían mediante migración y disolución el agua subterránea del PC-4.

Hay que tener en cuenta que la contaminación detectada en la zona saturada está compuesta por fracciones de TPHs de baja movilidad y baja solubilidad en agua.

Escenario III: Los resultados de la estimación de la migración de la contaminación por TPHs en fase disuelta desde el PC-3 hasta el PC-4 indican que , a partir de las concentraciones analizadas en PC-3, sólo llegarían al PC-4 trazas de las fracciones C5-6 y C8-10.

Finalmente se recomendaron una serie de medidas encaminadas a la minimización del riesgo generado por la afección por TPHs:

- Evitar aportes nuevos de contaminación al foco existente.
- Llevar a cabo un plan de monitorización de las concentraciones de TPHs en el agua subterránea con objeto de comprobar que la situación no se agrava.
- En caso de detectarse aumentos relevantes de las concentraciones y/o aparición en el pozo Nº 4, prohibir el uso del agua hasta la adopción de medidas.
- En caso de aumento de riesgos por cambio de las circunstancias descritas, se recomendó la técnica de atenuación natural controlada y/o ayudada. Esta técnica se base en el aprovechamiento y potenciación de los procesos naturales para eliminar o reducir la contaminación en suelos y aguas. En este caso, al no suponer un riesgo inaceptable y demostrarse la poca posibilidad de dispersión de la pluma de la central de taladrinas hacia zonas colindantes, se decidió por no comenzar dicho tratamiento sin una justificación suficiente.

La empresa, siguiendo las recomendaciones del informe de 2.006, en 2.007 recubrió la cubeta de retención con pintura Epoxi, la cual evitan los posibles riesgos de percolación. Para tener constancia de que el recubrimiento Epoxi está en buenas condiciones, se ha incluido dentro del sistema periódico de mantenimiento preventivo (anual) que la empresa tiene en marcha.

En 2.010, como se puede observar en Anexos, Tabla 8, la monitorización se sigue llevando a cabo y los resultados no muestran una variaciones significativas. Destacar que todos los resultados de las analíticas de aguas subterráneas son inferiores al valor de intervención.

5.3. Evolución de la contaminación por disolventes halogenados volátiles en la zona no saturada

Sistema de extracción VES-1 (como ya se ha visto anteriormente, incluye los pozos de extracción VEW-1, VEW-2 y VEW-4)

El sistema de extracción de contaminantes se puso en marcha el día 17 de Enero de 2.002. El sistema VES-1 está ubicado sobre el foco principal de contaminación. En este punto, desde sus inicios, se esperaba que mediante los tres pozos de extracción de aire (VEW), fuese el lugar en el que se extrajera más contaminante. Por la misma razón, también se esperaba que este fuese el equipo que más tiempo necesitase estar en funcionamiento para llegar a tener un riesgo aceptable por la contaminación por PCE. En Anexos, Plano 13 se puede observar la evolución de los planos de isolíneas desde el inicio de la descontaminación de la zona no saturada hasta la actualidad.

A continuación se analizarán las evoluciones obtenidas en cada uno de sus pozos.

- Pozo de extracción VEW-1.

Como ya se ha visto anteriormente, el VEW-1 es el pozo más cercano a la instalación en el cual se utilizaba el PCE y posiblemente el punto más cercano al foco de contaminación del suelo (ver Anexos, Plano 12).

El pozo VEW-1, lleva en marcha desde el día 17/01/2.002 hasta la actualidad. El sistema de extracción de contaminantes ha funcionado con un cabal de extracción de aire del suelo variable entre 50 y 20 m³ de aire por hora de trabajo, siendo la media total de 35 m³/hora (Letka, 2.010).

En este pozo, se partían de concentraciones previas a los inicios del saneamiento de 67.832 mg de hidrocarburos halogenados volátiles por metro cúbico de aire extraído del suelo (Letka, 12/2.001). De los 67.382 mg/m³ hidrocarburos halogenados volátiles, 66.000 mg/m³ pertenecían a PCE siendo este el componente mayoritario en la muestra. El resto de componentes se encontraban en las siguientes concentraciones:

Tabla 5.20. Última analítica en el VEW-1 anterior a la puesta en marcha del sistema de descontaminación de suelos .

Fuente: Adaptación Letka. 11/2.001

Muestra anterior a los inicios de descontaminación en VEW-1 (12/11/2.001)			
Parámetros	Concentraciones	Parámetros	Concentraciones
	mg/m ³		mg/m ³
Diclorometano	nd	1,1,1-Tricloroetano	3,40
1,2-Dicloroetileno, trans	6,4	Tetraclorometano	0,20
1,2-Dicloroetileno, cis	14	Tricloroeteno	1.800,00
Triclorometano	8,6	Tetracloroeteno	66.000,00

Esta es la mayor concentración encontrada en todos los pozos de extracción, lo cual evidencia la cercanía con el foco de contaminación.

Durante los primeros meses se puede observar (Gráfico 5.2) una disminución espectacular de las concentraciones. Esto fue debido principalmente a que en un inicio, la mayor parte de los poros estaban muy saturados de contaminantes y por tanto el sistema de extracción era más efectivo. En el primer trimestre desde la puesta en marcha se pasa de 67.832,6 mg/m³ de hidrocarburos halogenados volátiles a una concentración de 15.104 mg/m³ (12/03/2.002) lo cual supone una reducción de un 77% de la concentración de contaminantes.

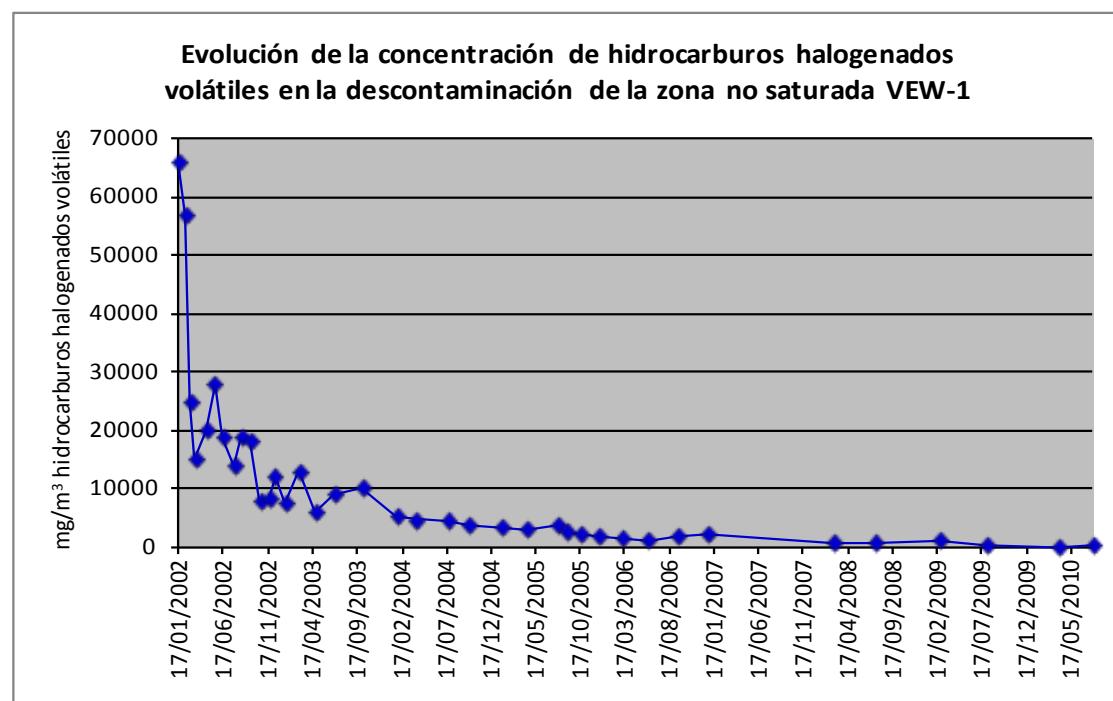


Gráfico 5.2. Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles detectadas a partir de los análisis periódicos en el pozo de extracción de aire contaminado VEW-1.

Fuente: Elaboración propia. Datos Letka 2.002 - 2.010

Los pequeños aumentos observados en los dos primeros años son debidos a la condensación de agua en las tuberías de extracción (principalmente en los meses de lluvias). Las tuberías se llegaron a obturar debido a la condensación de la humedad. Esto provocó un mal funcionamiento del VES-1, especialmente en los pozos VEW-2 y VEW-4 (Letka, 11/2.004) aunque también afectó, como se puede ver en el gráfico, al VEW-1. Para solucionar este problema se cambió la ubicación del sistema de extracción VES-1 del almacén de productos químicos a la central de taladrinas (Ver Anexos, Plano 13). Con este cambio de ubicación se disminuyó la distancia entre los pozos de extracción y el VES-1 y por tanto, los metros de tubería exterior. A partir de los análisis de los meses siguientes se pudo observar como el cambio fue positivo y el funcionamiento volvió a la normalidad.

A finales de 2.002 ya se empezaron a tomar las primeras muestras con una concentración inferior a 10.000 mg/m³. A partir de esta fecha, la extracción de los contaminantes comienza a ser mucho más lenta. Actualmente, se están llegando a unas concentraciones en las cuales la disminución por debajo de los 100 mg/m³ está siendo mucho más lenta que lo esperado inicialmente.

En Anexos, Tabla 13 se pueden observar los resultados de las analíticas del pozo de extracción VEW-1. Analizando esta tabla, se observa como la concentración más baja detectada desde la puesta en marcha del equipo de descontaminación en este pozo fue el día 04/02/2.010, con una concentración de 150 mg/m³ únicamente de PCE. El resto de contaminantes también ha ido disminuyendo hasta que prácticamente no se detectan a excepción del TCE que en alguna muestra aun se detecta con concentraciones muy bajas (2.008 - 2.010 siempre inferior a 1, mg/m³).

- Pozo de extracción VEW-2.

El pozo de extracción VEW-2, se encuentra situado un poco más al este que el pozo VEW-1, fuera del área propiamente dicha de producción. El pozo VEW-2 es el más cercano al depósito de destilación de PCE (ver Anexos, Plano 12). Entre estos dos pozos, era la zona por la cual, se llevaba a cabo el trasiego a zanja abierta y, por lo tanto, una de las posibles vías de entrada de contaminante al suelo.

El pozo VEW-2, como ya se ha visto con antelación, se puso en marcha el día 17/01/2.002. El sistema de extracción de contaminantes funcionó desde su inicio hasta mediados de 2.004 con un cabal de extracción de aire del suelo de 20 m³ de aire por hora de trabajo. A partir de ese momento, el cabal fue aumentando de entre 50 y 20 m³/hora de trabajo, siendo la media total de 28 m³/hora (Letka, 2.010)

En este pozo, se partían de concentraciones previas a los inicios del saneamiento de 11.848,9 mg de hidrocarburos halogenados volátiles por metro cúbico de aire extraído del suelo (Letka, 12/2.001). Del total de hidrocarburos halogenados volátiles detectados con anterioridad al proceso de descontaminación, 11.000 mg/m³ pertenecen a PCE siendo este el componente mayoritario en la muestra. El resto de componentes se encontraban en las siguientes concentraciones:

Tabla 5.21. Última analítica en el VEW-2 anterior a la puesta en marcha del sistema de descontaminación de suelos .

Fuente: Adaptación Letka, 11/2.001

Muestra anterior a los inicios de descontaminación en VEW-2 (12/11/2.001)			
Parámetros	Concentraciones	Parámetros	Concentraciones
	mg/m ³		mg/m ³
Diclorometano	Nd	1,1,1-Tricloroetano	0,2
1,2-Dicloroetileno, trans	7,7	Tetraclorometano	Nd
1,2-Dicloroetileno, cis	530	Tricloroetileno	310
Triclorometano	1	Tetracloroetileno	11.000

Durante los primeros meses, al igual que en el resto de pozos de extracción, se puede observar (Gráfico 5.3) una disminución acusada de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles. Tras un año y medio de funcionamiento, en julio de 2.003 ya se detectan concentraciones sobre los 100 mg/m³.

En 2003, se observa como hay un pequeño aumento en las concentraciones detectadas. Esto, como se ha comentado en el VEW-1, se debía a que en la época de lluvias de estos dos primeros años, las tuberías de impulsión de los pozos de extracción se llegaban a obturar debido a la condensación de la humedad del suelo. (Letka, 11/2.004). Con el cambio de ubicación del VES-1, el problema quedó solventado.

En enero de 2.007 tras observar unas concentraciones cercanas a los 50 mg/m³, se decide por comenzar la fase final de esta zona. Esta fase consiste en alternar un mes de funcionamiento con otro de parada para así aumentar la concentración del aire extraído y a la vez, ver cual será la carga residual que quedaría en el suelo una vez se dé por finalizado el saneamiento de esa zona (Letka, 2.008).

En marzo de 2.008, tras haber llevado a cabo la fase final del saneamiento durante algo más de un año, se observaron tres meses consecutivos en los que las concentraciones se mantuvieron por debajo de los 50 mg/m³ de hidrocarburos halogenados volátiles. Así pues, en marzo se finaliza la extracción de aire del pozo VEW-2 y se da por saneado este pozo

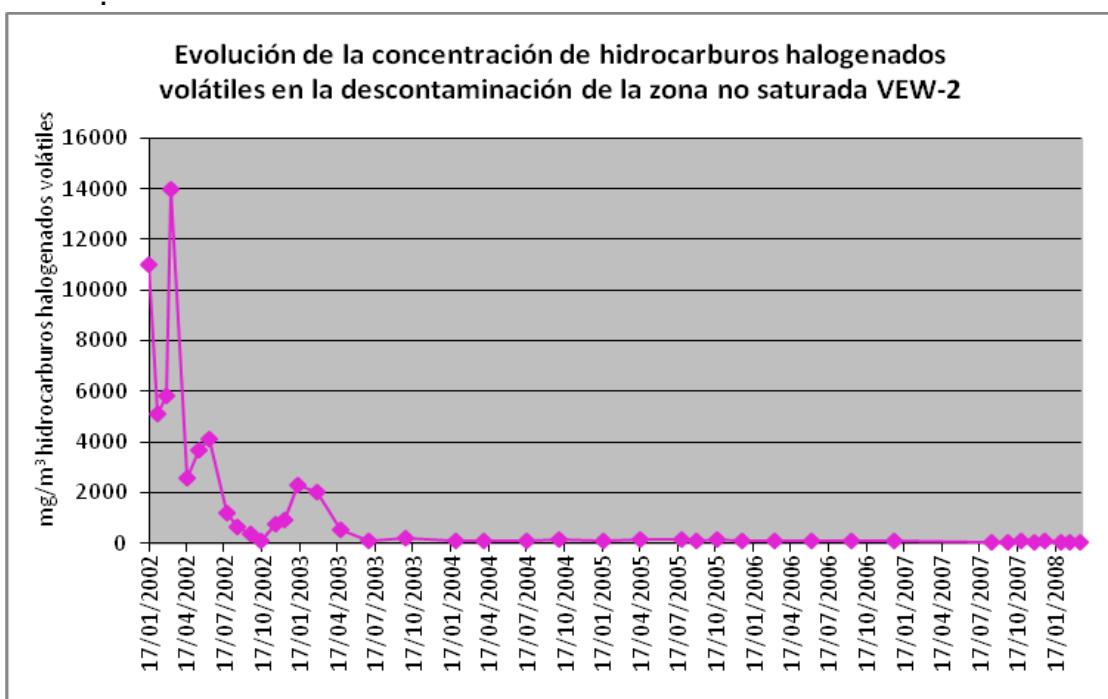


Gráfico 5.3. Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles detectadas a partir de los análisis periódicos en el pozo de extracción de aire contaminado VEW-2

Fuente: Elaboración propia. Datos Letka 2.002 - 2.008

En Anexos, Tabla 14 pueden observar los resultados de las analíticas del pozo de extracción VEW-2. En esta tabla se observa como además del PCE, también disminuyeron considerablemente las concentraciones de TCE y de 1,2-DCE, cis.

- Pozo de extracción VEW-4.

El pozo de extracción VEW-4, se encuentra situado al sur del pozo VEW-1. Este pozo se encuentra situado bajo el cuarto de compresores y de calderas. En relación al PCE, está situado en una zona cercana, aguas abajo, al foco de contaminación (ver Anexos, Plano 12).

El pozo VEW-4, al igual que el resto de pozos de extracción de aire, se puso en marcha el día 17/01/2.002. El sistema de extracción de contaminantes funcionó desde su inicio hasta finales de 2.004 con un cabal de extracción de aire del suelo de 20 m³ de aire por hora de trabajo. A partir de ese momento, el cabal fue aumentando de entre 50 y 20 m³/h de trabajo, siendo la media durante este periodo de 30 m³/h (Letka, 2.010).

En este pozo, se partían de concentraciones previas a los inicios del saneamiento de 9.394,4 mg de hidrocarburos halogenados volátiles por metro

cúbico de aire extraído del suelo (Letka, 12/2.001). Del total de hidrocarburos halogenados volátiles detectados con anterioridad al proceso de descontaminación, 7.900 mg/m³ pertenecen a PCE siendo este el componente mayoritario en la muestra. El resto de componentes se encontraban en las siguientes concentraciones:

Tabla 5.22. Última analítica en el VEW-4 anterior a la puesta en marcha del sistema de descontaminación de suelos .

Fuente: Adaptación Letka, 11/2.001

Muestra anterior a los inicios de descontaminación en VEW-4 (12/11/2.001)			
Parámetros	Concentraciones	Parámetros	Concentraciones
	mg/m ³		mg/m ³
Diclorometano	nd	1,1,1-Tricloroetano	0,1
1,2-Dicloroetileno, trans	44	Tetraclorometano	Nd
1,2-Dicloroetileno, cis	150	Tricloroetileno	1.300
Triclorometano	0,3	Tetracloroetileno	7.900

Durante los primeros meses, al igual que en el resto de pozos de extracción, se puede observar (Gráfico 5.4) una disminución acusada de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles. En este pozo en particular, se observó una concentración mayor a la inicial tras un mes de funcionamiento del sistema (12.000 mg/m³). Tras un año y medio de funcionamiento, en julio de 2.003 ya se detectan concentraciones sobre los 100 mg/m³.

En septiembre de 2.002 se detecta el primer análisis inferior a 50 mg/m³ (límite propuesto por la LAWA). Pese a este resultado, a inicios de 2.003 vuelve a detectarse un aumento en la concentración de hidrocarburos halogenados volátiles (01/2.003, 13.000 mg/m³). Como se ha comentado en el análisis del pozo VEW-1 y VEW-2, tanto este aumento como el detectado a inicios de 2.002 fue provocado por la condensación de agua en las tuberías del sistema. Una vez, se reubicó la situación del equipo VES-1, se volvió a concentraciones inferiores a 300 mg/m³.

De agosto de 2.005 a marzo de 2.008 únicamente se detectó un análisis positivo de 75 mg/m³ de hidrocarburos halogenados volátiles. En enero de 2.007, además ya se había puesto en marcha la fase final del pozo VEW-4 (igual que el VEW-2). Valorando estos resultados, en marzo de 2.008 se dejó de extraer aire y se dio por saneada la zona de extracción del pozo VEW-4. A partir de ese momento, el pozo VEW-1 fue el único punto de extracción de hidrocarburos halogenados volátiles en el sistema VES-1.

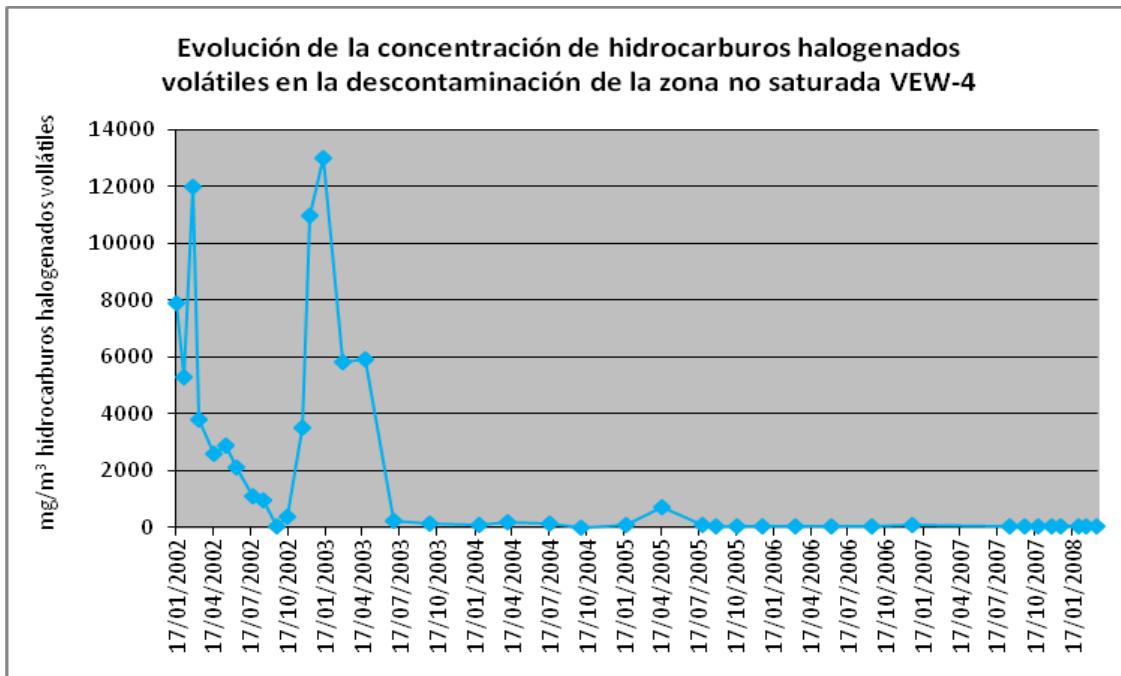


Gráfico 5.4. Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles detectadas a partir de los análisis periódicos en el pozo de extracción de aire contaminado VEW-4

Fuente: Elaboración propia. Datos Letka 2.002 - 2.008

En Anexos, Tabla 15 pueden observar los resultados de las analíticas del pozo de extracción VEW-4. En esta tabla pueden observarse como además de disminuir la cantidad de PCE también prácticamente se eliminan otros compuestos halogenados volátiles detectados con anterioridad.

Sistema de extracción VES-2 (únicamente incluye el pozo de extracción VEW-3)

- Pozo de extracción VEW-3.

Como ya se ha visto con anterioridad, el pozo VEW-3 es el más cercano al almacén de productos químicos; un foco de afección por hidrocarburos halogenados volátiles diferente a la zona de producción (ver Anexos, Plano 12).

El pozo VEW-3, al igual que el resto de pozos de extracción de aire, estuvo en funcionamiento desde el día 17/01/2.002. El sistema de extracción de contaminantes funcionó desde su inicio hasta mayo de 2.004 con un cabal de extracción de aire del suelo de 60 m³ de aire por hora de trabajo. (Letka, 2.010)

En este pozo, se partían de concentraciones previas a los inicios del saneamiento de 1.434,1 mg de hidrocarburos halogenados volátiles por metro cúbico de aire extraído del suelo (Letka, 12/2.001). Del total de hidrocarburos halogenados volátiles detectados con anterioridad al proceso de descontaminación, 1.200 mg/m³ pertenecen a PCE siendo este el componente mayoritario en la muestra. El resto de componentes se encontraban en las siguientes concentraciones:

Tabla 5.23. Última analítica en el VEW-3 anterior a la puesta en marcha del sistema de descontaminación de suelos .

Fuente: Adaptación Letka, 11/2.001

Muestra anterior a los inicios de descontaminación en VEW-3 (12/11/2.001)			
Parámetros	Concentraciones	Parámetros	Concentraciones
	mg/m ³		mg/m ³
Diclorometano	Nd	1,1,1-Tricloroetano	Nd
1,2-Dicloroetileno, trans	4	Tetraclorometano	Nd
1,2-Dicloroetileno, cis	110	Tricloroetileno	120
Triclorometano	0,1	Tetracloroetileno	1.200

Durante el primer mes de extracción, se pasa de una concentración de 1.200 mg/m³ de PCE a 210 mg/m³ (Gráfico 5.5). En diciembre de 2.002 ya se detecta la primera concentración inferior a 50 mg/m³

En enero de 2.003 se comenzó con la fase final en el pozo VEW-3, alternando dos semanas de funcionamiento con dos de parada (Letka, 02/2.003).

En junio de 2.004, tras mantenerse la mayoría de los análisis inferiores a 50 mg/m³ incluso con el sistema en fase final, se decide por dar por saneada la zona del almacén de productos químicos y dejar de utilizar el VES-2 (Letka, 2.005).

En Anexos, Tabla 16 se pueden observar los resultados de las analíticas del pozo de extracción VEW-3. En esta tabla además de apreciar la disminución de PCE, se puede observar como el resto de hidrocarburos halogenados volátiles también disminuyeron con el tratamiento (TCE y 1,2-DCE, cis)

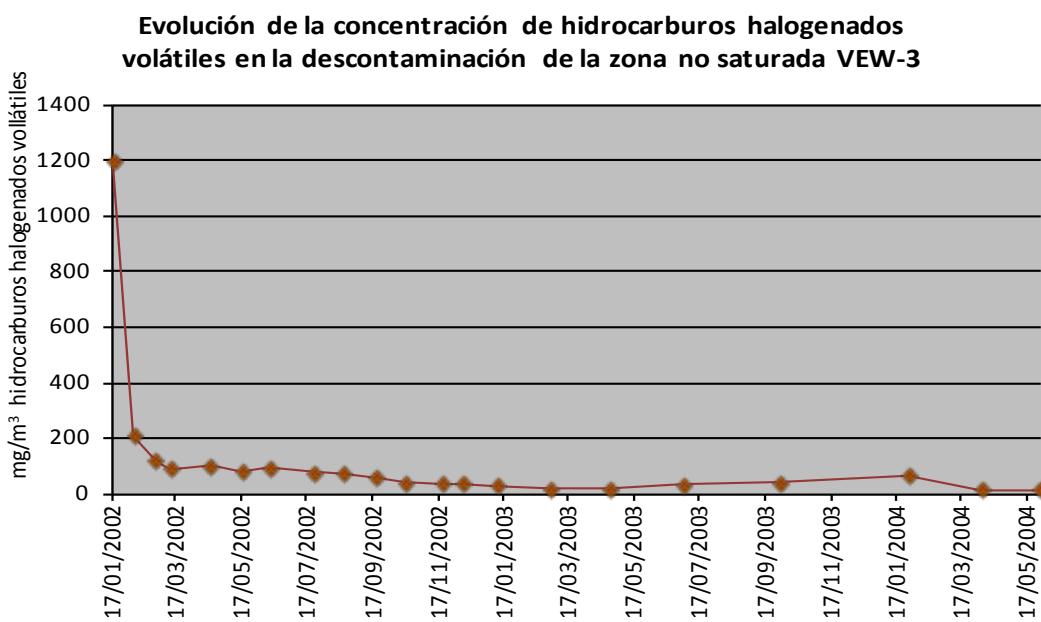


Gráfico 5.5. Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenado volátiles detectadas a partir de los análisis periódicos en el pozo de extracción de aire contaminado VEW-3

Fuente: Elaboración propia. Datos Letka 2.002 - 2.004

Piezómetros de control (PVMP)

El análisis de hidrocarburos halogenados volátiles en el aire de los piezómetros de control permanente aporta información sobre la influencia de los pozos de extracción en el entorno. Con los resultados de los PVMP se comprueba, además, el correcto funcionamiento del sistema de extracción de contaminantes y ayuda a ver cual es el estado de la pluma de contaminación.

Durante la fase previa al saneamiento realizado a finales del año 2.001, fueron instalados cinco piezómetros de control permanente al objeto de definir la afección generada por la extracción.

Posteriormente, durante el tercer año de la fase de saneamiento (2.005), debido a obras internas de la fábrica, fueron eliminados todos los PVMP del emplazamiento a excepción del PVMP-1. De este modo, para controlar el grado de afección generado por la extracción de gas por el saneamiento, fueron instalados 2 piezómetros más. Es de destacar que la situación del PVMP-3 es diferente a la del antiguo PVMP-3 (obturación el primer mes de funcionamiento del equipo de extracción) con la finalidad de acotar lo más óptimamente posible la afección existente bajo la nave de producción (ver Anexos, Plano 13).

La primera muestra realizada en los PVMP tras la puesta en marcha del sistema de extracción de hidrocarburos halogenados volátiles, provocó un descenso en todos los piezómetros a niveles inferiores a 50 mg/m³ (Gráfico 5.6). El PVMP-2, al contrario que el resto de piezómetros, se mantuvo por encima de los 50 mg/m³ pese a que las concentraciones disminuyeron hasta 27/01/2.004 en que se alcanzaron 17 mg/m³. Tras esa fecha volvieron a ascender hasta máximos de 470 mg/m³ el 20/12/2.005. Tras el aumento en la concentración de 2.005, fueron disminuyendo hasta la actualidad que se encuentra sobre 0,67 mg/m³ el 27/07/2.010.

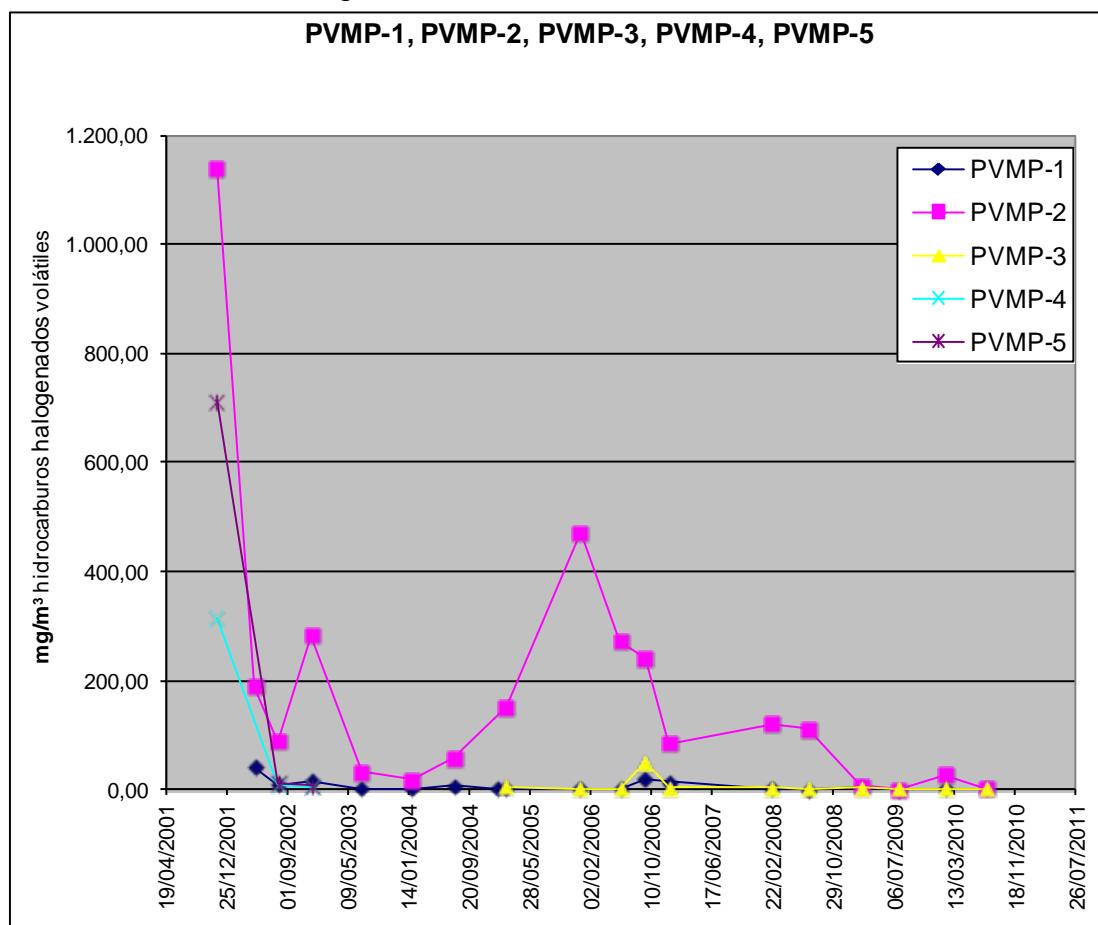


Gráfico 5.6. Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles detectadas a partir de los análisis en los piezómetros de control permanente
Fuente: Elaboración propia. Datos Letka 2.001 - 2.010

En Anexos, Tabla 17, 18, 19, 20, 21 se pueden observar los resultados de las analíticas del pozo de extracción PVMP-1, PVMP-2, PVMP-3 (nuevo), PVMP-4, PVMP-5, respectivamente. En esta tabla además de apreciar la disminución del PCE, se puede observar como el resto de hidrocarburos halogenados volátiles también disminuyeron hasta la no detección actualmente (TCE y 1,2- DCE, cis).

5.4. Evolución de la contaminación por disolventes halogenados volátiles en la zona saturada

Tratamiento y contención de la zona saturada a partir de la extracción de agua del pozo Nº 4

Como ya se ha visto anteriormente, el saneamiento del pozo Nº 4 comenzó en modo continuado el día 15/06/2.004 tras haber pasado un periodo inicial de puesta a punto. El sistema de extracción de contaminantes ha funcionado y funciona con un cabal de extracción de agua de entre 18.528 L/año (el año de la puesta en marcha) y 8.614 L/año en 2.008 - 2.009 (ver tabla 5.24). Este descenso puede ser debido a la cal acumulada en las tuberías del sistema o bien por la disminución de aportes de agua al freático. Del agua tratada, aproximadamente un 50% fue enviada al depósito de la factoría y el otro 50% ha ido derivada a cauce del río

Tabla 5.24. Evolución en las cantidades de agua tratada en el “stripping” y punto de uso posterior

Fuente: Adaptación Letka, 12/2.001

Periodo de tratamiento	Aqua Bruta (Pozo Nº 4)	Aqua tratada al depósito almacenamiento	Aqua tratada al cauce del río
Junio 2.004 - Junio 2.005	18.798 m ³	10.637 m ³	8.161 m ³
Junio 2.005 - Junio 2.006	10.770 m ³	4.856 m ³	5.914 m ³
Junio 2.006 - Abril 2.007	10.508 m ³	4.788 m ³	5.720 m ³
Abril 2.007 - Julio 2.008	11.373 m ³	5.148 m ³	6.225 m ³
Julio 2.008 - Julio 2.009	8.614 m ³	5.159 m ³	3.455 m ³
Julio 2.009 - Julio 2.010	9.769 m ³	3.589 m ³	6.180 m ³
Inicio tratamiento – Julio 2010	69.832 m³	34.177 m³	35.655 m³

En este pozo, se partían de concentraciones previas a los inicios del saneamiento de 2.164 µg de hidrocarburos halogenados volátiles por litro de agua extraído del pozo Nº 4 (Letka, 11/2.003). De los 2.164 µg/L de hidrocarburos halogenados volátiles, 1.900 µg/L pertenecían a PCE, siendo este el componente mayoritario en la muestra. El resto de componentes se encontraban en las siguientes concentraciones:

Tabla 5.26. Última analítica en el Pozo Nº 4 anterior a la puesta en marcha del sistema de tratamiento y contención de aguas subterráneas.

Fuente: Adaptación Letka, 09/2.003

Muestra anterior a los inicios de descontaminación en Pozo Nº 4 (30/09/2.003)			
Parámetros	Concentraciones	Parámetros	Concentraciones
	µg/L		µg/L
Diclorometano	nd	1,1,1-Tricloroetano	nd
1,2-Dicloroetileno, trans	nd	Tetraclorometano	nd
1,2-Dicloroetileno, cis	240	Tricloroetileno	23
Triclorometano	nd	Tetracloroetileno	1.900

nd: no detectado

La extracción de hidrocarburos halogenados a partir del “stripping” no parece ser tan lineal como en el caso de la descontaminación de aire del suelo (gráfico 5.7). En el caso de el gráfico 5.7, tanto los picos altos como bajos, parecen tener bastante relación con los meses lluviosos y secos (octubre-abril y mayo-septiembre respectivamente). Pese a los altibajos, se observa como la concentración de contaminante ha disminuido de concentraciones máximas por encima de los 2.000 µg/L hasta concentraciones más cercanas a 500 µg/L.

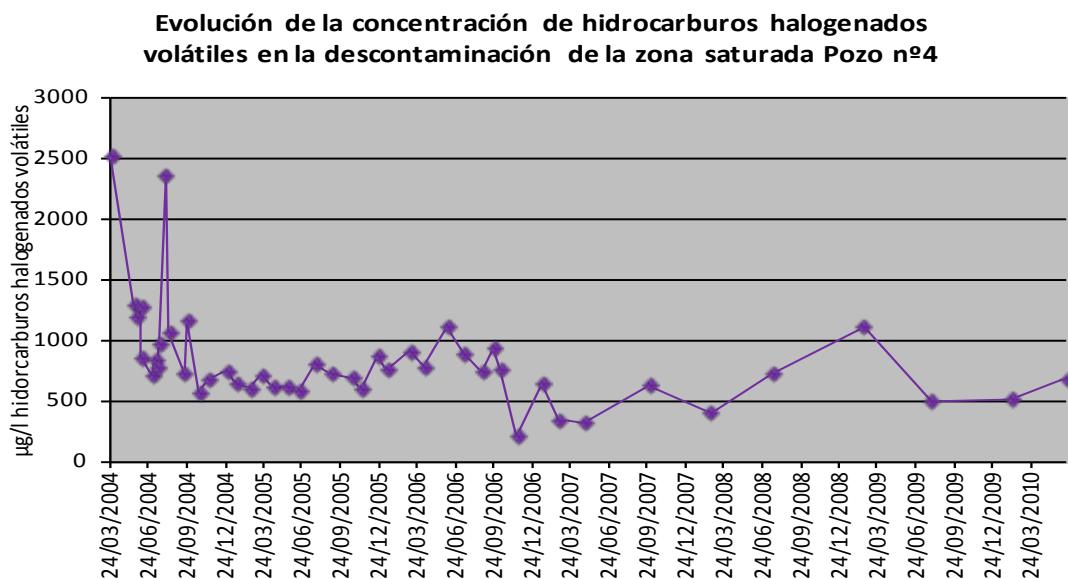


Gráfico 5.7. Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles desde la puesta en marcha del sistema de tratamiento y contención de aguas subterráneas hasta la actualidad en el Pozo Nº 4

Fuente: Elaboración propia. Datos Laboratori Dr. Oliver Rodés – Letka 2.004 - 2.010

En Anexos, Tablas 21 - 22 se pueden observar los resultados de las analíticas del pozo Nº 4, agua antes del tratamiento y después de pasar por el “stripping”. Analizando la tabla 21 de agua no tratada, se observa como pese

a la bajada de la concentración de PCE en todos estos años, parece que la concentración de TCE y 1,2- DCE, cis no sufre cambios significativos. Respecto al agua tratada en el “stripping” se observa como únicamente se ha detectado un análisis con la concentración de contaminantes por encima del valor de intervención (Valor genérico de intervención según ACA: 75 µg/L; utilizado hasta la actualidad Valor intervención - Listas Holandesas: 40 µg/L). Este análisis corresponde al del día 16/01/2007 con positivo en PCE y 1,2-DCE, cis. No se tiene constancia de ningún mantenimiento en especial, aunque en los siguientes análisis se observan resultados por debajo del valor de intervención de las Listas Holandesas.

En la actualidad, en el pozo Nº 4 (sin tratar) se siguen superando los valores de límites de intervención de las Listas Holandesas para el PCE (540 µg/L, Valor intervención Listas - Holandesas: 40 µg/L) y el 1,2-DCE,cis (120 µg/L, Valor Intervención - Listas Holandesas: 20 µg/L).

Análisis realizados en las aguas del entorno

- Pozos de control de agua subterránea (PC)

La inspección estos pozos también ayuda a verificar si la contención de las aguas, dentro de los terrenos de estudio, se está llevando a cabo de manera eficaz.

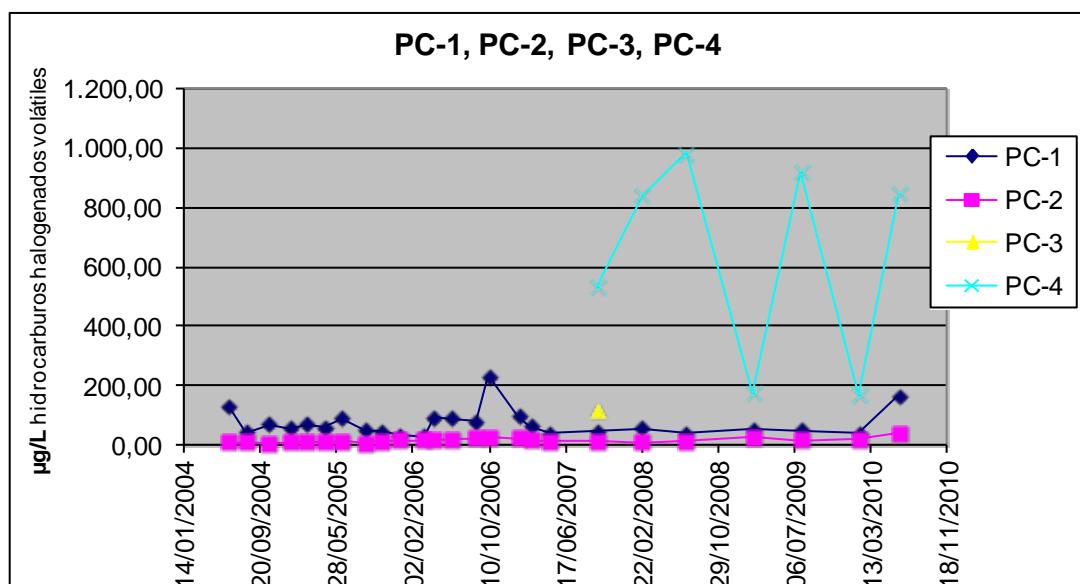


Gráfico 5.8.Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles desde la puesta en marcha del sistema de tratamiento y contención de aguas subterráneas hasta la actualidad en los pozos de agua (PC)

Fuente: Elaboración propia. Datos Letka 2.004 - 2.010

Los pozos de extracción de agua se podrían separar en dos grupos:

- **Pozos realizados como posible soporte al tratamiento de hidrocarburos halogenados en el pozo Nº 4 (PC-1 y PC-2).**

El análisis en los pozos PC-1 y PC2, se está llevando a cabo des de el inicio del tratamiento y contención de la zona saturada.

En el PC-1 no se observa una evolución relevante, manteniéndose, prácticamente siempre por encima del valor de intervención de PCE (ver analíticas en Anexos, Tabla 23). En el último análisis (15/06/2.010), ha vuelto a haber un pico de 160 µg/L y es el segundo análisis con la concentración más alta detectada. De 2.007 a la actualidad, también se están detectando concentraciones de 1,2-DCE, cis, por encima del Valor objetivo.

Los análisis realizados en el PC-2, igual que el PC-1 no parece tener una evolución aparente ni al alza, ni a la baja (ver analíticas en Anexos, Tabla 24). En la última campaña, se ha detectado el pico más alto detectado hasta el momento en las concentraciones de PCE (38 µg/L)

- **Pozos realizados para la caracterización de otros contaminantes** (PC-3: caracterización suelos 1.999, ECA; PC-4: aceites minerales 2.006, Letka). Ver analíticas en Anexos, Tabla 25.

El pozo PC-3, perforado en el estudio de caracterización de suelos de 1.999, se quiso recuperar en 2.007 como punto adicional de control de aguas. Este pozo, finalmente únicamente pudo ser utilizado una única vez el 28/09/2.007 debido a que en febrero de 2.008 por la realización de obras cercanas, quedó obstruido. En la muestra realizada, se observó una capa superficial de aceites sobre el agua. Los resultados de la muestra mostraron un resultado positivo principalmente en 1,2-DCE,cis (96 µg/L). También se detectaron concentraciones inferiores al valor de intervención de TCE y de PCE.

El pozo PC-4 se comenzó a utilizar como punto de muestreo de aguas subterráneas, al igual que el PC-3, el día 28/09/2.007. Des de ese momento se ha analizado semestralmente hasta la actualidad. Los resultados en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles son dispares. Desde septiembre de 2.007 a julio de 2.008 las concentraciones ascendieron de 531,2 µg/L a 984,4µg/L. A partir de ese momento los muestreos realizados en febrero dan resultados del orden de 170 - 180 µg/L y en los muestreos realizados en julio se detectan concentraciones de 920 - 850 µg/L de hidrocarburos halogenados volátiles. El hidrocarburo mayoritario en todos los casos es el 1,2-DCE, cis y se detectan concentraciones de su isómero trans,

de TCE y de PCE, todos estos, mayoritariamente en concentraciones inferiores al valor de intervención.

- Pozos de extracción de aire (VEW)

Los pozos de extracción de aire tienen también una acumulación de agua en su parte más baja. Gracias a esto, los VEW se pueden utilizar, además de para la función principal (descontaminación del suelo de hidrocarburos halogenados volátiles) también para el muestreo de aguas subterráneas.

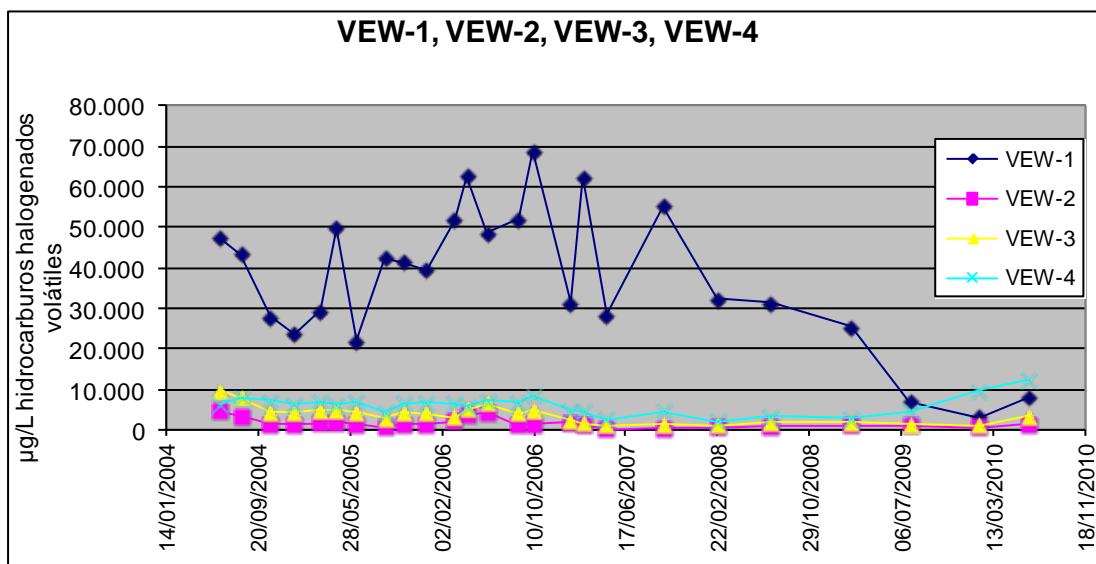


Gráfico 5.9. Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en los pozos de extracción de (VEW) aire desde la puesta en marcha del sistema de tratamiento y contención de aguas subterráneas, hasta la actualidad

Fuente: Elaboración propia. Datos Letka 2.004 - 2.010

En las aguas del pozo VEW-1 se han detectado las concentraciones más altas de todos los puntos de muestreo de aguas (ver Anexos, Tabla 26). El 17/04/2.002, antes de la puesta en marcha del sistema de tratamiento de aguas, se detectó una concentración total de 142.748 µg/L de hidrocarburos halogenados volátiles. Desde 2.004 a octubre de 2.006, hubo un ascenso desde unos 40.000 µg/L a unos 70.000 µg/L de hidrocarburos. A partir de ese momento, pese a fluctuaciones en las concentraciones detectadas entre 2.006 y 2.007, se puede afirmar que ha habido un descenso en las concentraciones hasta valores mínimos de 3.144,6 µg/L en febrero de 2.010. En todos los muestreos realizados el hidrocarburo principal es el PCE y se detectan concentraciones inferiores de TCE, 1,2- DCE, cis y trans, triclorometano y puntualmente diclorometano y 1,1,1-tricloroetano. El único compuesto, además del PCE, que supera el valor de intervención es el 1,2 - DCE, cis y hasta noviembre de 2.006, también el TCE.

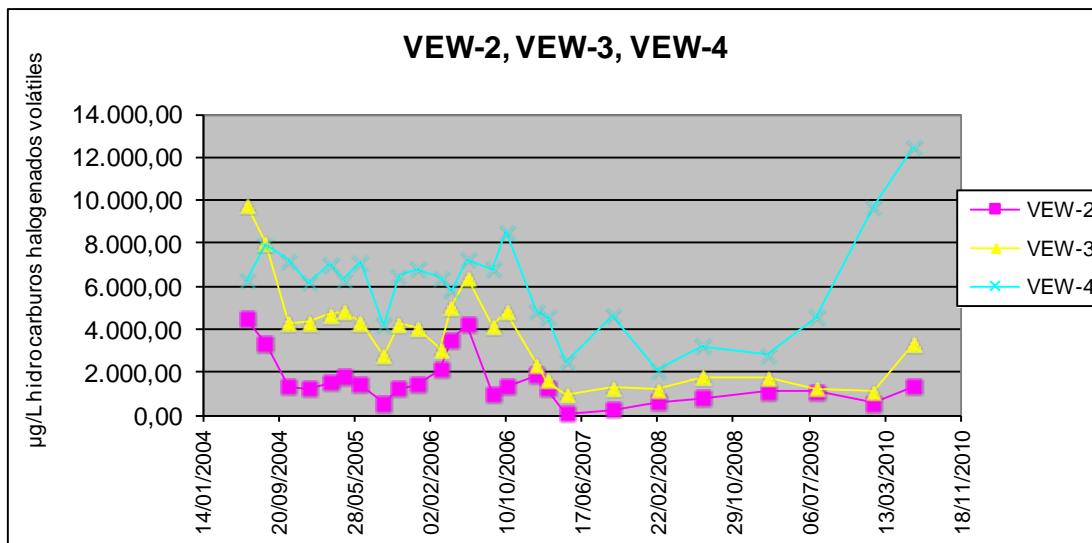


Gráfico 5.10. Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles desde la puesta en marcha del sistema de tratamiento y contención de aguas subterráneas hasta la actualidad en los pozos de extracción de aire VEW-2, VEW-3 y VEW-4.

Fuente: Elaboración propia. Datos Letka 2.004 - 2.010

Los pozos VEW-2 y VEW-3 han tenido un comportamiento muy parecido como se puede ver en el gráfico 5.10 (analíticas: ver Anexos, Tablas 27 y 28). El pozo VEW-2 siempre se ha mantenido con unas concentraciones inferiores a las del pozo VEW-3 ya que este último se encuentra situado en la línea entre el foco de contaminación y el pozo Nº 4. En los dos pozos, a partir de la puesta en marcha del sistema de tratamiento de aguas se detectó un descenso en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles hasta agosto de 2.005. A partir de esta fecha se observa un aumento de las con un pico en las concentraciones de junio de 2.006. Tras este pico, comienza un descenso hasta abril de 2.007 en que se registran las concentraciones más bajas detectadas en estos dos pozos (VEW-2: 71,9 µg/L VEW-3: 997,5 µg/L). En el periodo entre 2.006 y la actualidad, no se detecta una evolución significativa hasta el último análisis de junio de 2.010 en el que se vuelve a detectar un posible ascenso de las concentraciones de hidrocarburos (VEW-2: 1.325 µg/L; VEW-3: 3.311 µg/L). El compuesto principal que se detecta en los dos pozos es el 1,2- DCE, cis. También se detecta el isómero trans de este último, TCE, PCE y en el caso del pozo VEW-3, desde 2.007, esporádicamente, también triclorometano. De todos los compuestos los únicos que normalmente superan el límite de intervención de las Listas Holandesas son el 1,2-DCE, cis y el PCE.

El pozo VEW-4 sigue el mismo patrón que los pozos VEW-2 y VEW-3 hasta inicios de 2.009 pero con concentraciones mayores de contaminante. Esto podría ser debido a la proximidad con el foco de contaminación y a estar situado, igual que el pozo VEW-3, en la línea entre el pozo Nº 4 y el foco de

contaminación. En este caso, el pico detectado en 2.006 se alargó hasta octubre y se llegó a concentraciones de contaminantes de 8.557 µg/L. En febrero de 2.008 se detectó el mínimo detectado en este pozo con 2.116 µg/L y a partir de aquí se detectó un ascenso hasta la actualidad que se ha registrado la mayor concentración de hidrocarburos halogenados volátiles (12.440 µg/L). En este pozo el hidrocarburo mayoritariamente detectado es el PCE hasta julio de 2.009 que aumentó considerablemente la concentración de 1,2-DCE, cis. También se han detectado concentraciones de TCE y desde 2.007 también concentraciones del 1,2-DCE, trans y triclorometano.

- Pozo 5 y Mina 1 de la propiedad colindante aguas abajo.

El pozo 5 es el primer punto de muestreo fuera del cono de depresión creado en el pozo Nº 4. La mina 1 es el primer afloramiento de agua natural a cauce abierto (hasta que se instaló la losa para evitar el acceso).

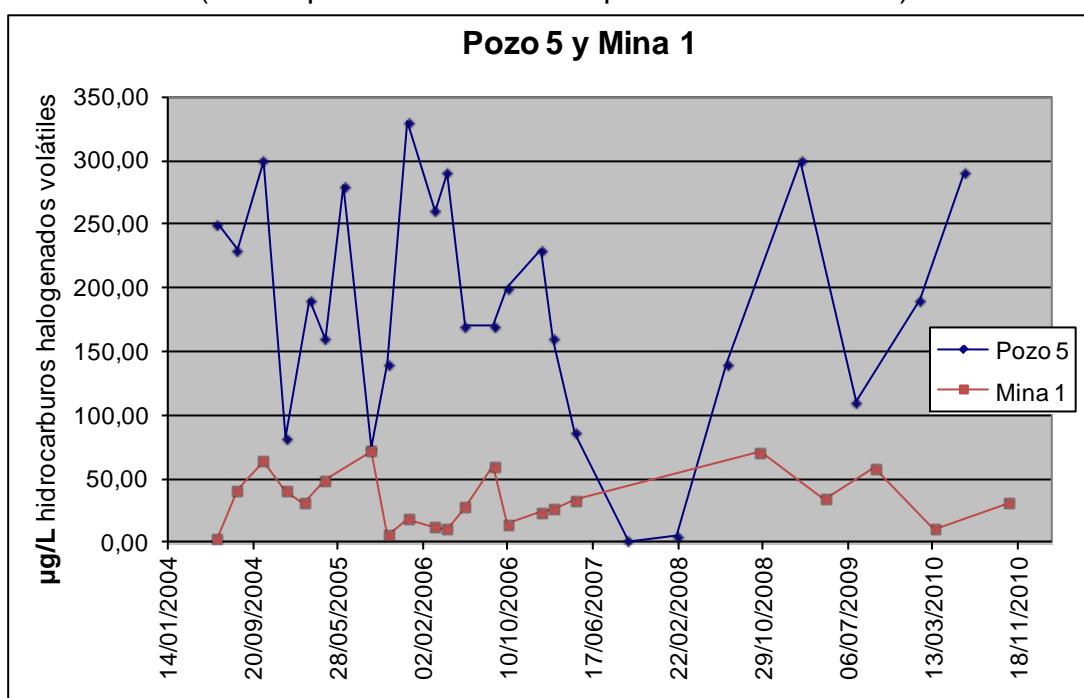


Gráfico 5.11. Evolución en las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en el pozo 5 y la Mina 1 desde la puesta en marcha del sistema de tratamiento y contención de aguas subterráneas, hasta la actualidad.

Fuente: Elaboración propia. Datos Letka 2.004 - 2.010

En el pozo 5, como se puede ver en el gráfico 5.11, la evolución en la concentración de hidrocarburos halogenados volátiles ha sufrido muchos altibajos (ver resultados en Anexos, Tabla 31). La concentración más alta detectada fue en diciembre de 2.005 con valores de 332 µg/L y el más bajo fue detectado en la muestra de septiembre de 2.007 con una concentración de PCE de 1,3 µg/L. La mayoría de los análisis han dado muestras superiores a

75 µg/L y en el último análisis realizado se han detectado concentraciones de 292,2 µg/L de hidrocarburos halogenados volátiles. En este pozo, el contaminante principal es el PCE pese a que también se han detectado concentraciones de TCE, 1,2-DCE, cis y triclorometano puntualmente.

En el caso de la Mina 1, como se puede ver en el gráfico 5.11, la evolución en las concentraciones tampoco tienen una tendencia demasiado clara (ver resultados en Anexos, Tabla 32). La concentración más alta detectada fue en agosto de 2.005 con un valor de 72 µg/L y el más bajo es la primera muestra tomada el día 07/06/2.004 con 3 µg/L. Los resultados han variado mucho, aunque durante 2.004 y 2.005 se detectaron más positivos que en los siguientes años. En el último análisis (21/10/2.010) se ha detectado una concentración de 31 µg/L de hidrocarburos halogenados volátiles, valor inferior al valor de intervención de las Listas Holandesas. En la Mina 1 desde el inicio, únicamente se ha detectado PCE.

- Pozo Nº 1 situado aguas arriba del foco de contaminación

El pozo Nº 1 es el pozo situado, dentro de la zona de estudio, al norte del emplazamiento. Este pozo se muestrea para comprobar que no estén llegando hidrocarburos halogenados volátiles ajenos a la producción de la zona de estudio, como ya paso con el selenio.

A partir de los datos de análisis realizados desde 2.004 (ver Anexos, Tabla 32), se observa como han habido seis muestreos en los que se han detectado hidrocarburos halogenados volátiles. En enero y febrero de 2.007 se detectó concentraciones de 18 y 8,4 µg/L respectivamente de hidrocarburos. El componente principal era el triclorometano aunque se detectó también PCE y 1,2-DCE, cis. Todas las concentraciones detectadas han sido inferiores al valor de intervención de cada uno de los compuestos y en gran parte de los análisis, superiores al valor objetivo de las listas holandesas.

Pese a la detección puntual de hidrocarburos halogenados volátiles en el pozo Nº 1, no se considera que esté habiendo una afección externa de este contaminante.

5.5. Evolución futura de la contaminación según tendencia actual

Zona no saturada

Si se sitúan las concentraciones de hidrocarburos en aire del último análisis, sobre el mapa de la zona (ver figura 5.8), se puede ver como la contaminación está realmente muy focalizada en el pozo VEW-1. Mientras que en este pozo se detectan concentraciones en aire de 270 mg/m^3 a unos 5-10 metros del punto apenas se llega a 1 mg/m^3 .

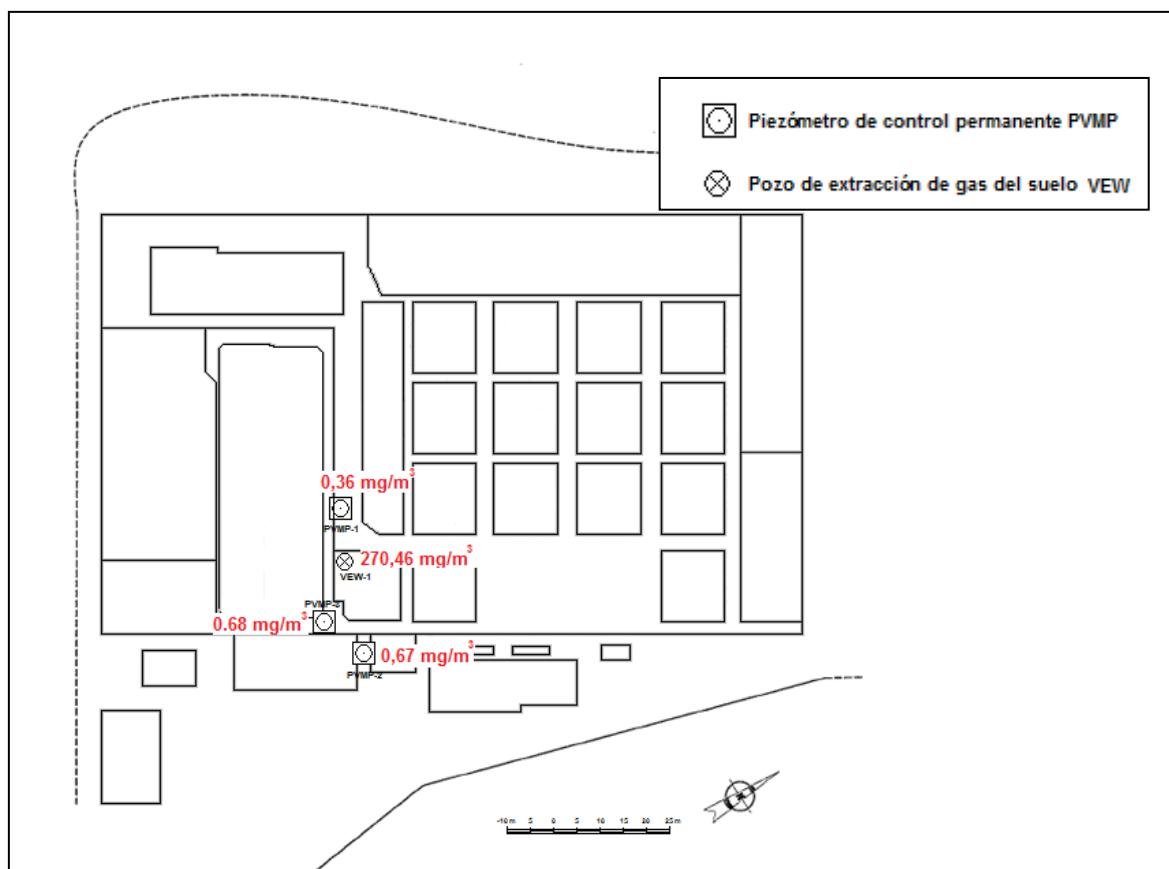


Figura 5.8. Resultados de los análisis de hidrocarburos halogenados volátiles de julio de 2.010 situado sobre el plano de la planta.

Fuente: Elaboración propia. Datos: Letka 27/07/2.010

La evolución en la descontaminación de hidrocarburos halogenados volátiles de los pozos de aire (VEW) ha sido muy positiva. En 2.004 ya se pudo desconectar el VES-2 (almacén de productos químicos) por detectarse concentraciones de hidrocarburos inferiores a 50 mg/m^3 (LAWA). Lo mismo ocurrió en 2.008 con los pozos de VEW-2 y VEW-4. Actualmente se sigue con el tratamiento del aire únicamente del pozo VEW-1 (foco de contaminación) en

el cual se ha detectado en el último análisis (07/2.010) una concentración de 270,46 mg/m³.

La contaminación de la zona no saturada, actualmente se encuentra muy puntualizada en el VEW-1, ya que en los PVMP de los alrededores, las concentraciones detectadas no llegan a 1 mg/m³. Vista la evolución del tratamiento del aire del pozo VEW-1, se espera que en los siguientes meses se alcancen concentraciones inferiores a los 50 mg/m³ y por tanto se pueda dar por saneada por hidrocarburos halogenados volátiles la zona no saturada de las instalaciones. De todos modos, el cierre por completo de los sistemas de extracción de aire del suelo, debería de ir acompañado de un análisis de riesgos para ver si es necesario tomar alguna acción adicional o de seguimiento anterior al cierre.

Zona saturada

El fin de la descontaminación en la zona saturada no parece estar cercana ya que aun se siguen detectando concentraciones muy altas de hidrocarburos halogenados volátiles en la zona entre el foco de contaminación y el pozo Nº 4.

Además de esto, se observa como a medida que las muestras se separan del foco de contaminación, el 1,2-DCE,cis aumenta. Esto significa que está habiendo una degradación anaeróbica natural. Para acabar de ver cual es el compuesto en el que se finaliza la degradación, sería necesario ampliar los análisis también a cloruro de vinilo y si existe la posibilidad a etileno. Además el cloruro de vinilo es un compuesto carcinogénico lo que hace más importante conocer las concentraciones de este compuesto, especialmente en las aguas después del tratamiento del "stripping". En caso de haber concentraciones altas de cloruro de vinilo en el agua sanitaria, se podría generar un riesgo sanitario entre el personal de la empresa, ya que actualmente, este agua se usa como agua de ducha.

En lo que se refiere al cierre del sistema de tratamiento y contención de aguas subterráneas, no se puede concretar una fecha aproximada ya que los gráficos no muestran una evolución clara.

Otro punto a destacar en la limitación al tratamiento de la zona saturada, es el hecho de la imposibilidad de crear nuevos pozos de tratamiento. Esto se debe a que el acuífero no puede aportar cabales suficientes para el tratamiento, como se vio con los pozos PC-1 y PC-2.

Otra opción de remediación es estudiar la aplicación de métodos de bioestimulación o bioaugmentación para que los microorganismos existentes en el suelo pudiesen degradar por completo el PCE hasta etileno. De este

modo se podrían aplicar tratamientos incluso en las zonas en las que el aporte de agua del acuífero fuese muy bajo y por tanto se podría hacer disminuir las concentraciones de hidrocarburos halogenados de manera más uniforme en todo el terreno. Este tratamiento sería especialmente útil para la contaminación incontrolada de los terrenos de la finca colindante. Se debe de recordar que las aguas que se separan del pozo N° 4 no están teniendo ningún tratamiento. Un punto en contra de la aplicación de métodos biológicos, es la falta de madurez de estos tratamientos. Según estudios centrados en estos tratamientos (Urrea, 2.007; EPA, 1.999 web Tech Tree), la eficacia de los métodos de biodegradación de hidrocarburos no se ha comprobado lo suficiente en el campo como para considerar su uso extensivo, por lo menos en hidrocarburos halogenados volátiles.

5.6. Síntesis

- Gestión de la contaminación por PCE en la zona no saturada.

A partir de la implementación de la norma ISO 14.001 y sus requerimientos, se llevó a cabo una auditoría ambiental que hiciera un resumen de los posibles riesgos originados por la gestión ambiental llevada hasta la fecha. En este documento se publicó un mapa en el cual se señalaban una serie de áreas con posible afección, del suelo y las aguas subterráneas, por PCE (Letka, 1.996). Ver figura 5.9.



Figura 5.9. Situación de los sondeos de 1.999 y 2.001 para la caracterización de PCE en suelos y situación de pozos de extracción de aire

Fuente: Modificado deECA 1.999 y Letka 2.001

Siguiendo con las recomendaciones de la auditoría ambiental, en 1.999, se llevaron a cabo 6 sondeos en las zonas de producción con mayor

posibilidad de contaminación (ver Figura 5.9, sondeos en verde). A partir de los muestreos realizados en los cada uno de los sondeos, se detectaron concentraciones de PCE superiores a los valores de intervención de las Listas Holandesas (4 mg/Kg suelo) en 5 de los 6 sondeos. La concentración máxima fue detectada en la zona de desengrase con una concentración de PCE en suelos de 715 mg/Kg (ECA, 1.999).

Tras informar a la ARC de la contaminación detectada, en 2.001, Letka empresa experta en procesos de caracterización y descontaminación de suelos, realizó 24 sondeos más, para caracterizar por completo el alcance de la contaminación por PCE (ver figura 5.9, sondeos en negro). En este estudio, el muestreo se realizó a partir de la extracción del aire intersticial del suelo ya que el PCE al ser un componente volátil, en las muestras directas de suelo se escapa parte del contaminante. Como ni en el RD 9/2.005, ni en las Listas Holandesas existen valores de referencia en muestras de gas del suelo, se utilizó el criterio técnicamente aceptado que considera que concentraciones superiores a 50 mg/m³, frecuentemente, causan afección no aceptable en aguas subterráneas (LAWA, Sociedad Federal de Aguas de Alemania). Aprovechando 4 de los sondeos realizados, se instalaron 4 piezómetros de control permanente (PVMP). Estos PVMP, se realizaron con el fin de facilitar la monitorización y toma de muestras de la zona no saturada en un futuro (Letka, 02/2.001).

Los resultados de los 24 sondeos, dieron a conocer tres posibles focos de contaminación (ver figura 5.3, página 58):

- Zona de desengrase de piezas metálicas: concentraciones superiores a 10.000 mg/m³ de aire.
- Almacén de productos químicos: concentraciones del orden de 2.800 mg/m³ de aire.
- Exteriores frente a central de taladrinas: concentraciones del orden de 9.000 mg/m³ de aire.

Tras los resultados observados, el suelo se declaró, claramente contaminado por PCE. Esto supuso la adopción de medidas correctivas. El método de descontaminación de la zona no saturada propuesto fue el método de *Soil Vapor Extraction*. Este método consiste en el bombeo de aire del suelo a partir de pozos de extracción (VEW) y hacerlos pasar por filtros de carbón activo. Para estos terrenos, hicieron falta 4 pozos de extracción en total: tres pozos (VEW-1, VEW-2 y VEW-4) funcionan a partir de una bomba y un sistema de filtraje (VES-1) y el pozo restante (VEW-3) funciona con otro sistema de bomba y filtraje (VES-2). El VES-1, se encarga de la descontaminación de la zona de desengrase y exteriores y el VES-2 del almacén de productos químicos (Letka, 12/2.001).

El sistema de descontaminación se puso en marcha el día 17/01/2.002 y actualmente se encuentra en una fase muy avanzada de la descontaminación. Durante la extracción de contaminante, todos los pozos VEW tuvieron un comportamiento similar. En los primeros meses de tratamiento, las concentraciones disminuyeron de forma exponencial hasta unas concentraciones muy inferiores a las detectadas inicialmente. A partir de ese momento (1-2 años desde el inicio del tratamiento), la evolución fue más lenta (Ver gráfico 5.12). En los pozos VEW-2, VEW-3 y VEW-4, una vez detectados los primeros resultados inferiores a 50 mg/m³ (VEW-4 en 2.002 y VEW-2 y VEW-3 en 2.008 y 2.005 respectivamente) iniciaron la fase final del saneamiento. Esta fase consiste en alternar períodos de parada y funcionamiento (de 2 semanas a un mes) para concentrar la cantidad de contaminante y a su vez, ver cuál será la carga residual que quedará en el suelo uno vez se pare la extracción de aire por completo. Tras la puesta en marcha de esta fase, el pozo VEW-3, se pudo dar por saneado en junio de 2.004 y los pozos VEW-2 y VEW-4, en marzo de 2.008, lo que dejó únicamente en funcionamiento al pozo VEW-1. En este pozo, la evolución también ha sido muy positiva ya que se han pasado de concentraciones iniciales de 67.832 mg/m³ de hidrocarburos halogenados volátiles a concentraciones en junio de 2.010 de 150 mg/m³ (Letka 2.010). Con estos resultados se espera que en pocos meses, al igual que en el resto de pozos, también se pueda comenzar con la fase final del saneamiento. El cierre final puede encontrarse en unos pocos meses o bien en unos años, todo dependerá de si la evolución sigue a la baja o por lo contrario, si se mantiene por encima de los 50 mg/m³ durante más tiempo.

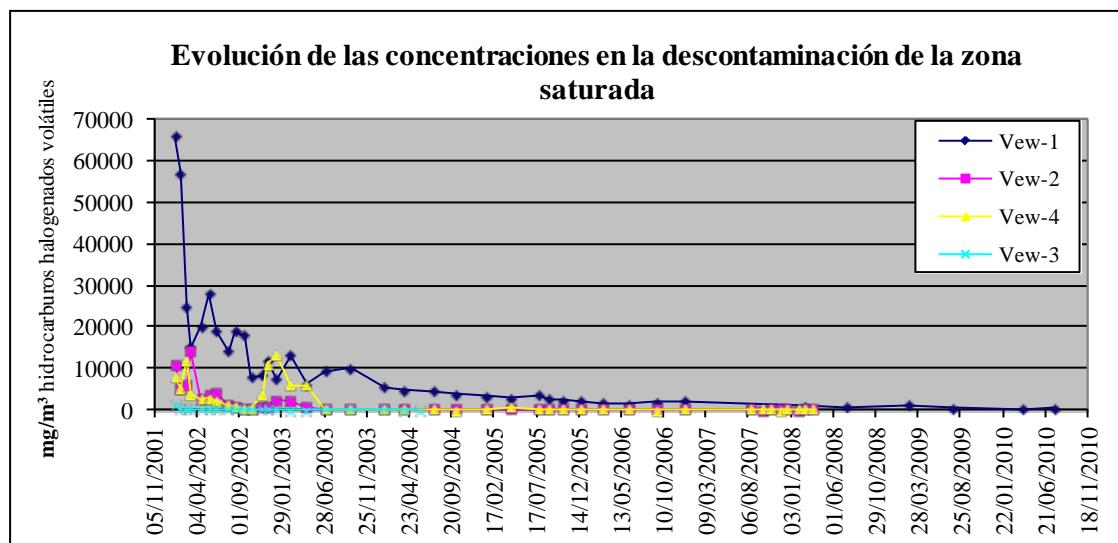


Gráfico 5.12. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en el aire del suelo desde 2.001 a 2.010

Fuente: Elaboración propia, Letka 2.010

- Gestión de la contaminación por PCE en la zona saturada.

En 1.999, tras la detección de PCE en suelos, la empresa de estudio solicitó incluir el análisis de hidrocarburos halogenados volátiles en las muestras periódicas de agua del pozo Nº 4 (ver situación de pozos en Anexos, Plano 9) para ver si la afección detectada en suelos había migrado a la zona saturada. En la primera analítica (18/07/1.999) se detectó una concentración total de hidrocarburos halogenados volátiles de 1.802 µg/L de los cuales 1.145 pertenecían a PCE (Dr. Oliver Rodès, 1.999). En aquel momento, como valor de referencia se utilizó la concentración de 10 µg/L de la suma de PCE y tricloroetileno (TCE, de ahora en adelante). A finales de 2.001, tras seguir con resultados positivos en aguas del pozo Nº 4 se acordó con las administraciones competentes (ACA y ARC) realizar un seguimiento de la contaminación en el pozo Nº 4 y en el pozo de la finca colindante situada aguas abajo pozo 5. No se decidió comenzar con un proceso de descontaminación del acuífero debido a que en ese momento, ya estaba prevista la descontaminación de la zona no saturada y la extracción de agua solo podía facilitar la migración suelo-agua. Así pues se decidió, esperar a que las concentraciones de PCE en suelo disminuyeran para comenzar con la descontaminación de la zona saturada.

Con las primeras analíticas de los pozos situados en la finca colindante, se detectaron concentraciones positivas en el pozo 5 (304 µg/L) y en la Mina 1 (17 µg/L). Tras estos resultados, se solicitó a Letka un método que permitiera a la masía poder utilizar el agua del pozo 5 como agua sanitaria. Se propuso la instalación de filtros de carbón activo los cuales, tras demostrar su eficacia, se realizaron las obras pertinentes. El sistema, hasta el momento, ha funcionado correctamente proporcionando agua con niveles inferiores al valor de intervención de las Listas Holandesas (40 µg/L).

En 2.003, tras haberse observado una disminución considerable de las concentraciones de hidrocarburos volátiles en los pozos de extracción de aire, se comenzaron las labores para la implantación de un sistema de tratamiento y contención en las aguas subterráneas. Los objetivos fijados para el sistema de tratamiento de aguas fueron que, además de la descontaminación del agua subterránea, contuviera en la medida de lo posible, la afección a las aguas de las fincas colindantes. Para conseguir este fin, Letka realizó un estudio de las características físicas e hidrogeológicas del pozo Nº 4 para valorar la opción de utilizarlo como barrera de contención (Letka, 04/2.003). A partir de los trabajos, se observó que el pozo tenía 3 galerías a 12 m de profundidad y de al menos 10 metros de largo. Dos de esas galerías se situaban prácticamente de forma perpendicular al flujo de agua, lo cual junto a las concentraciones de PCE (2.113 µg/L) y a los aportes de agua posibles (2,7 L/s) se consideró al pozo Nº 4 apto para su utilización como barrera de contención de la

contaminación por hidrocarburos halogenados volátiles. De todos modos, se aconsejó la realización de como mínimo, un pozo paralelo al pozo Nº 4 pero situado más al norte que ampliara la barrera de contención en caso de ser necesario.

Entre agosto y septiembre de 2.003, siguiendo las recomendaciones de los trabajos de estudio de las características del pozo Nº 4, se llevó a cabo la construcción de dos nuevos pozos de extracción de agua más. Uno de ellos se realizó tal y como se había recomendado, paralelo al pozo Nº 4 (PC-2) y otro en el foco de contaminación (PC-1), junto al pozo VEW-1. Tras realizarse los trabajos para evaluar la transmisividad ($0,053\text{ m}^2/\text{día}$; muy baja transmisividad), la permeabilidad del acuífero ($0,004\text{ m/día}$; muy baja permeabilidad) y las concentraciones de PCE ($<10\text{ }\mu\text{g/L}$) en cada uno de los pozos, se observó que ninguno de los dos cumplía con los requisitos para permitir un tratamiento eficaz de la zona saturada.

Finalmente y tras la aceptación del ACA y del ARC, se planeó un sistema que únicamente utilizara el pozo Nº 4 como barrera de contención para PCE. Esto se conseguiría creando un cono de depresión realizando un bombeo en continuo que disminuyera la profundidad del nivel freáticos desde su situación cota natural (de -7,5 a -8,5 m, según la estación) a una cota máxima de -11m respecto a la superficie del terreno. La profundidad máxima se fijó a 11m para evitar desperfectos en las paredes de las galerías del pozo Nº 4. El método de tratamiento propuesto se denomina *stripping* y al igual que el tratamiento de suelos, también se basa en la alta volatilidad de los hidrocarburos halogenados a tratar. Este tratamiento utiliza una columna con diferentes bandejas agujereadas donde se hace pasar agua contaminada por la parte superior, mientras que por la parte inferior se inyecta aire, creando un burbujeo en el cual se transmite el contaminante del agua, al aire. El agua una vez tratada tiene dos posibles vías de desguace, un depósito de agua sanitaria para la planta o retorno a la riera, aguas arriba al foco de contaminación. Tras la realización de los trabajos y las pruebas de funcionamiento necesarios, el 15/06/2.004 dio comienzo el bombeo en continuo del pozo Nº 4 para la contención y el tratamiento de PCE de la zona saturada (Letka 2.004).

La evolución de la descontaminación de la zona saturada, está siendo mucho más lenta que en la zona saturada (Ver gráfico 5.7, página 110). En aguas subterráneas se observa como las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles podrían verse influenciadas por las épocas lluviosas o secas. Otro factor a tener en cuenta en las variaciones de concentración es el hecho de que el PCE, al ser más denso que el agua, hace que se movilice además de con el flujo de agua, también por la afección de la gravedad. En el último análisis se detectaron concentraciones de hidrocarburos halogenados de $682,9\text{ }\mu\text{g/L}$ (Letka, 2.010). Durante la evolución de la remediación de la

zona saturada, también se está observando un progresivo aumento de los compuestos de degradación anaeróbica del PCE (PCE a TCE, TCE a 1,2, DCE, cis/trans). El siguiente compuesto de la cadena de degradación anaeróbica tras el 1,2, DCE, cis es el cloruro de vinilo. Este compuesto pese a ser conocida su peligrosidad (cancerígeno tipo 1, IARC, 2011) no se está analizando. En un futuro se podría incluir dentro de las analíticas para tener mayor conocimiento del comportamiento del PCE en el medio y como medida de seguridad según el uso que se esté dando al agua subterránea en las instalaciones (agua sanitaria).

Actualmente, a diferencia del caso de la zona no saturada, en la evolución de la descontaminación de acuíferos no se puede prever una fecha de fin de tratamiento debido principalmente, a los altibajos a los que este medio está sometido. Esto podría significar que la descontaminación de este medio se encuentre todavía en una fase muy poco madura y que necesite más años de tratamiento.

- **Gestión de la contaminación por otros contaminantes.**

- Selenio.

Es muy común que en emplazamientos industriales se detecten contaminaciones de base, ajena a la actividad industrial propiamente dicha. En este caso en particular, a partir de 1.997, se comenzaron a detectar concentraciones de selenio superiores al límite en aguas potables (10 µg/L, según RD 140/2.003 de criterios de sanitarios de la calidad de aguas de consumos) en el pozo Nº 1 (Dr. Oliver Rodès, 1997). Tras presentar denuncia ante la Junta de Sanejament, en junio de 2.006, se condenó a la empresa situada aguas arriba por un delito contra el medio ambiente y a la indemnización a la empresa de estudio por los daños producidos (Sentencia judicial, 2.006). Actualmente la contaminación por selenio en las aguas subterráneas ya se detecta en el pozo en pozo Nº 4 también (concentraciones <500 µg/L,), y las concentraciones en el pozo Nº 1 son del orden de 2.000-1.500 µg/L. Actualmente aun se resta a la espera de implementar un método efectivo que pueda solucionar la contaminación producida.

- Cromo III y cromo VI

En la auditoría ambiental de 1.996, además de los PCE, también se marcó el cromo como un posible contaminante debido al uso en las instalaciones de ácido crómico. Entre 2.003 y 2.005 se llevaron a cabo un total de 14 sondeos en las zonas de trabajo con ácido crómico para la caracterización de este, en el suelo. A partir de los resultados se observó una afección superior a los criterios de calidad del suelo (ARC) por cromo VI (0,1 mg/Kg) en algunas zonas de la capa superficial del suelo (20-60 cm), bajo la

solera de hormigón. Pese a la detección, se concluyó que la exposición personal se podía considerar mínima ya que entre el medio y los trabajadores existía una losa de hormigón y el cromo no es un componente volátil. A su vez, al no detectarse concentraciones de cromo en profundidad se pudo afirmar que el riesgo de migración a las aguas también era muy bajo. Con estas dos afirmaciones se pudo concluir que la afección por cromo no es demasiado grave, aconsejando en caso de obras, el análisis de los suelos para su correcta gestión (Letka, 01/2.003, 07/2.003, 11/2.003, 06/2.004, 02/2.005).

- Aceites minerales

Otro de los posibles contaminantes del suelo, marcado en la auditoría ambiental de 1.996 fueron los hidrocarburos totales del petróleo (TPH o aceites minerales). En un estudio realizado en 1.999 para la investigación de la contaminación por PCE y aceites, se detectaron concentraciones muy altas (13.133 mg/Kg) de TPHs en la zona de la central de taladrinas. Aunque estas concentraciones superaran ampliamente los NGR (50 mg/Kg), la afección por aceites, se dejó pospuesta hasta la presentación del Informe Preliminar de Situación (Letka, 06/2.005). Tras la presentación del IPS, la ARC, solicitó ampliar la caracterización y valorar el estado de esta contaminación. Tras la perforación de 11 sondeos más, en las zona de trabajo y almacenaje de aceites minerales, se observó una afección superficial y en profundidad en la base de la central de taladrinas (volumen total del orden de 74.100 m³ y concentraciones superiores a 12.500 mg/Kg de TPHs). También se detectó afección en las aguas subterráneas cercanas a la central de taladrinas por TPHs de baja movilidad (Letka, 2.006). Tras la realización de un análisis de riesgos se valoró que ninguna de las zonas tenía un riesgo inaceptable debido principalmente al aislamiento de la contaminación con la base de hormigón y a la poca movilidad de los contaminantes. Actualmente únicamente se continúa con la monitorización de las aguas subterráneas para asegurar que la migración de TPHs está siendo muy baja.

6. Medidas de prevención de la contaminación y comparación económica entre los costes de dichas medidas y los costes de la descontaminación

6.1. Descripción de las medidas de prevención de la contaminación

Los costes derivados de un proceso de descontaminación de suelos/aguas subterráneas, como ya se ha comentado con anterioridad, suelen ser muy altos. En algunos episodios, como es el caso de la contaminación de selenio analizado en este proyecto, puede suponer la quiebra de dicha empresa por no poder soportar la inversión económica necesaria para dicho proceso.

En muchos episodios de contaminación de suelos/aguas subterráneas si se hubiese realizado una buena planificación y evaluación de las actividades a desarrollar se podría haber evitado dicha contaminación.

En la zona de estudio, la contaminación por percloroetileno se produjo por falta de información de los peligros que podía suponer el uso de este producto sin las medidas apropiadas de prevención. En el momento de la compra de la maquinaria para el desengrase de piezas metálicas y destilación de PCEs (1.987) ni se conocían, ni se utilizaban más medidas que las que incorporaba la propia máquina para evitar emisiones atmosféricas.

En este apartado se va a llevar a cabo una comparación de los costes reales derivados de todo el proceso de gestión y descontaminación de PCE, en contra de los costes ficticios que se hubiesen derivado de la implantación de medidas de prevención.

Para evaluar los costes de prevención de la contaminación por PCE, primero es necesario conocer la zona de uso de PCE y seleccionar las medidas necesarias para evitar la contaminación del medio. En la auditoría medio ambiental de 1.996 se identificaron cuatro zonas en las que se utilizaba el PCE como recurso:

- Zona de desengrase de PCE (Anexos, Plano 1, punto 1)
- Depósito de destilación de PCE (Anexos, Plano 1, punto 2)
- Almacén de productos químicos y residuos (Anexos, Plano 1, punto 3)
- Antiguo taller de mantenimiento (Anexos, Plano 1, punto 5)

Posteriormente se observó que en la última zona propuesta (Taller de mantenimiento) no se llegó a utilizar el PCE.

Los estudios de caracterización de la zona avalan la afección posterior en los puntos de trabajo con PCE y el almacén de productos químicos. También se observó una afección puntual en el patio exterior, la cual se cree que se debe a un posible vertido accidental.

A partir de estos datos se considera necesario instalar medidas de preventivas de la contaminación por PCE en las dos zonas de trabajo con PCE (máquinas de desengrase y zona de destilado de PCE) y en el almacén de productos químicos.

En el patio exterior no se contempla la implantación de medidas de prevención debido a que sin la información de la caracterización llevada a cabo no se podría haber sabido dicha contaminación. Además, la empresa ya dispone de protocolos de actuación para trabajos/transportes de materiales peligrosos y un plan de autoprotección para casos de vertido. Con estos protocolos/planes, si se siguiesen correctamente sus instrucciones, las posibles fugas o accidentes que pudiesen haber sucedido en las zonas exteriores hubiesen quedado solventado. Así mismo, estos planes contemplan el uso de absorbentes además de tener un equipo de bomberos propio de la empresa preparado para vertidos o accidentes mayores.

➤ **Descripción de las zonas de trabajo con PCE**

Zona de desengrase de piezas y destilador de PCE

La zona de desengrase de piezas metálicas estaba formada por tres máquinas situadas según la Figura 6.1. Cada una de estas máquinas estaba situada directamente sobre hormigón y cada máquina podía contener en su interior 1 m³ de PCE.

En cada una de las máquinas trabajaba un único operario el cual iba incorporando piezas de aluminio sucias en unas bandejas de rejilla que se introducían dentro de la máquina. Una vez se introducían en la máquina se dejaba unos segundos para que se limpiaran con el PCE, tiempo durante el cual el operario vaciaba la bandeja que había sacado anteriormente e iba rellenando la que introduciría posteriormente.

Las máquinas disponían de un sistema de refrigeración que permitía que los gases de PCE generados durante los trabajo, condensaran en la misma máquina, para poder reutilizarse. Periódicamente se cambiaba el PCE de la máquina para llevarlo al destilador. A su vez, anualmente más o menos, el proveedor se llevaba todos los contenedores de PCE (normalmente en el periodo vacacional de verano) y se reponían por contenedores con PCE limpio.

El depósito de destilación de PCE, era, como su nombre indica, un depósito en el cual se iba depositando los residuos generados en las máquinas de desengrase de piezas. Junto al depósito, estaba conectado un destilador que permitía la reutilización del producto. Este tenía una capacidad de 1,6 m³.

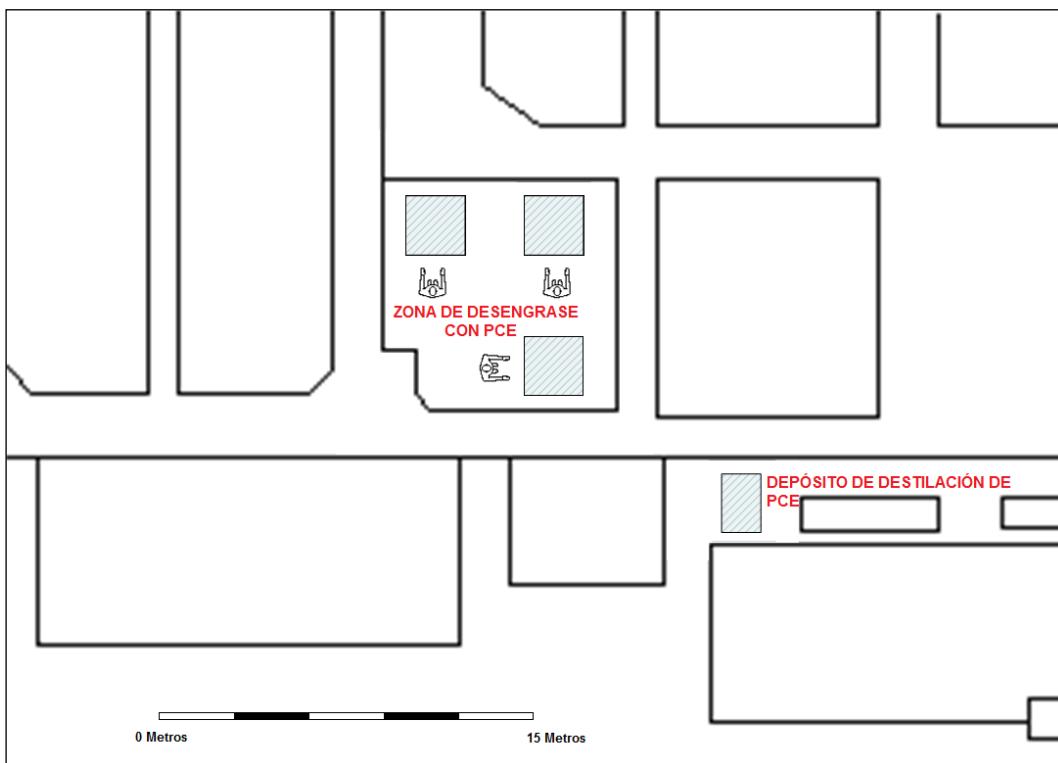


Figura 6.1. Plano de situación de la zona de desengrase con PCE y del depósito de destilación de PCE.

Fuente: Elaboración propia. Plano de base proporcionado por la empresa de estudio.

Almacén de productos químicos y residuos

El almacén de productos químicos es un edificio aislado, situado al sur de la instalación con una medida de 12,83 x 10 metros y una altura de 5 metros. El suelo de esta zona es de hormigón y dispone de un sumidero ciego de 1000 litros que garantiza la seguridad ante posibles derrames (contenedor de mayor volumen individual en el almacén es de 1000 litros).

A su vez, el almacén dispone en tres de sus paredes de estanterías metálicas con cubetos de retención metálicos (Capacidad para 1000 litros cada uno) para el almacenamiento de los productos químicos y residuos utilizados/generados en la planta.

En el almacén los productos se distribuían en las estanterías según las características de las sustancias. En un lado estaban almacenados los productos corrosivos o tóxicos y al otro los productos inflamables o nocivos. Esto facilitaba la identificación de los peligros de los productos y a la vez definía las actuaciones de emergencia en caso de accidente (Figura 6.2).

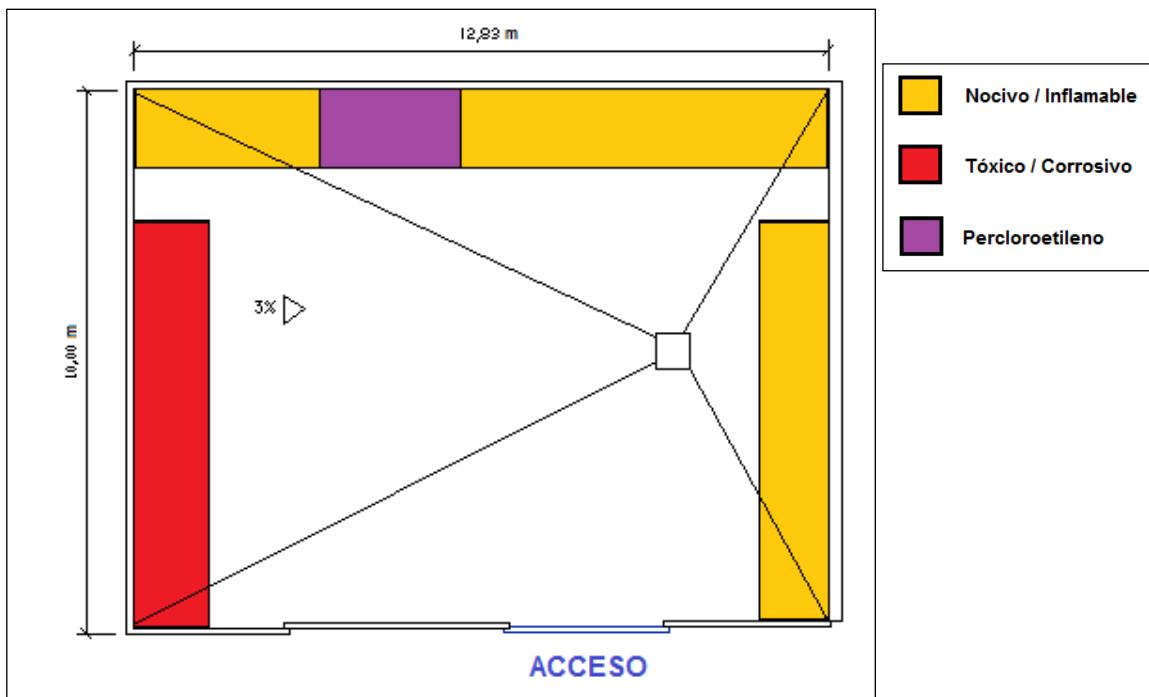


Figura 6.2. Esquema del almacén de productos químicos y situación de los productos almacenados en el.

Fuente: Elaboración propia. Plano de base proporcionado por la empresa de estudio.

➤ **Vías de contaminación del suelo/agua subterránea por PCE**

Una vez se conocen las zonas de trabajo con PCE, es necesario identificar las posibles vías de entrada de PCE al suelo o agua subterránea.

En las máquinas de desengrasar con PCE y en la zona del destilador existen diferentes posibles vías de contaminación. En esta evaluación se ha tenido en cuenta que el PCE ya se ha llevado hasta las máquinas de desengrasar. En la evaluación de almacén de productos químicos y exteriores se valorará este punto.

- Vertidos o goteos en el momento del traspaso desde los bidones de PCE a cada una de las máquinas/destilador.
- Pérdidas de la máquina/destilador debido a un incorrecto funcionamiento.
- Goteos durante la extracción de las piezas ya desengrasadas.
- Vertidos o goteos en el momento del traspaso de PCE de la máquina/destilador a los bidones.
- Accidente o vertido accidental durante el movimiento de bidones desde las máquinas de desengrasar hacia los depósitos de la zona del destilador.

En la zona del almacén de productos químicos y exteriores, la posibilidad de fugas es menos probable ya que en esta zona no se trabaja con PCE sino que únicamente se mueve de una zona a otra. De todos modos estos son las probables vías de entrada de PCE al subsuelo en esta zona:

- F. Llegada del transporte de PCE externo con bidones en mal estado y por tanto goteos o vertidos.
- G. Accidente durante la carga/descarga del transporte del proveedor de PCE – Almacén de productos químicos.
- H. Incendio/accidente en el almacén de productos químicos.
- I. Accidente en el trasiego de bidones por exteriores desde el almacén de productos químicos hasta la máquina de desengrase.
- J. Accidente en el trasiego de bidones por exteriores desde el destilador de PCE hasta el almacén de productos químicos.

En un principio el trasiego de PCE se realizaba en bidones metálicos. El transvase del bidón a la máquina se realizaba a mano con el posible riesgo de goteos y vertidos accidentales que este tipo de trabajos conlleva. Posteriormente, el propio fabricante del producto, cambio el tipo de recipiente a un sistema de contenedor doble antigoteos llamado Safe-Tainer (Figura 6.3)



Figura 6.3. Fotografía del exterior del Safe-Tainer para disolventes clorados (imagen izquierda) y foto del interior con la bomba de traspase conectado.

Fuente: Dow Chemical

Este tipo de contenedor se basa en un bidón convencional, dentro de otro contenedor hermético que hace las funciones de bandeja de retención móvil. A su vez el sistema incorpora todos los acoplos de mangueras

herméticos de acople rápido para facilitar el trabajo. Los vapores expelidos durante el trasvase se devuelven al contenedor a través de una manguera independiente.

Para poder utilizar este tipo de contenedor de PCE en las máquinas, era necesario que cada máquina dispusiera de dos puntos de conexión herméticos para este tipo de contenedor. Uno de ellos era para el contenedor de PCE limpio y otro para el de PCE sucio.

A partir de la implantación del Safe-Tainer (no se tiene una fecha exacta pero según reuniones con los responsables de aquel momento de la zona se fija sobre 1.996 - 1.997) la posibilidad de contaminación durante los trasvases de PCE se disminuyó considerablemente. Con este contenedor solo existían dos posibilidades de fuga:

- Averías en el sistema o mal uso de este (mala conexión de mangueras, poros en ellas...)
- Accidente: rotura de los dos contenedores por una caída o golpe.

➤ **Medidas de prevención de la contaminación por percloroetileno propuestas**

Para definir las medidas de prevención sobre la aplicación, se ha buscado si existía alguna normativa que obligue o legise las medidas a aplicar. Únicamente se ha encontrado un documento vigente, publicado por el Centro Nacional de Condiciones en el Trabajo, en el cual se fijan los métodos de prevención de riesgos higiénicos en cubas de desengrasar con TCE y PCE (Cuscó, 2.011). En este documento se fijan las características técnicas de los sistemas de prevención. Este documento, por tanto, no fija como deben de ser los trabajos realizados fuera de la máquina sino los requisitos mínimos que deben de tener estas, para poder estar en el mercado.

La maquinaria utilizada para el desengrasar de piezas metálicas en la empresa de estudio, disponía de la certificación CE y cumplía con todos los requisitos técnicos para garantizar la seguridad de los trabajadores (especialmente emisiones atmosféricas). Para garantizar el correcto funcionamiento de la instalación, se llevaba a cabo una serie de trabajos de mantenimiento preventivo que consistían básicamente en verificar el buen estado del condensador de vapores situado en el fondo de la cuba de desengrasar.

Las medidas de prevención propuestas para la zona de desengrasar de piezas y la zona del destilador de PCE son las siguientes:

Implantación de cubetas de retención de acero inoxidable bajo todas las máquinas. En la figura 6.4 se puede observar en rojo cual sería la superficie que ocuparían las cubetas de retención. Las cubetas metálicas deben de tener como mínimo la capacidad del mayor recipiente de PCE de la zona en la cual se haya (máquina de desengrasar: 1 m³, Destilador: 1,6 m³). Estas cubetas eliminan la posibilidad de contaminación por pérdidas de la máquina (punto B). Las bandejas deben de ser de mayor tamaño de la máquina bajo la que se haya, como mínimo el ancho de un contenedor Safe-Tainer (64 cm x 64 cm). De esta manera se elimina la posibilidad de contaminación por poner/extrair PCE a las máquinas (puntos A y D) y por los goteos durante la extracción de piezas (punto C). La cubeta diseñada para las máquinas de desengrasar se ha fijado en un tamaño de 3 m x 3 m de superficie por 15 cm de altura y para la del destilador se ha fijado en 3,9 m x 3,6 m x 15 cm respectivamente. El grosor de la chapa de acero inoxidable es de 2 mm. Tanto la cubeta de las máquinas de desengrasar, como las del destilador superan la capacidad máxima de contenido en PCE de cada una de las máquinas (bandeja de la máquinas de desengrasar 1,35 m³ y bandeja del destilador 2,11 m³). Para la valoración económica se ha tenido en cuenta, además de la bandeja propiamente dicha, una revisión mensual de 8 horas por un mecánico de mantenimiento tanto del buen estado de las bandejas de retención, como del correcto funcionamiento de la máquina. El precio de la hora se ha considerado que aumentará un 5 % año, tras año, pese a que probablemente no aumente tanto. Para la instalación de las bandejas también se ha contabilizado el uso de una camión con pluma poder levantar las máquinas y colocarlas sobre las bandejas (en una jornada de 8h se podrían mover las 4 máquinas).

- **Recubrimiento de los alrededores de las zonas de maquinaria y trabajo (incluso debajo de las bandejas de retención) con resina Epoxi** (zona de desengrasar 192 m² y zona de destilador 21 m²). En la figura 6.4 se puede observar en amarillo cual sería la superficie recubierta con resina Epoxi. Esta resina no es válida como barrera por si sola para los vertidos de PCE debido a que este compuesto, en contacto continuo, es capaz de disolverla. Pese a esto, la resina Epoxi es válida para contactos esporádicos como podría ser salpicaduras o accidentes puntuales (Disol Química Industrial, SA, 2010). El recubrimiento también debería de incluir las zonas por la cual hay movimiento de contenedores de PCE por los interiores de la planta. Con esta inversión se minimizarían aun más los riesgos evitados únicamente con las bandejas de retención metálicas. Se disminuirían las posibles contaminaciones derivadas de goteos durante la extracción de piezas de las máquinas (punto B) y también la posibilidad de contaminación del suelo durante el trasiego de contenedores de la

zona de máquinas de desengrase a la del destilador (punto E). Respecto a los costes, se ha tenido en cuenta un mantenimiento de la capa de epoxi de 2 m^2 cada año. El precio para pequeños desperfectos es mayor que una superficie continua (40 €/m^2). El precio del m^2 se ha considerado que aumentará un 5 % año, tras año, pese a que probablemente no aumente tanto.



Figura 6.4. Plano de situación de la zona de desengrase con PCE y del depósito de destilación de PCE con las medidas de prevención de la contaminación por PCE propuestas
Fuente: Elaboración propia. Plano de base proporcionado por la empresa de estudio.

- **Formación sobre buenas prácticas de trabajo entre el personal de mantenimiento y operarios de máquina que trabajan con PCE.** Pese a que con las medidas anteriores, las posibilidades de contaminación disminuirían mucho, se cree necesario que el personal de trabajo de estas zonas, conozca los riesgos y problemas que acarrea el trabajo con PCE. Con esta formación se esperaría que el personal, al conocer los riesgos específicos del producto y del trabajo, estuviera más atento a posibles fugas o funcionamientos incorrectos (puntos A-B-C-D). Con la formación también se esperaría por parte de los trabajadores que a la hora de realizar movimiento de contenedores fuesen más cuidadosos (punto E). Para la valoración económica, únicamente se ha tenido en cuenta la inclusión en las formaciones periódicas a todo el personal de la planta (frecuencia bianual) de un

apartado específico sobre el PCE. Se estima que con 16 horas de trabajo de un estudiante en prácticas sería suficiente.

Las medidas de prevención propuestas para del almacén de productos químicos y exteriores son las siguientes:

- **Formación sobre buenas prácticas de trabajo entre el personal de mantenimiento y operarios de máquina que trabajan con PCE.** Pese a que con las medidas anteriores, las posibilidades de contaminación disminuirían mucho, se cree necesario que el personal de trabajo de estas zonas, conozca los riesgos y problemas que acarrea el trabajo con PCE. Con esta formación se esperaría que el personal, al conocer los riesgos específicos del producto y del trabajo, estuviera más atento a posibles fugas o funcionamientos incorrectos (puntos A-B-C-D). Con la formación también se esperaría por parte de los trabajadores que a la hora de realizar movimiento de contenedores fuesen más cuidadosos (punto E). Para la valoración económica, únicamente se ha tenido en cuenta la inclusión en las formaciones periódicas a todo el personal de la planta (frecuencia bianual) de un apartado específico sobre el PCE. Se estima que con 16 horas de trabajo de técnico ambiental sería suficiente.

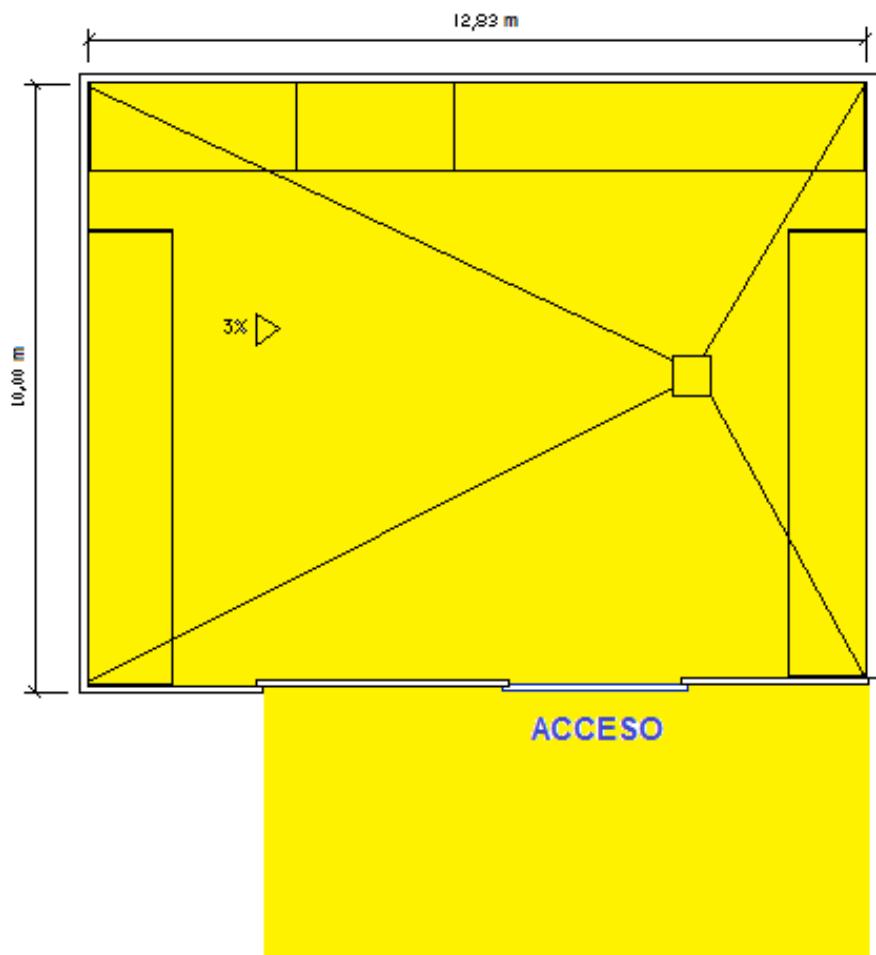


Figura 6.5. Plano de situación del almacén de productos químicos con las medidas de prevención de la contaminación por PCE propuestas

Fuente: Elaboración propia. Plano de base proporcionado por la empresa de estudio.

- **Inclusión de los carretilleros encargados del movimiento de contenedores de PCE en la formación sobre buenas prácticas de trabajo con PCE.** El pintado con resina Epoxi de toda la zona exterior de trasiego de contenedores de PCE, no es posible por peligro de deslizamiento. Esta resina, una vez seca, deja una textura parecida al plástico, que al mojarse puede dar lugar a deslizamientos de las carretillas. La mejor medida, además del tipo de contenedor (doble contenedor del Safe-Tainer), es la formación de los carretilleros para que conozcan los peligros que puede suponer un derrame de PCE para las personas o el medio ambiente. En la formación para los carretilleros se podría hacer hincapié sobre el plan de emergencia para fugas o vertidos importantes. De esta manera, el personal tendría claro cuales son los puntos en los que hay a disposición de las personas materiales absorbentes y cuales son las personas que deben de actuar en caso de emergencia.

6.2. Costes de la descontaminación versus costes de la prevención

En la tabla 6.1 se pueden ver los costes derivados de la gestión de la contaminación de PCE en suelo y agua subterránea desde 2.001 a 2.010. Los datos se encuentran desglosados por zona saturada y no saturada y por la etapa de gestión a la que pertenecen (caracterización, puesta en marcha o seguimiento). Para ver el desglose ver Anexos, Tablas 33 y 34. Las analíticas están incluidas dentro de cada uno de los informes.

Tabla 6.1. Balance de costes totales derivados de los trabajos de caracterización, tratamiento y contención de la contaminación por PCE desde inicio de la gestión (2.000) hasta la actualidad (2.010). Se incluyen los estudio comunes de seguimiento de la zona saturada y no saturada

Fuente: Elaboración propia. Datos: Letka 2.003 – 2.010

Etapa de gestión	Trabajos incluidos	Coste sin IVA	16 % IVA	Total
Zona no saturada				
Caracterización	Estudios de caracterización de la zona no saturada y perforación de pozos	30.123,19 €	4.819,71 €	34.942,90 €
Equipo y puesta en marcha	Compra de los sistemas VES-1 y VES-2, instalación y puesta en marcha	49.140,00 €	7.862,40 €	57.002,40 €
Seguimiento	Informes de seguimiento, compras de carbón activo y mantenimientos varios (se adjunta la mitad del precio de los estudios conjuntos de la zona saturada y no saturada)	166.226,50 €	26.596,24 €	192.822,74 €
Subtotal de la zona no saturada		245.489,69 €	39.278,35 €	284.768,04 €
Zona saturada				
Caracterización	Estudios de caracterización de la zona saturada y perforación de pozos	27.443,50 €	4.390,96 €	31.834,46 €
Equipo y puesta en marcha	Adquisición de “Stripping”, instalación del equipo, ajustes iniciales y puesta en marcha	66.246,40 €	10.599,42 €	76.845,82 €
Seguimiento	Informes de seguimiento, compra de producto antical y mantenimientos varios (se adjunta la mitad del precio de los estudios conjuntos de la zona saturada y no saturada)	82.706,27 €	13.233,00 €	95.939,27 €
Subtotal de la zona saturada		176.359,67 €	28.217,47 €	204.577,22 €
Costes Totales del proceso de descontaminación de PCE en los terrenos industriales		421.849,36 €	67.495,82 €	489.345,26 €

En la tabla 6.2 se pueden ver los costes que hubiesen sido necesarios para la implantación de las medidas de prevención de la contaminación por PCE propuestas anteriormente. Para ver el desglose de cada uno de los medios, ver Anexos, Tablas 35 (bandejas de retención), 36 (Recubrimiento Epoxi) y 37 (Formación PCE).

Tabla 6.2. Balance de costes totales derivados de los trabajos de implantación de las medidas de prevención propuestas.
Fuente: Elaboración propia.

Medio de contención	Precio global	IVA 18%	Precio Neto
Bandejas de retención ¹	28.688,43 €	762,30 €	29.450,73 €
Recubrimiento resina Epoxi ²	8.546,23 €	1.538,32 €	10.084,55 €
Inclusión en la formación periódica a operarios de un apartado específico de buenas prácticas en trabajos con PCE ³	240 €	---	240 €
Costes totales de implantación de los medios de prevención propuestos	37.474,66 €	2.300,62 €	39.775,28 €

¹ Oferta de precios realizada por la empresa Rebel, S.A. Ingeniería Galvánica y Aguas. Personal de mantenimiento sin IVA

² Oferta de precios realizada por Espacios Diáfanos, S.L.

³ Precio de 16 horas de técnico ambiental (15 € hora)

6.3. Valoración

Comparando las tablas 6.1 y 6.2, se observa como los costes derivados de la descontaminación de suelos y aguas (489.345 €) es muy superior a lo que hubiese costado prevenir la contaminación en un inicio (39.633 €). Cabe destacar que los costes de descontaminación de suelos y aguas no son completos ya que aun no se ha dado por saneado ninguno de los dos medios. Es probable que la descontaminación hasta riesgos admisibles de la zona no saturada no se tarde mucho en alcanzar pero para el tratamiento y contención de aguas subterráneas no se pueden dar fechas de fin de tratamiento. Este hecho hace que sea muy probable que los costes de la descontaminación asciendan aun más.

En los medios de prevención, se ha tenido en cuenta, además de la puesta en marcha, los trabajos necesarios para que el medio esté en optimas condiciones durante 10 años que es el mismo tiempo de valoración de costes que se ha tenido en cuenta en la descontaminación (2.001 – 2.010).

Otro punto no contemplado que favorece aun más la prevención de la contaminación respecto a la corrección es el hecho que los precios de prevención son precios actuales que no se han devaluado como si fuesen de 2.001. En el mismo sentido, se ha tenido en cuenta una subida de un 5% anual, tanto del precio de la hora de trabajadores de mantenimiento, como de subida del precio de reparación de un metro cuadrado de suelo con resina Epoxi.

7. Discusión y conclusiones

En este proyecto se ha tenido la oportunidad de ver cual era la gestión de suelos llevada a cabo, anteriormente al desarrollo de la Ley 10/1.998 por el R.D. 9/2.005. En 1.999 con el primer muestreo de la calidad del suelo, la Ley 10/1.998 definió suelo como contaminado como aquel “*cuyas características físicas, químicas o biológicas han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes [...] en concentración tal que comporte un riesgo para la salud humana o el medio ambiente*”. La Ley definía el término de suelo contaminado pero no asignaba un valor medible a partir del cual definir que existía un riesgo inaceptable. No fue hasta la publicación del R.D. 9/2.005 donde se fijan los términos para catalogar a un suelo como contaminado o no contaminado (NGR y Anexos IV). Así todos los estudios realizados con anterioridad a 2.005 utilizaron las Listas Holandesas. Para el caso del nivel de riesgo de la cantidad de aire extraída del suelo, se sigue sin tener ningún nivel español debidamente aceptado, con lo que a día de hoy se sigue utilizando el valor de orientación de la Sociedad Federal de Aguas de Alemania (LAWA).

Tras la publicación del R.D. 9/2.005, además de modificar los niveles de valoración del riesgo, también se obligó a realizar el Informe Preliminar de Situación (IPS). Como repercusiones tras la entrega del IPS a la ARC, pese a no afectar a la gestión llevada a cabo por la afición por hidrocarburos halogenados volátiles, sí reavivó la gestión realizada por hidrocarburos totales del petróleo. Tras una caracterización complementaria a la realizada anteriormente y la realización de un análisis de riesgos, se dio por finalizado el problema de la contaminación por aceites minerales pese a la detección de concentraciones de aceites minerales en suelo del orden de 12.500 mg/Kg (concentración más de 100 veces superior al NGR 50). Únicamente se está llevando a cabo un programa de muestreo periódico para comprobar que no hay migración de aceites en el agua subterránea. En este punto se está incumpliendo el Anexo IV del R.D. 9/2.005 por el cual se debe de declarar un suelo como contaminado directamente cuando se supere en más de 100 veces el NGR. Destacar que en el control periódico de TPHs en aguas, apenas se detecta concentración alguna o bien se detectan concentraciones que no superan el valor de intervención de las Listas Holandesas.

Con la publicación de la Ley 22/2.011 de 28 de Julio, de Residuos y Suelos contaminados y, por tanto, la derogación de la Ley 10/1.998 de Residuos se matiza alguna cuestión como la determinación de los sujetos responsables de la contaminación. En un futuro, se tendrá que ver de que manera afecta este cambio normativo a los responsables de suelos contaminados y que modificaciones deberán de llevar a cabo las Comunidades Autónomas para su aplicación.

En lo que se refiere a la normativa de aguas, de alguna manera, se está en el mismo estado que en la gestión de suelos anterior a 2.005, donde solo estaba publicada la Ley 10/1.998, pero no el decreto que la desarrollara.

Es por esto que también se han utilizado diferentes valores guía para caracterizar las aguas subterráneas durante todo el proyecto. En el caso del PCE, en los análisis iniciales en el pozo Nº 4, se utilizaron los límites marcados por la Directiva 98/83/CE relativa a la calidad de aguas destinadas al consumo humano (10 µg/L de TCE + PCE). En los ensayos de muestreo de pozos de 2.001 se utilizaron los valores de intervención de la Lista Holandesa, los cuales separan los límites por más compuestos (TCE: 500 µg/L, PCE: 40 µg/L, 1,2-DCE,cis/trans: 20 µg/L...). Posteriormente, en septiembre de 2.009, el ACA publicó el documento "*Criteris d'aplicació dels valors genèrics per a la restauració d'aigües subterrànies en emplaçaments contaminants per fonts d'origen puntual*" en el cual, pese a no ser de obligado cumplimiento (Ley, RD...), sí que fija unos valores de referencia para el territorio catalán pactado entre los distintos actores que intervienen en la gestión de aguas subterráneas (empresas, administración, industria...). En el caso del PCE, se encuentran en el grupo IV y se aporta dos valores. Un valor genérico de no riesgo, que es un valor conjunto para PCE, TCE y 1,1-DCE (10 µg/L) y un valor genérico de intervención para cada uno de los compuestos (PCE:75 µg/L, TCE: 50 µg/L, 1,1-DCE: 60 µg/L). En el último informe publicado por Letka, en junio de 2.010 aun no se habían utilizado estos criterios y se seguían utilizando las Listas Holandesas. Si los valores propuestos por el ACA, son valores aceptados por todos los interlocutores necesarios en la gestión de aguas subterráneas, se debería de publicar oficialmente a partir de una normativa. Con la publicación de los criterio como normativa, se conseguiría, al igual que con el R.D. 9/2.005, que se tuviese un criterio común en todo el territorio catalán a la hora de decidir acciones de remediación en aguas subterráneas contaminadas.

En relación a la gestión de hidrocarburos halogenados volátiles llevada a cabo desde el 2.000 hasta 2.010, se puede afirmar que se ha cumplido la normativa en vigor durante todo el periodo de caracterización y descontaminación. En relación a la gestión de los otros contaminantes, tanto el selenio (ajeno a la empresa de estudio), como el cromo (inferior a 100 veces el NGR y con una contaminación muy localizada) también se ha cumplido correctamente la legalidad. El caso de los aceites minerales, como se ha comentado con anterioridad, al haberse superado los NGR en más de 100 veces, según el R.D. 9/2.005 se deberían de haber tomado acciones correctivas para solventar esta contaminación. Hay que destacar que pese a lo que marca el R.D. 9/2.005, en empresas en que se ha demostrado voluntad a la hora de solventar los problemas de contaminación (como es el caso de la empresa de estudio) la administración flexibiliza en cierta medida la toma de acciones correctivas. En el caso de los aceites minerales en esta empresa, pese a no tomar acciones correctivas, se justificó con el análisis de riesgos de 2.006, que no existían riesgos inaceptables para los trabajadores, ni riesgos de migración a las aguas subterráneas. No se descarta que una vez se finalice el proceso de descontaminación por PCE, la administración solicite

trabajos adicionales para la correcta gestión de los aceites minerales en suelos y aguas subterráneas de los terrenos de estudio.

Durante todo este proyecto se ha podido ver como la gestión de unos terrenos contaminados (suelo, acuífero) no es una tarea fácil. Se ha podido observar como la caracterización de un mismo contaminante en diferentes medios, requiere de métodos diversos (sondeos ligeros, mecánicos, muestras de aguas...). Cada uno de los métodos utilizados se definen en función del medio, o el contaminante que se quiere caracterizar, lo que significa que el tipo de trabajos realizados para la caracterización de un contaminante en unos terrenos puede no ser válido en otros terrenos cercanos. A su vez, los métodos de descontaminación utilizados también requieren que se adapten a las características propias del medio (zona saturada, zona no saturada)

La caracterización del subsuelo es una tarea compleja y que a menudo no responde a un esquema sencillo. La heterogeneidad del medio y la falta de información previa a los trabajos dificulta considerablemente este tipo de proyectos de descontaminación. En este proyecto, para realizar el saneamiento de la zona saturada se planificó la extracción de agua a partir del pozo Nº 4 y la realización de dos pozos adicionales; uno de ellos cercano al foco de contaminación (PC-1) y otro al norte del pozo Nº 4 (PC-2) para ampliar el efecto barrera. Tras realizar las perforaciones y realizar ensayos de bombeo se observó como estos pozos no tenían ni el cabal necesario ni la concentración de contaminante suficiente como para ser utilizados como pozo de extracción de PCE. Este tipo de trabajos “prueba y ensayo”, son muy comunes y en muchos casos, pueden hacer incrementar los costes de gestión considerablemente.

Otro factor que difiere de la zona saturada, a la zona no saturada, es la relación entre el contaminante y el medio. Como se ha podido ver en el apartado 5.4, las concentraciones de PCE en agua pueden variar drásticamente en pocos meses mientras que las concentraciones de contaminante en aire extraído del suelo son mucho más estáticas. En las aguas subterráneas se observa como las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles podrían verse influenciadas por las épocas lluviosas y secas. Otro factor a tener en cuenta en las variaciones de concentración es el hecho de que el PCE, al ser más denso que el agua, hace que se movilice, además de con el flujo de agua subterráneo, también por la acción de la gravedad.

Durante el proceso de caracterización y gestión de cada uno de los contaminantes, también se ha podido observar la utilización de diferentes metodologías de muestreo y detección. El muestreo de PCE en la zona no saturada se realiza mediante aspiración del aire intersticial del suelo a partir de tubitos Dräger y bomba manual mientras que en aguas subterráneas el

método es mucho más simple (purgado y toma muestras directas del pozo). Dentro de la detección de PCE en aire, también se han realizado mediciones semicuantitativas. Estas mediciones tienen la cualidad de aportar información in-situ al instante lo cual facilita la toma de decisiones en el sitio propiamente dicho. Las mediciones cuantitativas, en el caso del PCE, pese a tener que mandarse al laboratorio aportan más información y de más precisión, ya que además de las concentraciones exactas, se entrega un desglose de todos los compuestos hallados en la muestra (PCE, TCE...). Este tipo de medición ayuda a conocer que procesos está sufriendo el contaminante original en el suelo o en el agua (proceso de degradación aeróbico, anaeróbico...).

En este caso de contaminación en particular, desde un principio, la empresa gestora de la contaminación de suelos y aguas realizó los estudios encaminados para la implantación del método de tratamiento propuesto desde un principio (suelos: “*Soil Vapor Extraction*”, aguas subterráneas: “*Stripping*”). En la actualidad hay diferentes métodos para el tratamiento de hidrocarburos halogenados volátiles. Actualmente se podría haber llevado a cabo una caracterización más exhaustiva del medio y posteriormente seleccionar la mejor opción técnica y económicamente posible.

En estos momentos existen diferentes técnicas de tratamiento in-situ de PCE e hidrocarburos halogenados volátiles de tipo físico, químico o biológico. Una de las técnicas físicas podría ser la aireación o (*air sparging*) que se trata de una técnica que se basa en la inyección de aire o oxígeno en el interior del medio contaminado. Así la fase gaseosa arrastra el contaminante fuera del medio y posteriormente se trata (Semprini, 1997). Otra técnica física podría ser el tratamiento de movilización y mejora de la solubilización que se aplican como complemento del sistema de bombeo. El objetivo de este método es aumentar la solubilidad y movilidad del contaminante mediante la adición de surfactantes y co-solventes. Tanto los surfactantes biodegradables como los co-solventes son substratos que se ha demostrado que son capaces de estimular la bioremediación del PCE durante el post-tratamiento (Ramsburg, 2.004; Mvarick, 2.003). De tipo químico esta la técnica de oxidación del PCE y el TCE con permanganato de potasio, la cual ha estado ampliamente demostrada en condiciones de laboratorio como en estudios de campo (Schnar, 1.998, Yang y Schwartz, 1.999). Pese a su eficacia, la adición de permanganato puede provocar una bajada de pH y por tanto una movilización de metales pesados en el suelo.

La bioremediación in-situ es una tecnología que se utiliza en mucho campos y contaminantes diferentes. El bajo coste de implementación, la limitada exposición humana durante el tratamiento y el hecho que se eviten excavaciones o transportes de contaminantes la hacen, a priori, la opción más deseada. Estas tecnologías están diseñadas para el tratamiento con bacterias e incluyen la bioestimulación y la bioaugmentación. La bioestimulación se

utiliza cuando la bacteria declaradora ya se encuentra en el medio y se trata, únicamente de facilitar su crecimiento. Se puede conseguir suministrando nutrientes (nitrógeno, fósforo) o bien inyectando donadores de electrones (nitratos, manganeso (IV), hierro (III)...) para poder producir la declaración reductiva. La bioaugmentación se utiliza cuando las poblaciones microbianas necesarias están ausentes, mal distribuidas o en cantidad insuficiente como para alcanzar velocidades de degradación aceptables. (Urrea, E. 2.007).

En lo que se refiere a la evolución de la contaminación por PCE en el suelo y en el agua subterránea, hay que destacar que se ha avanzado de manera substancial en la descontaminación de suelos. Pese a la notable evolución, el fin de la descontaminación de la zona no saturada podría alcanzarse en algunos meses o bien en unos años (1-4 años, se estima). Todo dependerá de si la concentraciones siguen disminuyendo por debajo de 150 mg/Kg o bien si se estabiliza sobre esta concentración. En el caso de las aguas subterráneas, el tratamiento y contención lleva menos tiempo de trabajo que en suelos y la contaminación es mucho más dispersa que en suelos. Otro factor como se ha comentado con anterioridad es la interacción con el medio, mucho más evidente en aguas subterráneas que en suelos.

Si se analiza la evolución de las concentraciones de los diferentes hidrocarburos detectados en las analíticas de aguas subterráneas, se observa como el proceso de degradación anaeróbica es evidente (PCE a TCE y TCE a 1,2-DCE, cis/trans). Para ajustar los datos de análisis en un futuro, sería importante realizar análisis tanto en aguas subterráneas, como en suelos de cloruro de vinilo. Este compuesto es el siguiente subproducto tras el 1,2-DCE,cis/trans en la cadena de degradación anaeróbica. Este compuesto se debería de analizar debido a su peligrosidad (cancerígeno) ya que el agua subterránea podría llegar a ser un incompatible con el uso dado hasta ahora como agua sanitaria. A su vez , otros productos como el diclorometano, el triclorometano o el 1,1,1-Tricloroetano apenas se detectan en suelos y aguas subterráneas. Para no hacer aumentar los costes de las analíticas en exceso, se podría solicitar a la administración la disminución de muestreo de estos compuestos por haber quedado justificada su estabilidad durante casi 10 años. Se podría solicitar un cambio de la periodicidad ya que actualmente es semestral y se podría solicitar un cambio a análisis anuales.

El entorno es otro de los factores importantes a la hora de gestionar casos de contaminación del substituto. En este caso en particular, la fábrica está situada en un entorno agroforestal y únicamente se tiene el selenio como contaminante ajeno a la actividad. En otros entornos como zonas urbanas o polígonos industriales, es muy común la existencia de diferentes contaminaciones de base relacionadas con las actividades desarrolladas en los alrededores. En el caso de la zona de estudio, el hecho de que en el entorno haya muy poca actividad industrial ha facilitado la asignación de un

responsable. En puntos industriales como Poble Nou o la Zona Franca, podría llegar a ser muy difícil demostrar la responsabilidad ante un caso de contaminación.

Los costes de gestión de un episodio de contaminación de suelos y aguas subterráneas como se ha visto son muy altos. En el caso de estudio en concreto, sin haber finalizado el proceso se llevan gastados más de 450.000 €. Dependiendo de los años de tratamiento que se necesiten para sanear lo que queda de suelos y la zona saturada, estos costes podrían ascender considerablemente. Sin embargo los gastos que hubiesen derivado de la implantación de las medidas de prevención propuestas no ascienden ni a 50.000€. Las medidas de prevención, en muchos casos, no tienen porque ser medidas de alto coste o técnicamente complicadas. En este proyecto se han propuesto medidas sencillas, como son bandejas de contención, recubrimientos de superficies y por supuesto, conocimiento entre el personal sobre los peligros derivados del uso de PCE. Por tanto, queda confirmada la suposición inicial de que los costes de remediación suelen ser muy superiores a los costes de prevención.

8. Aspectos formales

Programación

Programación	Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre									
Semanas	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3					
Organización de archivos y búsqueda de información externa		1	2																											
Redacción de introducción, objetivos y marco teórico				1																										
Redacción de la descripción de la zona de estudio					1																									
Redacción caracterización PCE, zona no saturada						1	2	3	4																					
Redacción caracterización PCE, zona saturada							1	2	3	4																				
Redacción gestión otros contaminantes								1	2	3	4																			
Redacción de la evolución de la descontaminación									1	2	3	4		1	2	3														
Redacción de las medidas preventivas de la contaminación										1	2	3	4			1	2	3	4											
Pedido de ofertas a proveedores											1	2	3	4				1	2	3	4									
Pedido de costes de la descontaminación												1	2	3	4					1	2	3	4							
Redacción completa de la valoración económica													1	2	3	4					1	2	3	4						
Redacción discusión y conclusiones														1	2	3	4					1	2	3	4					
Revisión propia de formatos, anexos, planos, bibliografía...															1	2	3	4					1	2	3	4				
1ª Revisión																1	2	3	4					1	2	3	4			
Redacción del artículo																	1	2	3	4					1	2	3	4		
1ª Corrección																	1	2	3	4					1	2	3	4		
2ª Revisión																	1	2	3	4					1	2	3	4		
2ª Correcciones																	1	2	3	4					1	2	3	4		
Aceptación documento final																	1	2	3	4					1	2	3	4		
Impresión y encuadernado de la memoria																		1	2	3	4				1	2	3	4		
Entrega de la memoria final de proyecto																		1	2	3	4				1	2	3	4		
Preparación de la defensa pública																		1	2	3	4				1	2	3	4		
Defensa pública																		1	2	3	4				1	2	3	4		

Presupuesto

	Cantidad	Precio unitario (€/unidad)	Subtotal (€)	Total (€)
Recursos humanos				
Remuneración	Gestión de la documentación proporcionada por la empresa de estudio	50 horas	15 €/hora	750
	Redacción	600 horas	27 €/hora	16.200
	Dirección y tutorización del proyecto	100	51 €/hora	5.100
			TOTAL RECURSOS HUMANOS	22.050
Recursos materiales				
Material de oficina	Impresiones	1.000 DIN-A4	0,10 €/copia	100
	Encuadrado	4	4€/unidad	16
	CD-Rom	3	2€/unidad	6
	Material diverso oficinas			30
			TOTAL RECURSOS MATERIALES	152
Desplazamientos				
Dietas		125	8 €/día	1.000
Transporte	Moto (depósito semanal)	25 depósitos	12€/depósito	300
			TOTAL DESPLAZAMIENTOS	1.300
Costes fijos				
Local oficina		6 meses	320 €/mes	1.920
Amortización del material		10 % del total		2.542
			TOTAL COSTES FIJOS	4.462
COSTE TOTAL PROYECTO				
			Total Bruto	27.964
			IVA 18%	5.034
			TOTAL NETO	32.998

Bibliografía

Normativa:

- Ley 10/1.998, de 21 de abril, de Residuos.
- Ley 22/2.011, de 28 de Julio, de Residuos y Suelos contaminados
- Real Decreto 09/2.005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.
- Real Decreto 140/2.003, de 7 de febrero, por el cual se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- Decreto 130/2.003 de la Generalitat de Catalunya, de 13 de maig, pel qual s'aprova el Reglament dels serveis públics de sanejament
- Guía Técnica de aplicación del Real Decreto 09/2.005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. Ministerio de Medio Ambiente (05/2.007).
- Decisión 2.455/2.001/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de noviembre de 2.000, por el que se aprueba la lista de sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas y por la que se modifica la Directiva 2.000/60/CE.
- Directiva 1.998/83/CE del consejo, de 3 de noviembre de 1.998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.
- Directiva 2.000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2.000, por el que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas
- Directiva 2.006/118/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2.006, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.

Documentación realizada específicamente para la evaluación de la calidad del suelo de dicho estudio:

- 21/01/1.996. *Environmental site assessment.* Letka.
- 16/04/1.999. Estudio de caracterización de la potencial contaminación en el subsuelo de las instalaciones. ECA.

- 1.999-2.010. Analíticas de aguas pozos. Dr Oliver Rodès.
- 16/08/2.000. Informe de los Resultados de los análisis realizados en muestras de terreno y de agua extraídas en las instalaciones. Ricardo Carsí SL. Estudios geológicos y geotécnicos. Sondeos-perforaciones.
- 09/2.000. Estudio de la calidad del suelo de las instalaciones. ERM España SA.
- 03/10/2.000. Oferta para investigación de suelos. Letka.
- 09/2.001. Estudio de la calidad del suelo de las instalaciones. ERM España.
- 08/02/2.001. Investigación de suelos en los terrenos industriales. Letka
- 25/05/2.001. Oferta para el saneamiento de la zona no saturada de los terrenos industriales. Letka.
- 16/07/2.001. Oferta para un estudio de investigación y caracterización del subsuelo en las instalaciones. ECA.
- 16/10/2.001. Estudio de investigación y de caracterización de la potencial presencia de contaminación en el suelo de las instalaciones. ECA.
- 05/12/2.001. Investigación de saneamiento de la zona no saturada en los terrenos de las instalaciones. Letka.
- Technical Description. (Descripción técnica del equipo de descontaminación de suelos).
- 06/02/2.002. Informe resumen de las diferentes investigaciones llevadas a cabo en los terrenos industriales. Letka.
- 03/05/2.002. Saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 1º Informe de Avance (Enero – Abril 2.002). Letka.
- 14/08/2.002. Saneamiento de la zona no saturada en los terrenos de industriales. 2º Informe de Avance (Mayo-Julio 2.002). Letka.
- 08/11/2.002. Saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 3º Informe de Avance (Agosto- Octubre 2.002). Letka.

- 30/01/2.003. Caracterización de los terrenos de la línea de anodizado y planta de tratamiento físico químico. Letka.
- 04/02/2.003. Saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 4º Informe de Avance (Noviembre- Enero 2.003). Letka.
- 04/02/2.003. Resumen de Saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 1º Informe de Resumen (Enero 2002- Enero 2.003). Letka.
- 08/04/2.003. Trabajos de reconocimiento hidrogeológico del pozo de abastecimiento Nº 4 en los terrenos industriales. Letka.
- 08/05/2.003. Saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 5º Informe de Avance (Febrero – Abril 2.003). Letka.
- 03/06/2.003. Propuesta de actuaciones de recuperación de la zona saturada en los terrenos industriales. Letka.
- 23/07/2.003. Saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 6º Informe de Avance (Mayo – Junio 2.003). Letka.
- 23/07/2.003. Caracterización de los terrenos de la línea de galvanizado (La 002). Letka.
- 28/08/2.003. Construcción de pozos y muestreo de agua subterránea para el saneamiento de la zona saturada en los terrenos industriales. Letka.
- 10/10/2.003. Saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 7º Informe de Avance (Julio – Septiembre 2.003). Letka.
- 11/11/2.003. Muestreo de pozos de agua subterránea. Letka.
- 17/11/2.003. Caracterización de los terrenos de una línea de galvanizado (La 0005). Letka.
- 11/02/2.004. Saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 8º Informe de Avance (Octubre – Diciembre 2.003). Letka.
- 11/02/2.004. Informe resumen de las diferentes investigaciones llevadas a cabo en los terrenos industriales. 2º Informe Resumen (enero 2.003-Enero 2.004). Letka.

- 27/04/2.004. Saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 9º Informe de Avance (Enero – Marzo 2.004). Letka.
- 07/04/2004. Manual de operaciones y descripción del sistema de contención y tratamiento de agua subterránea. Letka.
- 07/06/2.004. Caracterización de los terrenos de dos líneas de galvanizado (La 003-La 004). Letka.
- 08/06/2.004. Plan de control y seguimiento de las aguas subterráneas de los terrenos industriales. Letka.
- 30/07/2.004. Saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 10º Informe de Avance (Abril – Junio 2.004). Letka.
- 27/08/2.004. Contención y tratamiento del agua subterránea en los terrenos industriales. 1º Informe de avance (Junio -Agosto 2.004). Letka.
- 22/10/2.004. Saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 11º Informe de Avance (Julio – Septiembre 2.004). Letka.
- 13/12/2.004 Contención y tratamiento del agua subterránea en los terrenos industriales 2º Informe de avance. (Septiembre- Noviembre 2.004). Letka.
- 28/02/2.005. Caracterización de los terrenos de una línea de anodizado (La 006). Letka
- 03/02/2.005. Saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 12º Informe de Avance (Noviembre 2004- Enero 2005). Letka.
- 03/02/2.005. Resumen de saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 3º Informe Resumen (Enero 2.004-Enero 2.005). Letka.
- 14/03/2.005. Contención y tratamiento del agua subterránea en los terrenos industriales. 3º Informe de avance (Septiembre - Diciembre 2.004). Letka.
- 31/05/2.005. Contención y tratamiento del agua subterránea en los terrenos industriales. 4º Informe de avance (Enero – Marzo 2.005). Letka.

- 15/06/2.005. Saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 13º Informe de Avance (Enero – Mayo 2.002). Letka.
- 15/06/2.005. Informe Preliminar de Situación, según lo establecido en el Real Decreto 9/2.005, de las instalaciones. Letka.
- 20/09/2.005. Contención y tratamiento del agua subterránea en los terrenos industriales. 5º Informe de avance (Abril -Julio 2.005). Letka.
- 28/11/2.005. Contención y tratamiento del agua subterránea en los terrenos industriales. 6º Informe de avance (Agosto - Octubre 2.005). Letka.
- 10/01/2.006. Saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 14º Informe de Avance (Enero – Abril 2.002). Letka.
- 10/01/2.006. Continuación de saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 4º Informe Resumen (Enero 2005 - Enero 2006). Letka.
- 22/03/2.006. Contención y tratamiento del agua subterránea en los terrenos industriales. 7º Informe de avance (Noviembre - Febrero 2.004). Letka.
- 12/06/2.006. Saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 15º Informe de Avance (Enero – Mayo 2.006). Letka.
- 28/06/2.006. Contención y tratamiento del agua subterránea en los terrenos industriales. 2º Informe anual (Julio 2.005 – Junio 2.006). Letka.
- 07/08/2.006. Investigación detallada de la calidad del suelo respecto a aceites minerales en las instalaciones. Letka.
- 28/09/2.006. Contención y tratamiento del agua subterránea en los terrenos industriales. 8º Informe de avance (Junio 2.006 – Agosto 2.006). Letka.
- 17/01/2.007. Continuación de Saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 5º Informe resumen (Enero 2.006 - Enero 2.007). Letka.
- 05/02/2.007. Contención y tratamiento del agua subterránea en los terrenos industriales. 9º Informe de avance (Septiembre 2.006 - Enero 2.007). Letka.

- 29/05/2.007. Contención y tratamiento del agua subterránea en los terrenos industriales. 3º Informe Anual (Junio 2.006 - Abril 2.007). Letka.
- 30/07/2.008. Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones. (Enero 2.007- Julio 2.008). Letka
- 20/08/2.009. Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.008 – Julio 2.009). Letka.
- 25/08/2.010. Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 – Julio 2.010). Letka.

Otros documentos:

- 1.962. Silent spring. Carson, Rachel. Ed. Biblioteca de Bolsillo
- 1.970. A Study of Soil Science. Dr. Foth, Herry D. Ed. LaMotte Chemical
- 1.981. Transport and fate selected organic pollutants in a sandy soil. J.T. Wilson, C.G. Enfield, W.J. Dunlap, R.L. Cosby, D.A. Foster y L.B. Boskin.
- 1.984. Pozos y acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. Instituto Geológico y Minero de España
- 1.992. TCE removal from contaminated soil and ground water. H.H. Rusell, J.E. Mathews y G.H. Sewell.
- 1.993. Desorption of trichloroethylene in aquifer material: rate limitation at the grain scale. Grathwohl, P; Reinhard, M. Environ. Sci. Technol, 27.
- 1.994. Ficha internacional de seguridad química del Selenio. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- 1.997. Strategies for the aerobic co-metabolism of chlorinated solvents. Semprini, L. Current Opinion in Biotechnol, 83.
- 1.998. Laboratory and controlled field experiments using potassium permanganate to remediate trichloroethylene and perchloroethylene

- DNAPLs in porous media. Schnar,M.; Truax, C; Farquhar, G; Hood, E; Gonullu, T; Stickney, B. J. Contam. Hydrol. 29.
- 1.999. Monitored Natural Attenuation of Chlorinated Solvents. United States, Environmental Protection Agency (EPA)
 - 1.999. Oxidative degradation and kinetics of chlorinated ethylenes by potassium permanganate. Yang, Y.E; Schwartz, F.W. J. Contam. Hydrol, 37.
 - 1.999. Propuesta para la revisión de los valores de intervención para hidrocarburos del petróleo sobre la base de las fracciones de los hidrocarburos del petróleo. National Institute of Public Health an the Environment, Holanda.
 - 2.003. Field evaluation of the solvent extraction residual biotreatment technology. Mvarik, S.C.; Sillan, R.K.; Wood, A.L.; Sewell, G.W. Environ. Sci. Technol. 37.
 - 2.004. Stimulated microbial reductive dechlorination following surfactant treatment at the Bachman Road Site. Ramsburg, C. A; Abriola, L.M; Penell, K.D; Löffler, F. E; Gamache, M; Amos, B.K; Petrovskis, E.A. Environ. Sci. Technol, 38.
 - 2.005. Comisión Europea. European Union Risk Assessment Report. PCE. S.J. Munn, R. Allanou, K. Aschberger, F. Berthault, O. Cosgrove, M. Luotamo, S. O'Connor, S. Pakalin, A. Paya-Pérez, G. Pellegrini, S. Scheer, B. Schwarz-Schulz, S. Vegro.
 - 2.006. Sentencia judicial sobre el caso de Selenio.
 - 2.008. Restauració d'aqüífers contaminats per fonts d'origen puntual. Agència Catalana de l'Aigua.
 - 2.007. Biodegradació d'hidrocarburs alifàtics clorats per fongs ligninolítics. Marco Urrea, Ernest. Universitat Autònoma de Barcelona
 - 2.007- Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Ortiz Bernad, I; Sanz García, J; Dorado Valiño, M; Villar Fernández, S. Circulo de innovación en tecnologías medio ambientes y energía (CITME), Universidad de Alcalá de Henares.
 - 2.009. Estudi de la desadsorció del pirè amb diferents surfactants en tres sòls artificials / Rodríguez i Escales, Paula Felicitat; Folch i Sancho, Albert; Vicent i Huguet, Teresa; Universitat Autònoma de Barcelona.

- 2.009. Criteris d'aplicació dels valors genèrics per a la restauración d'aigües subterràries en emplaçaments contaminants per fonts d'origen puntual. Agència Catalana de l'Aigua.
- 2.009. Protocol d'actuació en episodis de contaminació d'aigües subterrànies per fonts d'origen puntual. Agència Catalana de l'Aigua.
- 2.009. Voces del Planeta. Pozas Terrados, Pedro. Ed. Aebius
- 2.010. Ficha Técnica Duramax Epoxi. Disol Química Industrial, S.A.
- 2.010. Estat actual de la gestió de sòls i aqüífers contaminats a Catalunya. Doménech i Paituví (ARC)
- 2.011. Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1-102. International Agency Research Cancer.
- 2.011. Exposición a organoclorados en estudio EPIC-España. Agudo, Antonio; Institut Català d'Oncologia.
- 2.011. Ficha internacional de datos de seguridad química del Tetracloroetileno (percloroetileno). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- 2.011. NTP 190: Cubas de desengrase con TCE y PCE. Prevención de riesgos higiénicos. Cuscó Vidal, J.M; Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Criterios provisionales de calidad del suelo de Cataluña (Junta de Residus), Cromo III y VI

Recursos web

<http://www.cpeo.org/techtree> . Center for Public environmental Oversight (CPEO)

http://www.atsdr.cdc.gov/es/es_index.html Agency for toxic Substance & Disease Registry. USA Government

Acrónimos y terminología básica

Acrónimos

- **ACA:** Agència Catalana de l'Aigua.
- **ARC:** Agència de Residus de Catalunya.
- **DDT:** 1,1,1-Tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)etano.
- **EPA:** United States Environment Protection Agency.
- **HCF:** Hidrocarburos del petróleo según sus fracciones.
- **IARC:** International Agency Research Cancer.
- **ICC:** Institut Cartogràfic de Catalunya.
- **LAWA:** Sociedad Federal de Aguas de Alemania.
- **NGR:** Nivel Genérico de Referencia.
- **PAHs:** Hidrocarburos policíclicos aromáticos.
- **PCB:** Policlorobifenilos.
- **PCE:** Percloroetileno / tetracloroetileno.
- **PEAD:** Polietileno de alta densidad.
- **PIMEC:** Petita i Mitjana empresa de Catalunya.
- **TCE:** Tricloroetileno.
- **VGI:** Valor genérico de Intervención.
- **VGNR:** Valor Genérico de No Riesgo.

Terminología básica

Actividades potencialmente contaminantes del suelo (APC de ahora en adelante): aquellas actividades de tipo industrial o comercial en las que, ya sea por el manejo de sustancias peligrosas ya sea por la generación de residuos, pueden contaminar el suelo. A los efectos del RD 9/2005, tendrán consideración de tales las incluidas en los epígrafes de la Clasificación Nacional de Actividades Económicas según el Real Decreto 1.560/1.992, de 18 de diciembre, por el que se aprueba la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE-93), modificado por el Real Decreto 330/2.003, de 14 de marzo, mencionadas en el anexo I, o en alguno de los supuestos del artículo 3.2. (R.D. 9/2.005).

Disolvente orgánico halogenado: todo disolvente orgánico que contenga al menos un átomo de bromo, cloro, flúor o yodo por molécula. (R.D. 117/2.003).

Nivel genérico de referencia (NGR de ahora en adelante): la concentración de una sustancia contaminante en el suelo que no conlleva un riesgo superior al máximo aceptable para la salud humana o los ecosistemas y calculada de acuerdo con los criterios recogidos en el anexo VII del R.D. 9/2.005. (R.D. 9/2.005).

Nivel freático: línea imaginaria que separa la zona saturada y la zona no saturada de agua en un suelo.

Riesgo: probabilidad de que un contaminante presente en el suelo entre en contacto con algún receptor con consecuencias adversas para la salud de las personas o el medio ambiente.

En términos de protección de la salud humana, se asume que para sustancias cancerígenas, una situación de riesgo aceptable es aquella en que la frecuencia esperada de aparición de cáncer en la población expuesta no excede en uno por cada cien mil casos; para sustancias con efectos sistémicos, se asume como una situación de riesgo aceptable aquella en que, para cada sustancia, el cociente entre la dosis de exposición a largo plazo y la dosis máxima admisible es inferior a la unidad.

En términos de protección de los ecosistemas, se asume como una situación de riesgo aceptable aquella en que, para cada sustancia, el cociente entre el nivel de exposición, expresado como concentración, y el umbral ecotoxicológico, definido por la concentración máxima para la que no se esperan efectos sobre los ecosistemas, es inferior a la unidad. (R.D. 9/2.005).

Suelo: la capa superior de la corteza terrestre, situada entre el lecho rocoso y la superficie, compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos y que constituye la interfaz entre la tierra, el aire y el agua, lo que le confiere capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso. No tendrán tal consideración aquellos permanentemente cubiertos por una lámina de agua superficial. (RD 9/2005).

Suelo contaminado: aquel cuyas características han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes químicos de carácter peligroso de origen humano, en concentración tal que comporte un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente, y así se haya declarado mediante resolución expresa. (RD 9/2.005).

Zona no saturada : zona del suelo en la que el espacio entre partículas no se encuentra al 100% lleno de agua.

Zona saturada: zona del suelo en la cual el espacio que hay entre las partículas se encuentra cubierto al 100% por agua.

Anexos

Tablas

Tabla 1. Resultados obtenidos en las mediciones semicuantitativas durante los ensayos de extracción

Fuente: Investigación de saneamiento de la zona no saturada en los terrenos de las instalaciones. Letka.

Fecha: 05/12/2.001

VEW-1			
Medición de PCE (ppm)			
1/2 hora	1 hora	4 horas	15 horas
>300	>300	>300	>300

VEW-2			
Medición de PCE (ppm)			
1/2 hora	1 hora	4 horas	17 horas
>300	>300	>300	>300

VEW-3			
Medición de PCE (ppm)			
1/2 hora	1 hora	4 horas	9 horas
220	220	220	200

VEW-4			
Medición de PCE (ppm)			
1/2 hora	1 hora	4 horas	12 horas
>300	>300	>300	>300

Tabla 2. Caudales de salida y coeficientes de extracción a partir de mediciones semicuantitativas realizadas "in situ"

Fuente: Investigación de suelos en los terrenos industriales. Letka.

Fecha: 05/12/2.001

	Ensayos de extracción			
	VEW-1	VEW-2	VEW-3	VEW-4
Velocidad de aire extraído (m/s)	10	11,5	15,85	12,9
Caudal de salida (m ³ /h)	70,7	81,3	109,6	91,2
Medición de PCE al final de extracción (ppm)	>300	>300	200	>300
Coeficiente de extracción (kg/h)	>0,146	>0,168	0,151	>0,189

Tabla 3. Concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en pozo Nº 4 en las analíticas de agua

Fuente: Elaboración propia. Datos analíticas Dr Oliver Rodés

Fecha 18/07/1.999 a 21/12/2.004

Fecha	Tratamiento o no tratamiento	Tricloretileno	tetracloretileno	Tetracloroetileno + tricloretileno Límite 10	1, 2-Dicloroetano Límite 3	1,2 dicloreteno-t	1,2 dicloreteno-c	1,1,1-tricloretoano	tetraclorometano	1,2-Dicloropropano	c-1,3-Dicloropropeno	1,1,2,2-tetracloroetano	1,3-Diclorobenceno	1,4-Diclorobenzeno	1,2-Diclorobenzeno	1,3,5-Triclorobenzene	1,2,4-Triclorobenzene	1,2,3-Triclorobenzene	Hexaclorbutadieno
18/07/1.999	No tratada	116	1.145	1.261	<3	<5	<5	541	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
24/07/2.000	No tratada	28	1.291	1.319	<3	<5	<5	254	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
17/07/2.001	No tratada	75	4.500	4.575	<3	<5	<5	1.800	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
23/11/2.001	No tratada	30	1.500	1.530	<3	<5	<5	750	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
19/12/2.001	No tratada	155	>10.000	>10.000	<3	<5	<5	1.360	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
13/03/2.002	No tratada	129	4.350	4.479	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
21/08/2.002	No tratada	15	570	585	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
16/10/2.002	No tratada	30	982	1.012	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
07/11/2.002	No tratada	31	895	926	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
21/03/2.003	No tratada	35	387	422	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
25/06/2.003	No tratada	32	1.322	1.354	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
05/09/2.003	No tratada	20	1.206	1.226	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
17/12/2.003	No tratada	<3	1.571	1.571	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
11/03/2.004	No tratada	22	2.435	2.458	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
02/06/2.004	No tratada	9	1.072	1.080	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
09/09/2.004	No tratada	16	879	895	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
21/12/2.004	No tratada	20	656	676	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3

Aplicación de la Directiva 98/83/CE del Consejo de 3 de noviembre de 1.998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano

A partir del 31/12/2003, aplicación del Anexo I del Real Decreto 140/2.003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano

Tabla 4. Concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en pozo número 5 en las analíticas de agua

Fecha	Tratamiento o no tratamiento	Tricloroetileno	tetracloroetileno	Tetracloroetileno + tricloroetileno Límite 10	1, 2 Dicloroetano Límite 3	1, 2 dicloroeteno-t	1, 2 dicloroeteno-c	1, 1, 1-tricloroetano	tetraclorometano	1, 2-Dicloropropano	c-1, 3-Dicloropropeno	1, 1, 2, 2-tetracloroetano	1, 3-Diclorobenceno	1, 4-Diclorobenzeno	1, 2-Diclorobenzeno	1, 3, 5-Triclorobenzeno	1, 2, 4-Triclorobenzeno	1, 2, 3-Triclorobenzeno	Hexaclorobutadieno
Pozo número 5 (µg/l)																			
23/11/2.001	No tratada	1	75	76	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
19/12/2.001	No tratada	2	300	302	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
17/01/2.002	No tratada	3	272	275	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
Puesta en marcha del sistema de depuración del agua con filtros de carbón activo.																			
24/01/2.002	No tratada	<3	158	158	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
	Tratada	<3	<3	<10	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
20/02/2.002	No tratada	<3	193	193	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
	Tratada	<3	162	162	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
01/03/2.002	No tratada	<3	8	8	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
	Tratada	<3	6	6	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
06/03/2.002	No tratada	<3	3	3	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
	Tratada	<3	2	2	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
14/03/2.002	No tratada	<3	<3	<10	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
	Tratada	<3	<3	<10	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
13/03/2.002	No tratada	<3	5	5	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
	Tratada	<3	4	4	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
09/08/2.002	No tratada	<3	89	89	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
	Tratada	<3	3	3	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
07/11/2.002	No tratada	<3	101	101	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
	Tratada	<3	3	3	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
21/03/2.003	No tratada	<3	151	15	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
	Tratada	<3	12	12	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
25/06/2.003	No tratada	3,6	271	274	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
	Tratada	<3	13	13	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
05/09/2.003	No tratada	<3	517	517	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
	Tratada	<3	13	13	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
17/12/2.003	No tratada	<3	558	558	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
	Tratada	<3	17	17	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
11/03/2.004	No tratada	<3	831	831	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
	Tratada	<3	63	63	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
02/06/2.004	No tratada	<3	642	642	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
	Tratada	<3	178	178	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
09/09/2.004	No tratada	<3	593	593	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
	Tratada	<3	<3	<10	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
21/12/2.004	No tratada	<3	21	21	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
	Tratada	<3	<3	<10	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	

Aplicación de la Directiva 98/83/CE del Consejo de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano

A partir del 31/12/2003, aplicación del Anexo I del Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano

Tabla 5. Concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en pozo número 3 en las analíticas de agua

Fuente: Elaboración propia. Datos analíticas Dr. Oliver Rodés

Fecha: 19/12/2001 al 21/12/2004

Fecha	Tricloretíleno	tetracloretíleno	Tetracloroetíleno + tricloroetíleno	Límite 10	1, 2 Dicloroetano	Límite 3	1,2 dicloreto-t	1,2 dicloreto-c	1,1,1-tricloroetano	tetraclorometano	1,2-Dicloropropano	c-1,3-Dicloropropeno	1,1,2,2-tetracloroetano	1,3-Diclorobenceno	1,4-Diclorobenceno	1,2-Diclorobenceno	1,3,5-Triclorobenceno	1,2,4-Triclorobenceno	1,2,3-Triclorobenceno	Hexaclorobutadieno
Pozo número 3 (µg/l)																				
19/12/2001	<3	4	4	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
17/01/2002	<3	2	2	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
13/03/2002	<3	1	1	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
07/11/2002	<3	1	1	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
25/06/2003	<3	<3	<10	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
17/12/2003	<3	<3	<10	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
11/03/2004	<3	<3	<10	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
02/06/2004	<3	<3	<10	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
09/09/2004	<3	21,7	21,7	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
21/12/2004	<3	<3	<10	<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	

Aplicación de la Directiva 98/83/CE del Consejo de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano

A partir del 31/12/2003, aplicación del Anexo I del Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano

Tabla 6 . Concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en la Mina 1 en las analíticas de agua

Fuente: Elaboración propia. Datos analíticas Dr. Oliver Rodés

Fecha: 23/11/2.001 al 21/12/2.004

Fecha	Tricloretíeno	tetracloretíeno	Tetracloroetíeno + tricloroetíeno	Límite 10	1, 2 Dicloroetano	Límite 3	1,2 dicloreteno-t	1,2 dicloreteno-c	1,1,1-tricloroetano	tetraclorometano	1,2-Dicloropropano	c-1,3-Dicloropropeno	1,1,2,2-tetracloroetano	1,3-Diclorobenceno	1,4-Diclorobenceno	1,2-Diclorobenzeno	1,3,5-Triclorobenzeno	1,2,4-Triclorobenzeno	1,2,3-Triclorobenzeno	Hexaclorobutadieno
Mina 1 (µg/l)																				
23/11/2.001	<3	2	2		<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
19/12/2.001	<3	17	17		<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
13/03/2.002	<3	16	16		<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
09/08/2.002	<3	38	38		<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
21/03/2.003	<3	24	24		<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
25/06/2.003	<3	30	30		<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
05/09/2.003	<3	66	66		<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
17/12/2.003	<3	61	61		<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
11/03/2.004	<3	45	45		<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
02/06/2.004	<3	11	11		<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
09/09/2.004	<3	41	41		<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
21/12/2.004	<3	34	34		<3	<5	<5	<3	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	

Aplicación de la Directiva 98/83/CE del Consejo de 3 de noviembre de 1.998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano

A partir del 31/12/2.003, aplicación del Anexo I del Real Decreto 140/2.003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano

Tabla 7. Concentraciones de hidrocarburos totales del petróleo (TPH) en muestras del suelo (mg/Kg)
 Fuente: Investigación detallada de la calidad del suelo respecto a aceites minerales en las instalaciones. Letka.
 Fecha:07/08/2.006

Localización		Nº en Figura 5,1	Nivel Genérico de Referencia (Anexo IV, RD 9/2.005)	Punto de muestro	Muestra Tomada (metros)	Tipología del material	Parámetro (TPHs) (mg/Kg)		
Central de taladrinas	Base del foso de la central de taladrinas	12	50	SL-1	0,3 - 0,4	Limos	73		
	Cubeto de la central de taladrinas				13 - 1,5	Limos arenosos	<10		
	Zona de ácidos de la central de taladrinas				2,5 - 2,7	Limos arenosos	23		
	Almacén de productos químicos y aceites			SL-2	1,3 - 1,5	Limos	1.124		
	Depósito aéreo de gasoil/Almacén de productos químicos y aceites				2,5 - 2,7	Limos	11.000		
	Antiguo surtidor de gasoil			SL-3	0,3 - 0,4	Limos arenosos	2.583		
	Zona de calderas	11			1,5 - 1,7	Limos arenosos	620		
	Inmediaciones de la central de taladrinas				2,8 - 3,0	Limos arenosos	<10		
	Aguas abajo de la central de taladrinas	12		SL-4	0,3 - 0,5	Limos arenosos	<10		
				SL-5	0,3 - 0,5	Limos	<10		
				SL-6	0,3 - 0,5	Limos	<10		
				SL-7	0,3 - 0,5	Limos	55		
					1,3 - 1,5	Limos	<10		
				SM-1	0,3 - 0,5	Limos	400		
					7,0 - 7,5	Limos	<10		
					9,3 - 9,6	Gravas finas	12.520		
					10,5 - 11	Limos y arenas	<10		
				SM-2	0,4 - 0,6	Limos arcillosos	1.000		
					8,0 - 8,2	Limos	<10		
				SM-3	0,3 - 0,5	Gravas	210		
					7,2 - 7,4	Limos	14		
					10,1 - 10,3	Gravas finas	90		
					10,5 - 11,0	Limos y arenas	<10		
				SM-4	0,5 - 0,7	Limos y arcillas	<10		
					7,0 - 7,5	Limos	<10		
					8,8 - 9,0	Gravas	5.640		
					9,8 - 10,0	Gravas	1.200		
					10,5 - 11,0	Limos y arenas	32		
				PC-4	0,4 - 0,6	Limos arcillosos	<10		
					10,0 - 10,2	Gravas finas	<10		

Tabla 8. Concentraciones de hidrocarburos totales del petróleo según sus fracciones (HCF) en muestras de suelo (mg/Kg)

Fuente: Investigación detallada de la calidad del suelo respecto a aceites minerales en las instalaciones. Letka.

Fecha: 07/08/2.006

Localización	Nº en Figura 5,1	Punto de Muestreo	Parámetros (Hidrocarburos del petróleo según fracciones)							
			<C5-C6	<C6-C8	<C8-C10	<C10-C12	<C12-C16	<C16-C35	<C35-C40	
		Valor de intervención propuesto ¹	28	99	27	155	52,17	-*	-*	
Central de taladrinas	12	Base del foso de la central de taladrinas	SL-1 (0,3-0,4)	<1	<1	<10	<10	<10	63	10
			SL-1 (1,3-1,5)	<1	<1	<10	<10	<10	<10	<10
			SL-1(2,5-2,7)	<1	<1	<10	<10	<10	23	<10
		Cubeto de la central de taladrinas	SL-2(1,3-1,5)	<1	<1	<10	<10	85	950	89
		Zona de ácidos de la central de taladrinas	SL-3 (0,3-0,4)	<1	<1	<10	<10	13	2.200	370
			SL-3 (1,5-1,7)	<1	<1	<10	<10	<10	520	100
		Inmediaciones de la central de taladrinas	SM-1(9,3-9,6)	<1	<1	<10	<10	1.600	10.000	920
			SM-1 (10,5-11)	<1	<1	<10	<10	<10	<10	<10
			SM-2 (8,0-8,2)	<1	<1	<10	<10	<10	<10	<10
			SM-3 (10,5-11)	<1	<1	<10	<10	<10	74	16
			SM-4 (8,8-9)	<1	<1	<10	<10	820	4.400	420
			SM-4 (10,5-11)	<1	<1	<10	<10	<10	32	<10

-* El resultado del análisis de riesgos para la salud humana según el cálculo del valor de intervención resultante de la evaluación de esta fracción hidrocarbonada asumiendo una ingesta diaria de suelo de 150 mg indica que no existe riesgo para la salud.

¹ Valor de intervención propuesto por la Propuesta para la revisión de los valores de intervención para hidrocarburos del petróleo sobre la base de las fracciones de los hidrocarburos del petróleo, 1.999. *National Institute of Public Health an the Environment*, de Holanda

Tabla 9. Concentraciones de hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH) en muestras del suelo (mg/Kg)
 Fuente: Investigación detallada de la calidad del suelo respecto a aceites minerales en las instalaciones. Letka.
 Fecha: 07/08/2.006

Parámetro (PAHs)	Nivel de Referencia (Anexo IV RD 9/2.005)		Localización	
			Inmediaciones de la central de taladrinas	
			Punto muestreo	
	x1 (mg/Kg)	x100 (mg/Kg)	SM-1 (9,3 - 9,6)	SM-4 (8,8 - 9)
Naftaleno	10	1.000	<0,05	0,13
acenaftileno	---	---	<0,05	<0,05
Acenafteno	100	10.000	<0,05	<0,05
Fluoreno	100	10.000	0,06	0,05
Fenanreno	---	---	0,08	0,1
Antraceno	100	10.000	<0,05	<0,05
Fluoranteno	100	10.000	<0,05	<0,05
Pireno	100	10.000	<0,05	<0,05
Benzo(a)antraceno	20	2.000	<0,05	<0,05
Criseno	100	10.000	<0,05	<0,05
Benzo(b)fluoranteno	20	2.000	<0,05	<0,05
Benzo(k)fluoranteno	100	10.000	<0,05	<0,05
Benzo(a)pireno	2	200	<0,05	<0,05
Indeno (1,2,3,cd)pireno	30	3.000	<0,05	<0,05
Dibenzo(ah)antraceno	3	300	<0,05	<0,05
Benzo(ghi)perileno	---	---	<0,05	<0,05
Total	---	---	0,14	0,28

Tabla 10. Concentraciones de hidrocarburos totales del petróleo (TPH) en muestras de agua subterránea (mg/l)
 Fuente: Investigación detallada de la calidad del suelo respecto a aceites minerales en las instalaciones. Letka.
 Fecha: 07/08/2.006

Localización	Nº en Figura 5,1	Punto de muestreo		Parámetro (TPHs)
		Lista Holandes (V. Objetivo)	Lista Holandes (V. Intervención)	
Antigua zona de desengrase de PCE	1	VEW-1		0,089
Central de taladrinas	12	VEW-2		3,3
		PC-3		506,03
		PC-4		0,2
Aguas abajo de la central de taladrinas	---	Pozo nº4		<0,1
		PC-2		<0,1

Tabla 11. Concentraciones de hidrocarburos totales del petróleo (TPH) según sus fracciones en muestras de agua subterránea (mg/l)

Fuente: Investigación detallada de la calidad del suelo respecto a aceites minerales en las instalaciones. Letka.

Fecha: 07/08/2.006

Localización	Nº en Figura 5,1	Punto de Muestreo	Parámetros (Hidrocarburos del petróleo según fracciones)						
			<C5-C6	<C6-C8	<C8-C10	<C10-C12	<C12-C16	<C16-C35	<C35-C40
Antigua zona de desengrase de PCE	1	VEW-1	<0,01	0,013	0,076	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Central de taladrinas	12	VEW-2	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	3,1	0,2
		PC-3	0,029	<0,02	0,41	3,6	63	410	29

Tabla 12. Concentraciones de hidrocarburos totales del petróleo (TPH) en muestras de agua subterráneas

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka.

Fecha:25/08/2.010

Punto de muestreo	Fecha	TPHs (mg/l)
Lista Holandesa (Valor Objetivo)		0,05
Lista Holandesa (Valor de Intervención)		0,6
Pozo N°4	12/04/2.006	<0,1
	26/04/2.007	<0,1
	28/09/2.007	0,06
	21/02/2.008	<0,1
	17/07/2.008	<0,1
	19/02/2.009	<0,1
	29/07/2.009	<0,1
	04/02/2.010	<0,1
	16/06/2.010	0,03
VEW-1	12/04/2.006	nd
	28/09/2.007	nd
	21/02/2.008	nd
	17/07/2.008	nd
	19/02/2.009	nd
	29/07/2.009	nd
	04/02/2.010	nd
	16/06/2.010	0,03
VEW-2	12/04/2.006	3,3
	28/09/2.007	0,06
	21/02/2.008	0,2
	17/07/2.008	nd
	19/02/2.009	nd
	29/07/2.009	nd
	04/02/2.010	nd
	16/06/2.010	0,21
VEW-3	28/09/2.007	0,06
	21/02/2.008	nd
	17/07/2.008	nd
	19/02/2.009	nd
	29/07/2.009	nd
	04/02/2.010	nd
	16/06/2.010	0,03
VEW-4	28/09/2.007	0,06
	21/02/2.008	nd
	17/07/2.008	nd
	19/02/2.009	nd
	29/07/2.009	nd
	04/02/2.010	nd
	16/06/2.010	0,03
PC-1	28/09/2.007	0,06
	21/02/2.008	nd
	17/07/2.008	nd
	19/02/2.009	nd
	29/07/2.009	nd
	04/02/2.010	nd
	16/06/2.010	0,03

Punto de muestreo	Fecha	TPHs (mg/l)
Lista Holandesa (Valor Objetivo)		0,05
Lista Holandesa (Valor de Intervención)		0,6
PC-2	12/04/2.006	nd
	28/09/2.007	0,06
	21/02/2.008	nd
	17/07/2.008	nd
	19/02/2.009	nd
	29/07/2.009	nd
	04/02/2.010	nd
	16/06/2.010	0,04
	12/04/2.006	505,6
PC-3	28/09/2.007	0,15
	12/04/2.006	0,2
	26/04/2.007	nd
	28/09/2007	0,06
	21/02/2.008	nd
	17/07/2.008	nd
	19/02/2.009	nd
	29/07/2.009	nd
	04/02/2.010	nd
PC-4	04/02/2.010	nd
	16/06/2.010	0,03
	28/09/2.007	0,06
	21/02/2.008	nd
	17/07/2.008	nd
	19/02/2.009	nd
	29/07/2.009	nd
	04/02/2.010	nd
	16/06/2.010	0,02
POZO N°1	28/09/2.007	0,06
	21/02/2.008	nd
	17/07/2.008	nd
	19/02/2.009	nd
	29/07/2.009	nd
	04/02/2.010	nd
	16/06/2.010	0,02

Tabla 13. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en muestras de gas del suelo a partir del pozo de extracción VEW-1, VES-1 (mg/m³)

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka. Fecha: 25/08/2.010

Fecha	VEW-1								Total
	Diclorometano	1,2-Dicloroeteno, cis	1,2-Dicloroeteno,trans	Triclorometano	1,1,1-Triclorometano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	
Valor límite establecido (LAWA) 50 mg/m³									
12/11/2.001	nd	14,00	6,40	8,60	3,40	0,20	1.800,00	66.000,00	67.832,60
05/02/2.002	nd	45,00	nd	8,00	2,00	nd	410,00	57.000,00	57.465,00
26/02/2.002	nd	39,00	nd	4,00	1,00	nd	200,00	25.000,00	25.244,00
12/03/2.002	nd	23,00	nd	2,00	nd	nd	79,00	15.000,00	15.104,00
18/04/2.002	nd	17,00	nd	1,00	nd	nd	87,00	20.000,00	20.105,00
17/05/2.002	nd	17,00	nd	1,00	nd	nd	77,00	28.000,00	28.095,00
12/06/2.002	nd	11,00	nd	nd	nd	nd	54,00	19.000,00	19.065,00
23/07/2.002	nd	5,00	nd	nd	nd	nd	36,00	14.000,00	14.041,00
19/08/2.002	nd	6,00					29,00	19.000,00	19.035,00
19/09/2.002	nd	nd	nd	nd	nd	nd	25,00	18.000,00	18.025,00
15/10/2.002	nd	nd	nd	nd	nd	nd	17,00	7.800,00	7.817,00
20/11/2.002	nd	1,70	nd	0,40	0,20	nd	18,00	8.200,00	8.220,30
09/12/2.002	nd	nd	nd	nd	nd	nd	23,00	12.000,00	12.023,00
10/01/2.003	nd	nd	nd	nd	nd	nd	14,00	7.400,00	7.414,00
28/02/2.003	nd	nd	nd	nd	nd	nd	17,00	13.000,00	13.017,00
25/04/2.003	nd	nd	nd	nd	nd	nd	12,00	6.100,00	6.112,00
01/07/2.003	nd	nd	nd	nd	nd	nd	11,00	9.200,00	9.211,00
29/09/2.003	nd	nd	nd	nd	nd	nd	11,00	10.000,00	10.011,00
27/01/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	6,00	5.400,00	5.406,00
05/04/2.004	nd	nd	nd	nd	0,20	nd	4,60	4.700,00	4.704,80
19/07/2.004	nd	nd	nd	nd	0,20	nd	4,00	4.500,00	4.504,20
04/10/2.004	nd	nd	nd	nd	0,20	nd	4,10	3.700,00	3.704,30
19/01/2.005	nd	nd	nd	nd	0,20	nd	4,20	3.300,00	3.304,40
18/04/2.005	nd	nd	nd	nd	0,10	nd	42,00	2.900,00	2.942,10
26/07/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5,00	3.600,00	3.605,00
30/08/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,00	2.500,00	2.503,00
19/10/2.005	nd	nd	nd	nd	0,10	nd	2,60	2.200,00	2.202,70
20/12/2.005	nd	nd	nd	nd	0,10	nd	2,20	2.000,00	2.002,30
10/03/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,10	1.500,00	1.502,10
05/06/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,40	1.300,00	1.302,40
12/09/2.006	nd	nd	nd	nd	0,10	nd	2,40	1.900,00	1.902,50
22/12/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,40	2.100,00	2.102,40
21/02/2.008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,20	840,00	841,20
16/07/2.008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,85	600,00	600,85
20/02/2.009	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1.200,00	1.200,00
29/07/2.009	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	470,00	470,00
04/02/2.010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	150,00	150,00
27/07/2.010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,46	270,00	270,46

nd: No detectado

LAWA: Sociedad Federal de Aguas de Alemania

Tabla 14. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en muestras de gas del suelo a partir del pozo de extracción VEW-2, VES-1 (mg/m^3)

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka. Fecha: 25/08/2010

Fecha	Diclorometano	VEW-2							Total
		1,2-Dicloroeteno, cis	1,2-Dicloroeteno, trans	Triclorometano	1,1,1-Triclorometano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	
Valor límite establecido (LAWA) 50 mg/m³									
17/01/2.002	nd	530,00	7,70	1,00	0,20	nd	310,00	11.000,00	11.848,90
05/02/2.002	nd	40,00	nd	nd	nd	nd	35,00	5.100,00	5.175,00
26/02/2.002	nd	21,00	nd	nd	nd	nd	40,00	5.800,00	5.861,00
12/03/2.002	nd	18,00	nd	1,00	nd	nd	62,00	14.000,00	14.081,00
18/04/2.002	nd	11,00	nd	nd	nd	nd	6,00	2.600,00	2.617,00
17/05/2.002	nd	5,00	nd	nd	nd	nd	7,00	3.700,00	3.712,00
12/06/2.002	nd	8,00	nd	nd	nd	nd	6,00	4.100,00	4.114,00
23/07/2.002	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4,00	1.200,00	1.204,00
19/08/2.002	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4,00	670,00	674,00
19/09/2.002	nd	3,80	nd	nd	nd	nd	1,30	380,00	385,10
15/10/2.002	nd	3,20	nd	nd	nd	nd	1,00	110,00	114,20
20/11/2.002	nd	1,50	nd	nd	nd	nd	1,30	730,00	732,80
09/12/2.002	nd	2,00	nd	nd	nd	nd	1,20	900,00	903,20
10/01/2.003	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	2.300,00	2.302,00
28/02/2.003	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	2.000,00	2.002,00
25/04/2.003	nd	0,80	nd	nd	nd	nd	0,60	510,00	511,40
01/07/2.003	nd	1,60	nd	nd	nd	nd	0,50	100,00	102,10
29/09/2.003	nd	2,80	nd	nd	nd	nd	1,00	200,00	203,80
27/01/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,30	93,00	93,30
05/04/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,50	100,00	100,50
19/07/2.004	nd	nd	nd	0,20	nd	nd	1,10	120,00	121,30
04/10/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,20	150,00	151,20
19/01/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,30	80,00	80,30
18/04/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,90	170,00	170,90
26/07/2.005	nd	1,00	nd	nd	nd	nd	2,20	130,00	133,20
30/08/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,20	79,00	80,20
19/10/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,00	130,00	131,00
20/12/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,60	77,00	77,60
10/03/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,50	68,00	68,50
05/06/2.006	nd	1,00	nd	nd	nd	nd	0,90	100,00	101,90
12/09/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,90	110,00	110,90
22/12/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,34	78,00	78,34
16/08/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,34	65,00	65,34
24/09/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	19,00	19,00
26/10/2.007	nd	0,40	nd	nd	nd	nd	0,58	110,00	110,98
28/11/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	25,00	25,00
21/12/2.007	nd	0,31	nd	nd	nd	nd	0,35	69,00	69,66
31/01/2.008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	17,00	17,00
20/02/2.008	nd	0,35	nd	nd	nd	nd	0,21	41,00	41,56
18/03/2.008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	28,00	28,00

nd: No detectado

LAWA: Sociedad Federal de Aguas de Alemania

Tabla 15. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en muestras de gas del suelo a partir del pozo de extracción VEW-4, VES-1 (mg/m^3)

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka. Fecha: 25/08/2.010

Fecha	Diclorometano	1,2-Dicloroeteno, cis	1,2-Dicloroeteno,trans	Triclorometano	1,1,1-Triclorometano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	Total	VEW-4
										Valor límite establecido (LAWA) 50 mg/m ³
17/01/2.002	nd	150,00	44,00	0,30	0,10	nd	1.300,00	7.900,00	9.394,40	
05/02/2.002	nd	7,00	nd	95,00	nd	nd	190,00	5.300,00	5.592,00	
26/02/2.002	nd	42,00	nd	nd	nd	nd	100,00	12.000,00	12.142,00	
12/03/2.002	nd	9,00	nd	nd	nd	nd	18,00	3.800,00	3.827,00	
18/04/2.002	nd	8,60	nd	0,20	nd	nd	31,00	2.600,00	2.639,80	
17/05/2.002	nd	6,00	nd	nd	nd	nd	16,00	2.900,00	2.922,00	
12/06/2.002	nd	nd	nd	nd	nd	nd	12,00	2.100,00	2.112,00	
23/07/2.002	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9,00	1.100,00	1.109,00	
19/08/2.002	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9,00	940,00	949,00	
19/09/2.002	nd	1,70	nd	nd	nd	nd	5,50	540,00	547,20	
15/10/2.002	nd	1,60	nd	nd	nd	nd	4,20	380,00	385,80	
20/11/2.002	nd	0,60	nd	nd	nd	nd	3,60	3.500,00	3.504,20	
09/12/2.002	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10,00	11.000,00	11.010,00	
10/01/2.003	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10,00	13.000,00	13.010,00	
28/02/2.003	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5,00	5.800,00	5.805,00	
25/04/2.003	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4,00	5.900,00	5.904,00	
01/07/2.003	nd	1,00	nd	nd	nd	nd	1,50	230,00	232,50	
29/09/2.003	nd	1,00	nd	nd	nd	nd	1,10	150,00	152,10	
27/01/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,20	81,00	81,20	
05/04/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,60	160,00	160,60	
19/07/2.004	nd	nd	nd	0,20	nd	nd	0,70	130,00	130,90	
04/10/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,30	0,30	
19/01/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,40	61,00	61,40	
18/04/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,50	690,00	690,50	
26/07/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,60	92,00	92,60	
30/08/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,50	55,00	55,50	
19/10/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,40	46,00	46,40	
20/12/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,30	47,00	47,30	
10/03/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,30	47,00	47,30	
05/06/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,30	49,00	49,30	
12/09/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	13,00	13,00	
22/12/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,40	75,00	75,40	
16/08/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	24,00	24,00	
24/09/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,25	21,00	21,25	
26/10/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	53,00	53,00	
28/11/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	18,00	18,00	
21/12/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	30,00	30,00	
31/01/2.008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	49,00	49,00	
20/02/2.008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	24,00	24,00	
18/03/2.008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,22	27,00	27,22	

nd: No detectado

LAWA: Sociedad Federal de Aguas de Alemania

Tabla 16. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en muestras de gas del suelo a partir del pozo de extracción VEW-3, VES-2 (mg/m³)

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka.

Fecha: 25/08/2.010

Fecha	Diclorometano	1,2-Dicloroeteno, cis	1,2-Dicloroeteno,trans	Triclorometano	1,1,1-Triclorometano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	Total	VEW-3
										Valor límite establecido (LAWA) 50 mg/m ³
12/11/2.001	nd	110,00	4,00	0,10	nd	nd	120,00	1.200,00	1.434,10	
26/02/2.002	nd	33,00	1,90	nd	nd	nd	17,00	210,00	261,90	
12/03/2.002	nd	14,00	nd	nd	nd	nd	8,00	120,00	142,00	
18/04/2.002	nd	7,00	nd	nd	nd	nd	4,70	87,00	98,70	
17/05/2.002	nd	6,90	nd	nd	nd	nd	4,80	100,00	111,70	
12/06/2.002	nd	6,90	nd	nd	nd	nd	4,80	100,00	111,70	
23/07/2.002	nd	4,70	nd	nd	nd	nd	3,10	80,00	87,80	
19/08/2.002	nd	4,00	nd	nd	nd	nd	2,30	92,00	98,30	
19/09/2.002	nd	4,00	nd	nd	nd	nd	2,40	78,00	84,40	
15/10/2.002	nd	2,80	nd	nd	nd	nd	1,80	75,00	79,60	
20/11/2.002	nd	1,80	nd	nd	nd	nd	1,30	57,00	60,10	
09/12/2.002	nd	1,30	nd	nd	nd	nd	1,10	39,00	41,40	
10/01/2.003	nd	0,50	nd	nd	nd	nd	0,60	28,00	29,10	
28/02/2.003	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,40	18,00	18,40	
25/04/2.003	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,30	18,00	18,30	
01/07/2.003	nd	1,10	nd	nd	nd	nd	1,00	33,00	35,10	
29/09/2.003	nd	0,60	nd	nd	nd	nd	0,90	39,00	40,50	
27/01/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	0,20	0,90	66,00	67,10	
05/04/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,20	12,00	12,20	

nd: No detectado

LAWA: Sociedad Federal de Aguas de Alemania

Tabla 17. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en muestras de gas del suelo a partir del piezómetro de control permanente PVMP-1 (mg/m^3)

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka.

Fecha: 25/08/2.010

Fecha	Diclorometano	1,2-Dicloroeteno, cis	1,2-Dicloroeteno,trans	Triclorometano	1,1,1-Triclorometano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	Total	PVMP-1
										Valor límite establecido (LAWA) 50 mg/m^3
12/11/2.001	nd	0,50	nd	1,50	0,20	nd	130,00	6.200,00	6.332,20	
18/04/2.002	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,90	40,00	40,90	
23/07/2.002	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,20	7,70	7,90	
09/12/2.002	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,20	16,00	16,20	
01/07/2.003	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,10	0,50	0,60	
27/01/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,10	1,10	
19/07/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5,60	0,30	5,90	
19/01/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,10	0,20	0,30	
17/02/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,30	0,30	
20/12/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,80	0,80	
05/06/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,80	0,80	
12/09/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	20,00	20,00	
22/12/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	13,00	13,00	
21/02/2.008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,49	0,49	
17/07/2.008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,00	
20/02/2.009	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5,40	5,40	
29/07/2.009	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,00	
04/02/2.010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,22	0,22	
27/07/2.010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,36	0,36	

nd: No detectado

LAWA: Sociedad Federal de Aguas de Alemania

Tabla 18. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en muestras de gas del suelo a partir del piezómetro de control permanente PVMP-2 (mg/m³)

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka.

Fecha: 25/08/2.010

Fecha	Diclorometano	1,2-Dicloroeteno, cis	1,2-Dicloroeteno,trans	Triclorometano	1,1,1-Triclorometano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	Total	PVMP-2
										Valor límite establecido (LAWA) 50 mg/m ³
12/11/2.001	nd	1,60	nd	nd	nd	nd	37,00	1.100,00	1.138,60	
18/04/2.002	nd	0,70	nd	nd	nd	nd	6,90	180,00	187,60	
23/07/2.002	nd	nd	0,60	nd	nd	nd	2,10	85,00	87,70	
09/12/2.002	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,50	280,00	281,50	
01/07/2.003	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,90	31,00	31,90	
27/01/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,00	14,00	17,00	
19/07/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,40	56,00	57,40	
17/02/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,40	150,00	150,40	
20/12/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,10	470,00	471,10	
05/06/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,60	270,00	270,60	
12/09/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,90	240,00	240,90	
22/12/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd		84,00	84,00	
21/02/2.008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,29	120,00	120,29	
17/07/2.008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,30	110,00	110,30	
20/02/2.009	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	7,40	7,40	
29/07/2.009	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,00	
04/02/2.010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	27,00	27,00
27/07/2.010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,67	0,67

nd: No detectado

LAWA: Sociedad Federal de Aguas de Alemania

Tabla 19. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en muestras de gas del suelo a partir del piezómetro de control permanente PVMP-3 (mg/m³)

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka.

Fecha: 25/08/2.010

Fecha	PVMP-3								Total
	Diclorometano	1,2-Dicloroeteno, cis	1,2-Dicloroeteno,trans	Triclorometano	1,1,1-Triclorometano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	
Valor límite establecido (LAWA) 50 mg/m³									
17/02/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5,00	5,00
20/12/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,60	1,60
05/06/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,10	1,10
12/09/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	49,00	49,00
22/12/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,60	3,60
21/02/2.008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,60	3,60
17/07/2.008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,68	0,68
20/02/2.009	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,20	3,20
29/07/2.009	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,29	0,29
04/02/2.010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,60	0,60
27/07/2.010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,68	0,68

nd: No detectado

LAWA: Sociedad Federal de Aguas de Alemania

Tabla 20. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en muestras de gas del suelo a partir del piezómetro de control permanente PVMP-4 y PVMP-5 (mg/m³)

Fuente: Saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 1º Informe de Avance (Enero – Abril 2.002). Adaptación Letka.

Fecha: 03/05/2.002

Fecha	PVMP-4								Total
	Diclorometano	1,2-Dicloroeteno, cis	1,2-Dicloroeteno,trans	Triclorometano	1,1,1-Tricloroetano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	
Valor límite establecido (LAWA) 50 mg/m³									
12/11/2.001	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4,70	310,00	314,70
18/04/2.001	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,20	30,00	30,20
23/07/2.002	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,20	7,90	8,10
09/12/2.002	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4,30	4,30
PVMP-5									
12/11/2.001	nd	nd	nd	nd	nd	nd	23,00	690,00	713,00
18/04/2.001	---	---	---	---	---	---	---	---	---
23/07/2.002	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,10	11,00	11,10
09/12/2.002	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	7,40	7,40

nd: No detectado --- : inundado

LAWA: Sociedad Federal de Aguas de Alemania

Tabla 21. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en las aguas procedentes del Pozo nº4 desde el inicio de saneamiento hasta julio de 2.010 ($\mu\text{g/l}$)

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka.

Fecha: 25/08/2.010

Pozo número 4									
Fecha	Diclorometano	1,2-Dicloroeteno, cis	1,2-Dicloroeteno, trans	Triclorometano	1,1,1- Tricloroetano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	Total
Lista Holandesa (Valor Objetivo)	0,01	0,01	0,01	6,00	0,01	0,01	24,00	0,01	--
Lista Holandesa (Valor Intervención)	1.000,00	20,00	20,00	400,00	300,00	10,00	500,00	40,00	---
30/09/2.003	nd	240,00	nd	nd	nd	nd	23,00	1.900,00	2.163,00
17/03/2.004	nd	290,00	nd	nd	nd	nd	22,00	1.300,00	1.612,00
20/05/2.004	nd	170,00	nd	nd	nd	nd	17,00	1.100,00	1.287,00
28/05/2.004	nd	170,00	nd	nd	nd	nd	18,00	1.000,00	1.188,00
03/06/2.004	nd	160,00	nd	nd	nd	nd	16,00	1.100,00	1.276,00
07/06/2.004	nd	120,00	nd	nd	nd	nd	14,00	730,00	864,00
01/07/2.004	nd	98,00	nd	nd	nd	nd	11,00	600,00	709,00
08/07/2.004	nd	150,00	nd	nd	nd	nd	17,00	680,00	847,00
14/07/2.004	nd	120,00	nd	nd	nd	nd	15,00	640,00	775,00
19/07/2.004	nd	130,00	nd	nd	nd	nd	17,00	830,00	977,00
02/08/2.004	nd	430,00	nd	nd	nd	nd	31,00	1.900,00	2.361,00
11/08/2.004	nd	140,00	nd	nd	nd	nd	20,00	900,00	1.060,00
15/09/2.004	nd	150,00	nd	nd	nd	nd	20,00	550,00	720,00
22/09/2.004	nd	210,00	nd	nd	nd	nd	27,00	920,00	1.157,00
22/10/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	22,00	550,00	572,00
11/11/2.004	nd	130,00	nd	nd	nd	nd	18,00	530,00	678,00
27/12/2.004	nd	140,00	nd	nd	nd	nd	18,00	590,00	748,00
18/01/2.005	nd	130,00	nd	nd	nd	nd	17,00	500,00	647,00
18/02/2.005	nd	130,00	nd	nd	nd	nd	15,00	460,00	605,00
21/03/2.005	nd	160,00	nd	nd	nd	nd	18,00	540,00	718,00
18/04/2.005	nd	150,00	nd	nd	nd	nd	16,00	440,00	606,00
19/05/2.005	nd	150,00	nd	nd	nd	nd	17,00	450,00	617,00
14/06/2.005	nd	100,00	nd	nd	nd	nd	14,00	460,00	574,00
26/07/2.005	nd	100,00	nd	nd	nd	nd	21,00	680,00	801,00
20/10/2.005	nd	120,00	nd	nd	nd	nd	24,00	550,00	694,00
14/11/2.005	nd	110,00	nd	nd	nd	nd	22,00	460,00	592,00
20/12/2.005	nd	210,00	nd	nd	nd	nd	27,00	630,00	867,00
10/01/2.006	nd	160,00	nd	nd	nd	nd	24,00	570,00	754,00
08/03/2.006	nd	160,00	nd	nd	nd	nd	22,00	730,00	912,00
12/04/2.006	nd	120,00	nd	nd	nd	nd	16,00	630,00	766,00
05/06/2.006	nd	150,00	nd	nd	nd	nd	23,00	940,00	1.113,00
12/07/2.006	nd	88,00	nd	nd	nd	nd	18,00	790,00	896,00
28/08/2.006	nd	98,00	nd	nd	nd	nd	35,00	610,00	743,00
21/09/2.006	nd	150,00	nd	nd	nd	nd	41,00	740,00	931,00
09/10/2.006	nd	130,00	nd	nd	nd	nd	32,00	590,00	752,00
10/11/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	7,00	140,00	147,00
15/11/2.006	nd	92,00	nd	nd	nd	nd	10,00	200,00	302,00
27/11/2.006	nd	50,00	nd	nd	nd	nd	7,00	110,00	167,00
16/01/2.007	nd	130,00	nd	nd	nd	nd	14,00	320,00	464,00
22/02/2.007	nd	86,00	nd	0,90	nd	nd	9,00	250,00	345,90
21/03/2.007	nd	100,00	nd	1,40	nd	nd	15,00	230,00	346,40
26/04/2.007	nd	98,00	nd	1,40	nd	nd	14,00	210,00	323,40
28/09/2.007	nd	160,00	nd	4,10	nd	nd	21,00	440,00	625,10
21/02/2.008	nd	97,00	nd	2,30	nd	nd	14,00	290,00	403,30
16/07/2.008	nd	120,00	nd	3,20	nd	nd	13,00	590,00	726,20
19/02/2.009	nd	97,00	nd	2,10	nd	nd	12,00	1.000,00	1.111,10
29/07/2.009	nd	72,00	nd	1,50	nd	nd	10,00	410,00	493,50
03/02/2.010	nd	140,00	nd	0,70	nd	nd	11,00	360,00	511,70
15/06/2.010	nd	120,00	nd	0,90	nd	nd	22,00	540,00	682,90

nd: No detectado

Tabla 22. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en las aguas procedentes del Pozo nº4 una vez tratadas desde el inicio de saneamiento hasta julio de 2.010 ($\mu\text{g/l}$)

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka.

Fecha: 25/08/2.010

Agua tratada Pozo número 4									
Fecha	Diclorometano	1,2-Dicloroetileno, cis	1,2-Dicloroetileno,trans	Triclorometano	1,1,1-Tricloroetano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	Total
Lista Holandesa (Valor Objetivo)	0,01	0,01	0,01	6,00	0,01	0,01	24,00	0,01	--
Lista Holandesa (Valor Intervención)	1.000,00	20,00	20,00	400,00	300,00	10,00	500,00	40,00	---
17/03/2.004	nd	47,00	nd	nd	nd	nd	2,00	58,00	107,00
20/05/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,00	3,00
28/05/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	2,00
03/06/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,00	1,00
07/06/2.004	nd	8,00	nd	nd	nd	nd	nd	21,00	29,00
01/07/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	2,00
08/07/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,00	3,00
14/07/2.004	nd	9,00	nd	nd	nd	nd	nd	1,00	10,00
19/07/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
02/08/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
11/08/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
15/09/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
22/09/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
22/10/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
11/11/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
27/12/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4,00	4,00
18/01/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
18/02/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	2,00
21/03/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,00	1,00
18/04/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
19/05/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
14/06/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
26/07/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5,00	5,00
20/10/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
14/11/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
20/12/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	2,00
10/01/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
08/03/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
12/04/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
05/06/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
12/07/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4,00	4,00
28/08/2.006	nd	5,00	nd	nd	nd	nd	nd	4,00	9,00
12/09/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4,00	4,00
09/10/2.006	nd	8,00	nd	nd	nd	nd	nd	9,00	17,00
10/11/2.006	nd	5,00	nd	nd	nd	nd	nd	3,00	8,00
15/11/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
27/11/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
16/01/2.007	nd	65,00	nd	nd	nd	nd	nd	59,00	124,00
22/02/2.007	nd	5,80	nd	nd	nd	nd	nd	6,60	12,40
21/03/2.007	nd	17,00	nd	nd	nd	nd	nd	17,00	35,60
26/04/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
28/09/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,30	1,30
21/02/2.008	nd	1,10	nd	nd	nd	nd	nd	4,80	5,90
16/07/2.008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
19/02/2.009	nd	0,60	nd	nd	nd	nd	nd	0,70	1,30
29/07/2.009	nd	1,10	nd	1,20	nd	nd	nd	0,60	2,90
03/02/2.010	nd	0,90	nd	1,20	nd	nd	nd	nd	2,10
15/06/2.010	nd	8,90	nd	nd	nd	nd	nd	18,00	28,10

nd: No detectado

Tabla 23. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en las aguas procedentes del PC-1 desde el inicio de saneamiento hasta julio de 2.010 ($\mu\text{g/l}$)

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka.

Fecha: 25/08/2.010

Fecha	PC-1								Total
	Diclorometano	1,2-Dicloroetileno, cis	1,2-Dicloroetileno,trans	Triclorometano	1,1,1-Tricloroetano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	
Lista Holandesa (Valor Objetivo)	0,01	0,01	0,01	6,00	0,01	0,01	24,00	0,01	---
Lista Holandesa (Valor Intervención)	1.000,00	20,00	20,00	400,00	300,00	10,00	500,00	40,00	---
30/09/2.003	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4,00	4,00
07/06/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,00	130,00	133,00
04/08/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,00	43,00	44,00
20/10/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	68,00	70,00
27/12/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	55,00	57,00
18/02/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,00	68,00	71,00
20/04/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	59,00	61,00
14/06/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	87,00	89,00
31/08/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	46,00	48,00
20/10/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	44,00	46,00
20/12/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	32,00	34,00
08/03/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	28,00	30,00
12/04/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,00	90,00	93,00
05/06/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,00	88,00	91,00
28/08/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	77,00	79,00
09/10/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4,00	230,00	234,00
16/01/2.007	nd	2,00	nd	nd	nd	nd	2,00	91,00	95,00
22/02/2.007	nd	2,10	nd	nd	nd	nd	1,30	61,00	64,40
26/04/2.007	nd	1,50	nd	nd	nd	nd	1,60	35,00	38,10
28/09/2.007	nd	1,40	nd	nd	nd	nd	1,90	44,00	47,30
21/02/2.008	nd	1,60	nd	nd	nd	nd	2,90	51,00	55,50
16/07/2.008	nd	0,90	nd	nd	nd	nd	1,90	37,00	39,80
19/02/2.009	nd	0,70	nd	nd	nd	nd	1,70	51,00	53,40
29/07/2.009	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,80	47,00	48,80
04/02/2.010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,00	37,00	38,00
15/06/2.010	nd	1,60	nd	nd	nd	nd	4,10	160,00	165,70

nd: No detectado

Tabla 24. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en las aguas procedentes del PC-2 desde el inicio de saneamiento hasta julio de 2.010 ($\mu\text{g/l}$)

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka.

Fecha: 25/08/2.010

Fecha	PC-2								Total
	Diclorometano	1,2-Dicloroetileno, cis	1,2-Dicloroetileno,trans	Triclorometano	1,1,1-Tricloroetano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	
Lista Holandesa (Valor Objetivo)	0,01	0,01	0,01	6,00	0,01	0,01	24,00	0,01	---
Lista Holandesa (Valor Intervención)	1.000,00	20,00	20,00	400,00	300,00	10,00	500,00	40,00	---
30/09/2.003	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,00	3,00
07/06/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9,00	9,00
04/08/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	8,00	8,00
20/10/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	7,00	7,00
27/12/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9,00	9,00
18/02/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	13,00	13,00
20/04/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10,00	10,00
14/06/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	11,00	11,00
31/08/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	7,00	7,00
20/10/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	14,00	14,00
20/12/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	16,00	16,00
08/03/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	15,00	15,00
12/04/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	15,00	15,00
05/06/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	20,00	20,00
28/08/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	23,00	23,00
09/10/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	25,00	25,00
16/01/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	22,00	22,00
22/02/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	16,00	16,00
26/04/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	12,00	12,00
28/09/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	14,00	14,00
21/02/2.008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	7,70	7,70
16/07/2.008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	11,00	11,00
19/02/2.009	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	25,00	25,00
29/07/2.009	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	15,00	15,00
04/02/2.010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	18,00	18,00
15/06/2.010	nd	1,40	nd	nd	nd	nd	nd	39,00	40,40

nd: No detectado

Tabla 25. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en las aguas procedentes del PC-3 y PC-4 desde septiembre hasta julio de 2.010 ($\mu\text{g/l}$)

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka.

Fecha: 25/08/2.010

Fecha	PC-3								Total
	Diclorometano	1,2-Dicloroetileno, cis	1,2-Dicloroetileno, trans	Triclorometano	1,1,1-Tricloroetano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	
Lista Holandesa (Valor Objetivo)	0,01	0,01	0,01	6,00	0,01	0,01	24,00	0,01	--
Lista Holandesa (Valor Intervención)	1.000,00	20,00	20,00	400,00	300,00	10,00	500,00	40,00	---
28/09/2.007	nd	96,00	13,00	nd	nd	nd	2,40	7,80	119,20
PC-4									
28/09/2.007	nd	410,00	2,60	0,60	nd	nd	38,00	80,00	531,20
21/02/2.008	nd	780,00	5,60	nd	nd	nd	18,00	36,00	839,60
16/07/2.008	nd	930,00	7,40	nd	nd	nd	24,00	23,00	984,40
19/02/2.009	nd	170,00	1,30	nd	nd	nd	1,10	2,70	175,10
29/07/2.009	nd	910,00	2,90	nd	nd	nd	5,00	4,30	922,20
04/02/2.010	nd	170,00	0,50	nd	nd	nd	nd	0,70	171,20
15/06/2.010	nd	840,00	5,00	nd	nd	nd	2,40	1,30	848,70

nd: No detectado

Tabla 26. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en las aguas procedentes del VEW-1 desde el inicio de saneamiento hasta julio de 2.010 ($\mu\text{g/l}$)

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka.

Fecha: 25/08/2.010

Fecha	VEW-1 agua								Total
	Diclorometano	1,2-Dicloroetileno, cis	1,2-Dicloroetileno,trans	Triclorometano	1,1,1-Tricloroetano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	
Lista Holandesa (Valor Objetivo)	0,01	0,01	0,01	6,00	0,01	0,01	24,00	0,01	---
Lista Holandesa (Valor Intervención)	1.000,00	20,00	20,00	400,00	300,00	10,00	500,00	40,00	---
17/04/2.002	nd	400	7	37	4	nd	2.300	140.000	142.748
07/06/2.004	nd	43,00	nd	35,00	1,00	nd	2.400,00	>45.000	>47.479
04/08/2.004	nd	31,00	nd	27,00	1,00	nd	1.500,00	>42.000	>43.559
20/10/2.004	nd	21,00	nd	14,00	nd	nd	900,00	27.000,00	27.935,00
27/12/2.004	nd	26,00	nd	14,00	nd	nd	780,00	23.000,00	23.820,00
07/03/2.005	nd	53,00	nd	19,00	1,00	nd	1.300,00	28.000,00	29.373,00
20/04/2.005	nd	65,00	7,00	33,00	2,00	nd	1.700,00	48.000,00	49.807,00
14/06/2.005	nd	nd	nd	12,00	nd	nd	900,00	21.000,00	21.912,00
31/08/2.005	nd	33,00	5,00	12,00	nd	nd	1.300,00	41.000,00	42.350,00
20/10/2.005	nd	34,00	15,00	12,00	nd	nd	1.400,00	40.000,00	41.461,00
20/12/2.005	nd	42,00	nd	22,00	1,00	nd	1.400,00	38.000,00	39.465,00
08/03/2.006	nd	58,00	nd	24,00	1,00	nd	1.700,00	50.000,00	51.783,00
12/04/2.006	nd	71,00	5,00	27,00	1,00	nd	1.600,00	>61000	>62.704
05/06/2.006	nd	65,00	7,00	28,00	1,00	nd	1.600,00	47.000,00	48.701,00
28/08/2.006	nd	33,00	8,00	14,00	1,00	nd	1.100,00	51.000,00	52.156,00
09/10/2.006	nd	54,00	nd	19,00	nd	nd	1.700,00	>67000	>68.773
16/01/2.007	nd	35,00	2,00	9,00	nd	nd	290,00	31.000,00	31.336,00
22/02/2.007	1,20	40,00	2,00	9,90	0,60	nd	410,00	62.000,00	62.463,70
26/04/2.007	nd	19,00	1,00	4,50	nd	nd	300,00	28.000,00	28.324,50
28/09/2.007	nd	22,00	1,00	5,00	nd	nd	310,00	55.000,00	55.338,00
21/02/2.008	0,80	25,00	1,10	6,80	nd	nd	260,00	32.000,00	32.293,70
16/07/2.008	1,20	43,00	1,10	8,10	nd	nd	260,00	31.000,00	31.313,40
19/02/2.009	1,20	29,00	1,30	7,70	nd	nd	400,00	25.000,00	25.439,20
29/07/2.009	nd	7,00	nd	0,50	nd	nd	56,00	7.000,00	7.063,50
04/02/2.010	nd	29,00	nd	0,60	nd	nd	15,00	3.100,00	3.144,60
15/06/2.010	nd	16,00	nd	1,30	nd	nd	65,00	7.900,00	7.982,30

nd: No detectado

Tabla 27. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en las aguas procedentes del VEW-2 desde el inicio de saneamiento hasta julio de 2.010 ($\mu\text{g/l}$)

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka.

Fecha: 25/08/2.010

Fecha	Diclorometano	VEW-2 agua							Total
		1,2-Dicloroetileno, cis	1,2-Dicloroetileno, trans	Triclorometano	1,1,1-Tricloroetano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	
Lista Holandesa (Valor Objetivo)	0,01	0,01	0,01	6,00	0,01	0,01	24,00	0,01	---
Lista Holandesa (Valor Intervención)	1.000,00	20,00	20,00	400,00	300,00	10,00	500,00	40,00	---
17/01/2.002	nd	6.300	30	nd	nd	nd	120	1.100	7.550
07/06/2.004	nd	4.400,00	12,00	nd	nd	nd	2,00	50,00	4.464,00
04/08/2.004	nd	3.300,00	17,00	nd	nd	nd	2,00	33,00	3.352,00
20/10/2.004	nd	1.300,00	13,00	nd	nd	nd	2,00	24,00	1.339,00
27/12/2.004	nd	1.200,00	10,00	nd	nd	nd	2,00	30,00	1.242,00
07/03/2.005	nd	1.400,00	20,00	nd	nd	nd	6,00	100,00	1.526,00
20/04/2.005	nd	1.600,00	20,00	nd	nd	nd	13,00	150,00	1.783,00
14/06/2.005	nd	1.400,00	16,00	nd	nd	nd	2,00	9,00	1.427,00
31/08/2.005	nd	570,00	7,00	nd	nd	nd	nd	nd	577,00
20/10/2.005	nd	1.200,00	6,00	nd	nd	nd	22,00	35,00	1.263,00
20/12/2.005	nd	1.100,00	9,00	nd	nd	nd	20,00	300,00	1.429,00
08/03/2.006	nd	2.000,00	9,00	nd	nd	nd	10,00	120,00	2.139,00
12/04/2.006	nd	3.500,00	16,00	nd	nd	nd	3,00	16,00	3.535,00
05/06/2.006	nd	4.000,00	86,00	nd	nd	nd	4,00	130,00	4.220,00
28/08/2.006	nd	980,00	10,00	nd	nd	nd	2,00	35,00	1.027,00
09/10/2.006	nd	1.300,00	11,00	nd	nd	nd	2,00	29,00	1.342,00
16/01/2.007	nd	1.800,00	11,00	nd	nd	nd	2,00	64,00	1.877,00
22/02/2.007	nd	79,00	1,70	nd	nd	nd	70,00	1.100,00	1.250,70
26/04/2.007	nd	42,00	0,60	nd	nd	nd	4,30	25,00	71,90
28/09/2.007	nd	16,00	nd	nd	nd	nd	4,20	240,00	260,20
21/02/2.008	nd	590,00	5,50	nd	nd	nd	2,20	16,00	613,70
16/07/2.008	nd	800,00	7,10	nd	nd	nd	7,90	5,40	820,40
19/02/2.009	nd	1.100,00	11,00	nd	nd	nd	2,40	27,00	1.140,40
29/07/2.009	nd	1.100,00	8,60	nd	nd	nd	1,50	3,10	1.113,20
04/02/2.010	nd	590,00	6,40	nd	nd	nd	nd	1,90	598,30
15/06/2.010	nd	1.300,00	14,00	nd	nd	nd	1,80	9,30	1.325,10

nd: No detectado

Tabla 28. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en las aguas procedentes del VEW-3 desde el inicio de saneamiento hasta julio de 2.010 ($\mu\text{g/l}$)

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka.

Fecha: 25/08/2.010

Fecha	Diclorometano	1,2-Dicloroetileno, cis	1,2-Dicloroetileno,trans	VEW-3 agua					Total
				Triclorometano	1,1,1-Tricloroetano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	
Lista Holandesa (Valor Objetivo)	0,01	0,01	0,01	6,00	0,01	0,01	24,00	0,01	---
Lista Holandesa (Valor Intervención)	1.000,00	20,00	20,00	400,00	300,00	10,00	500,00	40,00	---
17/01/2.002	nd	2.100,00	18	nd	nd	nd	520,00	8.300,00	10.938,00
07/06/2.004	nd	560,00	nd	nd	nd	nd	150,00	9.100,00	9.810,00
04/08/2.004	nd	400,00	nd	nd	nd	nd	110,00	7.500,00	8.010,00
20/10/2.004	nd	560,00	nd	nd	nd	nd	150,00	3.600,00	4.310,00
27/12/2.004	nd	660,00	nd	nd	nd	nd	180,00	3.500,00	4.340,00
07/03/2.005	nd	660,00	9,00	nd	nd	nd	150,00	3.900,00	4.719,00
20/04/2.005	nd	880,00	8,00	nd	nd	nd	140,00	3.800,00	4.828,00
14/06/2.005	nd	800,00	5,00	nd	nd	nd	140,00	3.400,00	4.345,00
31/08/2.005	nd	390,00	nd	nd	nd	nd	77,00	2.300,00	2.767,00
20/10/2.005	nd	460,00	nd	nd	nd	nd	91,00	3.700,00	4.251,00
20/12/2.005	nd	480,00	nd	nd	nd	nd	95,00	3.500,00	4.075,00
08/03/2.006	nd	340,00	nd	nd	nd	nd	51,00	2.700,00	3.091,00
12/04/2.006	nd	400,00	nd	nd	nd	nd	65,00	4.600,00	5.065,00
05/06/2.006	nd	340,00	9,00	nd	nd	nd	62,00	6.000,00	6.411,00
28/08/2.006	nd	310,00	nd	nd	nd	nd	57,00	3.800,00	4.167,00
09/10/2.006	nd	360,00	nd	nd	nd	nd	66,00	4.400,00	4.826,00
16/01/2.007	nd	170,00	1,00	nd	nd	nd	16,00	2.200,00	2.387,00
22/02/2.007	nd	120,00	0,70	nd	nd	nd	10,00	1.500,00	1.630,70
26/04/2.007	nd	140,00	0,80	0,70	nd	nd	16,00	840,00	997,50
28/09/2.007	nd	250,00	1,20	1,80	nd	nd	29,00	1.000,00	1.282,00
21/02/2.008	nd	180,00	0,90	1,50	nd	nd	21,00	1.000,00	1.203,40
16/07/2.008	nd	270,00	1,20	0,80	nd	nd	33,00	1.500,00	1.805,00
19/02/2.009	nd	620,00	2,30	nd	nd	nd	31,00	1.100,00	1.753,30
29/07/2.009	nd	290,00	0,80	nd	nd	nd	21,00	950,00	1.261,80
04/02/2.010	nd	370,00	1,30	nd	nd	nd	14,00	750,00	1.135,30
15/06/2.010	nd	460,00	3,30	0,60	nd	nd	48,00	2.800,00	3.311,90

nd: No detectado

Tabla 29. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en las aguas procedentes del VEW-4 desde el inicio de saneamiento hasta julio de 2.010 ($\mu\text{g/l}$)

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka.

Fecha: 25/08/2.010

Fecha	Diclorometano	1,2-Dicloroetileno, cis	1,2-Dicloroetileno,trans	VEW-4 agua					Total
				Triclorometano	1,1,1-Tricloroetano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	
Lista Holandesa (Valor Objetivo)	0,01	0,01	0,01	6,00	0,01	0,01	24,00	0,01	---
Lista Holandesa (Valor Intervención)	1.000,00	20,00	20,00	400,00	300,00	10,00	500,00	40,00	---
17/01/2.002	nd	220,00	20,00	nd	nd	nd	590,00	3.700,00	4.530,00
07/06/2.004	nd	55,00	nd	nd	nd	nd	120,00	6.100,00	6.275,00
04/08/2.004	nd	8,00	nd	nd	nd	nd	9,00	7.900,00	7.917,00
20/10/2.004	nd	7,00	nd	nd	nd	nd	14,00	7.200,00	7.221,00
27/12/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4,00	6.200,00	6.204,00
07/03/2.005	nd	9,00	nd	nd	nd	nd	10,00	7.000,00	7.019,00
20/04/2.005	nd	14,00	nd	nd	nd	nd	10,00	6.300,00	6.324,00
14/06/2.005	nd	13,00	nd	nd	nd	nd	12,00	7.100,00	7.125,00
31/08/2.005	nd	9,00	nd	nd	nd	nd	3,00	4.200,00	4.212,00
20/10/2.005	nd	6,00	nd	nd	nd	nd	4,00	6.500,00	6.510,00
20/12/2.005	nd	9,00	nd	nd	nd	nd	7,00	6.800,00	6.816,00
08/03/2.006	nd	12,00	nd	nd	nd	nd	6,00	6.400,00	6.418,00
12/04/2.006	nd	16,00	nd	nd	nd	nd	11,00	5.800,00	5.827,00
05/06/2.006	nd	34,00	nd	nd	nd	nd	14,00	7.200,00	7.248,00
28/08/2.006	nd	20,00	nd	nd	nd	nd	7,00	6.800,00	6.827,00
09/10/2.006	nd	44,00	nd	nd	nd	nd	13,00	8.500,00	8.557,00
16/01/2.007	nd	39,00	1,00	nd	nd	nd	5,00	4.800,00	4.845,00
22/02/2.007	nd	26,00	0,90	nd	nd	nd	3,00	4.600,00	4.629,90
26/04/2.007	nd	16,00	0,70	nd	nd	nd	2,60	2.500,00	2.519,30
28/09/2.007	nd	19,00	1,10	0,90	nd	nd	44,00	4.600,00	4.665,00
21/02/2.008	nd	12,00	0,70	0,80	nd	nd	2,80	2.100,00	2.116,30
16/07/2.008	nd	18,00	1,00	1,20	nd	nd	4,50	3.200,00	3.224,70
19/02/2.009	nd	11,00	0,70	0,60	nd	nd	2,30	2.800,00	2.814,60
29/07/2.009	nd	1.600,00	1,20	nd	nd	nd	270,00	2.700,00	4.571,20
04/02/2.010	nd	7.300,00	21,00	2,10	nd	nd	490,00	1.900,00	9.713,10
15/06/2.010	2,00	8.000,00	38,00	nd	nd	nd	1.000,00	3.400,00	12.440,00

nd: No detectado

Tabla 30. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en las aguas procedentes del Pozo nº1 desde el inicio de saneamiento hasta julio de 2.010 ($\mu\text{g/l}$)

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka.

Fecha: 25/08/2.010

Pozo número 1									
Fecha	Diclorometano	1,2-Dicloroetileno, cis	1,2-Dicloroetileno,trans	Triclorometano	1,1,1-Tricloroetano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	Total
Lista Holandesa (Valor Objetivo)	0,01	0,01	0,01	6,00	0,01	0,01	24,00	0,01	1
Lista Holandesa (Valor Intervención)	1.000,00	20,00	20,00	400,00	300,00	10,00	500,00	40,00	---
07/06/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
04/08/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
20/10/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
27/12/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
07/03/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	2,00
20/04/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
14/06/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
31/08/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
20/10/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
20/12/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
08/03/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
12/04/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
05/06/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
28/08/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
09/10/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
16/01/2.007	nd	1,00	nd	15,00	nd	nd	nd	2,00	18,00
22/02/2.007	nd	0,60	nd	4,90	nd	nd	nd	2,90	8,40
26/04/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
28/09/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,20	2,20
21/02/2.008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
16/07/2.008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
19/02/2.009	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
29/07/2.009	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,70	0,70
04/02/2.010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,70	0,70
15/06/2.010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

nd: No detectado

Tabla 31. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en las aguas procedentes del Pozo nº5 sin tratar desde el inicio de saneamiento hasta julio de 2.010 ($\mu\text{g/l}$)

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka.

Fecha: 25/08/2.010

Fecha	Pozo 5								Total
	Diclorometano	1,2-Dicloroetileno, cis	1,2-Dicloroetileno,trans	Triclorometano	1,1,1-Tricloroetano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	
Lista Holandesa (Valor Objetivo)	0,01	0,01	0,01	6,00	0,01	0,01	24,00	0,01	---
Lista Holandesa (Valor Intervención)	1.000,00	20,00	20,00	400,00	300,00	10,00	500,00	40,00	---
07/06/2.004	nd	8,00	nd	nd	nd	nd	2,00	250,00	260,00
04/08/2.004	nd	10,00	nd	nd	nd	nd	1,00	230,00	241,00
20/10/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	300,00	302,00
27/12/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	82,00	82,00
07/03/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,00	190,00	191,00
20/04/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,00	160,00	161,00
14/06/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,00	280,00	281,00
31/08/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	74,00	74,00
20/10/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,00	140,00	141,00
20/12/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	330,00	332,00
08/03/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	260,00	262,00
12/04/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,00	290,00	291,00
05/06/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,00	170,00	171,00
28/08/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	170,00	170,00
09/10/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	200,00	200,00
16/01/2.007	nd	1,00	nd	nd	nd	nd	nd	230,00	231,00
22/02/2.007	nd	0,80	nd	nd	nd	nd	nd	160,00	160,80
26/04/2.007	nd	0,80	nd	nd	nd	nd	nd	86,00	86,80
28/09/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,30	1,30
21/02/2.008	nd	0,70	nd	nd	nd	nd	0,80	4,80	6,30
16/07/2.008	nd	0,80	nd	nd	nd	nd	0,70	140,00	141,50
19/02/2.009	nd	0,70	nd	nd	nd	nd	nd	300,00	300,70
29/07/2.009	nd	nd	nd	0,60	nd	nd	nd	110,00	110,60
04/02/2.010	nd	0,90	nd	0,90	nd	nd	nd	190,00	191,80
15/06/2.010	nd	0,70	nd	0,80	nd	nd	0,70	290,00	292,20

nd: No detectado

Tabla 32. Evolución de las concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en las aguas procedentes del Mina 1 desde el inicio de saneamiento hasta julio de 2.010 ($\mu\text{g/l}$)

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010). Letka. Datos de análisis Dr Oliver Rodés 2.007 - 2.010

Mina 1									
Fecha	Diclorometano	1,2-Dicloroetileno, cis	1,2-Dicloroetileno, trans	Triclorometano	1,1,1-Tricloroetano	Tetraclorometano	Tricloroeteno (TCE)	Tetracloroeteno (PCE)	Total
Lista Holandesa (Valor Objetivo)	0,01	0,01	0,01	6,00	0,01	0,01	24,00	0,01	--
Lista Holandesa (Valor Intervención)	1.000,00	20,00	20,00	400,00	300,00	10,00	500,00	40,00	---
07/06/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,00	3,00
04/08/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	41,00	41,00
20/10/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	64,00	64,00
27/12/2.004	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	40,00	40,00
18/02/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	31,00	31,00
20/04/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	49,00	49,00
31/08/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	72,00	72,00
20/10/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	6,00	6,00
20/12/2.005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	18,00	18,00
08/03/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	12,00	12,00
12/04/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10,00	10,00
05/06/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	28,00	28,00
28/08/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	60,00	60,00
09/10/2.006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	14,00	14,00
16/01/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	24,00	24,00
22/02/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	26,00	26,00
26/04/2.007	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	33,00	33,00
22/10/2008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	71,00	71,00
30/04/2009	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	34,00	34,00
25/09/2009	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	58,00	58,00
18/03/2010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10,00	10,00
21/10/2010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	31,00	31,00

nd: No detectado

Tabla 33. Costes derivados de los trabajos de caracterización y tratamiento de la contaminación del suelo por PCE desde el inicio de la gestión hasta la actualidad
 Fuente: Elaboración propia. Datos: Letka 2.001 – 2.010

Etapa de gestión	Fecha estudio	Estudio	Coste sin IVA	16 % IVA	Total
Zona no saturada					
Caracterización	08/02/2.001	Investigación de suelos en los terrenos industriales	8.832,19 €	1.413,15 €	10.245,34 €
	05/12/2.001	Instalación de pozos de extracción VEW	21.291,00 €	3.406,56 €	24.697,56 €
Instalación del equipo		Diseño, adquisición, instalación del sistema y puesta en funcionamiento	49.140,00 €	7.862,40 €	57.002,40 €
Seguimiento zona no saturada	03/05/2.002	1º Informe de Avance trimestral (Enero - Abril 2.002)	765,00 €	122,40 €	887,40 €
	14/08/2.002	2º Informe de Avance trimestral (Mayo - Julio 2.002)	765,00 €	122,40 €	887,40 €
	08/11/2.002	3º Informe de Avance trimestral (Agosto - Octubre 2.002)	765,00 €	122,40 €	887,40 €
	04/02/2.003	4º Informe de Avance trimestral (Noviembre - Enero 2.002)	765,00 €	122,40 €	887,40 €
	04/02/2.003	1º Informe anual + Mantenimiento (filtros, control, muestreo, analíticas...)	28.336,67 €	4.533,87 €	32.870,53 €
	08/05/2.003	5º Informe de Avance trimestral (Febrero - Abril 2.003)	765,00 €	122,40 €	887,40 €
	23/07/2.003	6º Informe de Avance trimestral (Mayo - Junio 2.003)	765,00 €	122,40 €	887,40 €
	10/10/2.003	7º Informe de Avance trimestral (Julio - Septiembre 2.003)	765,00 €	122,40 €	887,40 €
	11/02/2.004	8º Informe de Avance trimestral (Octubre - Diciembre 2.003)	765,00 €	122,40 €	887,40 €
	11/02/2.004	2º Informe anual + Mantenimiento (filtros, control, muestreo, analíticas...)	28.336,67 €	4.533,87 €	32.870,53 €
	27/04/2.004	9º Informe de Avance trimestral (Enero - Marzo 2.004)	765,00 €	122,40 €	887,40 €
	30/07/2.004	10º Informe de Avance trimestral (Abril - Junio 2.004)	765,00 €	122,40 €	887,40 €
	22/10/2.004	11º Informe de Avance trimestral (Julio - Septiembre 2.004)	765,00 €	122,40 €	887,40 €
	03/02/2.005	12º Informe de Avance trimestral (Octubre - Diciembre 2.004)	765,00 €	122,40 €	887,40 €
	03/02/2.005	3º Informe anual + Mantenimiento (filtros, control, muestreo, analíticas...)	28.336,67 €	4.533,87 €	32.870,53 €
	03/02/2.005	Informe resumen del primer trienio	3.000,00 €	480,00 €	3.480,00 €
	15/06/2.005	13º Informe de Avance semestral (Enero - Mayo 2.005)	765,00 €	122,40 €	887,40 €
	10/01/2.006	14º Informe de Avance semestral (Junio - Diciembre 2.005)	765,00 €	122,40 €	887,40 €
	10/01/2.006	4º Informe anual + Mantenimiento (filtros, control, muestreo, analíticas...)	22.938,75 €	3.670,20 €	26.608,95 €
	12/06/2.006	15º Informe de Avance semestral (Enero - Mayo 2.006)	765,00 €	122,40 €	887,40 €
	17/01/2.007	5º Informe anual + Mantenimiento (filtros, control, muestreo, analíticas...)	22.938,75 €	3.670,20 €	26.608,95 €

Tabla 34. Costes derivados de los trabajos de caracterización y tratamiento y contención de la contaminación en el agua subterránea por PCE desde inicio de la gestión hasta la actualidad. Se incluyen los estudio comunes de seguimiento de la zona saturada y no saturada
 Fuente: Elaboración propia. Datos: Letka 2.003 – 2.010

Etapa de gestión	Fecha estudio	Estudio	Coste sin IVA	16 % IVA	Total
Zona saturada					
Caracterización	08/04/2.003	Trabajos de reconocimiento del pozo Nº 4	2.451,00 €	392,16 €	2.843,16 €
	28/08/2.003	Trabajos de construcción de pozos y muestreo de agua subterránea para el saneamiento de la zona saturada	21.726,50 €	3.476,24 €	25.202,74 €
	11/11/2.004	Trabajos de muestreo de pozos de agua subterránea	3.266,00 €	522,56 €	3.788,56 €
Instalación del equipo	07/04/2.004	Entrega y montaje de la planta de tratamiento de aguas subterráneas	62.687,40 €	10.029,98 €	72.717,38 €
	07/06/2.004	Plan de control y seguimiento de las aguas subterráneas de los terrenos	3.559,00 €	569,44 €	4.128,44 €
Seguimiento zona saturada	27/08/2.004	1º Informe de Avance trimestral + Ajustes (Junio - Agosto 2.004)	11.497,60 €	1.839,62 €	13.337,22 €
	13/12/2.004	2º Informe de Avance trimestral (Junio - Agosto 2.004)	5.122,00 €	819,52 €	5.941,52 €
	14/03/2.005	3º Informe de Avance trimestral (Septiembre - Diciembre 2.004)	9.272,07 €	1.483,53 €	10.755,60 €
	31/05/2.005	4º Informe de Avance trimestral (Enero - Marzo 2.005)	4.060,00 €	649,60 €	4.709,60 €
	18/07/2.005	1º Informe anual	2.100,00 €	336,00 €	2.436,00 €
	20/09/2.005	5º Informe de Avance trimestral (Abril - Julio 2.005)	3.460,00 €	553,00 €	4.013,00 €
	28/11/2.005	6º Informe de Avance trimestral (Agosto - Octubre 2.005)	3.460,00 €	553,00 €	4.013,00 €
	22/03/2.006	7º Informe de Avance trimestral (Noviembre - Febrero 2.006)	3.704,80 €	592,77 €	4.297,57 €
	28/06/2.006	2º Informe anual	5.339,80 €	854,37 €	6.194,17 €
	28/09/2.006	8º Informe de Avance trimestral (Junio - Agosto 2.006)	5.593,60 €	894,98 €	6.488,58 €
	05/02/2.007	9º Informe de Avance trimestral (Septiembre - Enero 2.007)	4.092,40 €	654,78 €	4.747,18 €
	29/05/2.007	3º Informe resumen anual	4.140,00 €	662,40 €	4.802,40 €
Estudios conjuntos (Zona saturada y Zona no saturada)					
Seguimiento	30/07/2.008	Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas (Enero 2.007- Julio 2.008)	13.909,33 €	2.225,49 €	16.134,83 €
	20/08/2.009	Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas (Julio 2.008-Julio 2.009)	13.909,33 €	2.225,49 €	16.134,83 €
	25/08/2.010	Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas (Julio 2.009-Junio 2.010)	13.909,33 €	2.225,49 €	16.134,83 €

Tabla 35. Costes de los trabajos necesarios para la implantación de bandejas de retención en las máquinas de uso de PCE (máquinas de desengrasar y destilador)

Fuente: Elaboración propia.

Medio de contención	Trabajos necesarios para la implantación	Características	Cantidad	Precio unitario	Precio global	IVA 18%	Total por medio de prevención
Bandejas de retención ^A	Máquinas de desengrasar de piezas metálicas	3m x 3m x 0,15 m	3 unidades	810,00 €	2.430,00 €	437,40 €	2.867,40 €
	Depósitos y destilador de PCE	3,9 m x 3,6 m x 0,15 m	1 unidades	1,27 €	1.265,00 €	227,70 €	1.492,70 €
	Verificación de estado de las bandejas durante y la maquinaria en 10 años (+5% precio h/año) ^B	Operario mantenimiento 8h/mes	960h 10 años	20,25 € +5% incremento anual	24.451,43 €	---	24.451,43 €
	Alquiler de camión con pluma para el movimiento de la maquinaria ^C	Camión con pluma	1 jornada (8 horas)	540,00 €	540,00 €	97,20 €	637,20 €
	Total de la implantación de las medidas de prevención durante los siguientes 10 años				28.686,43 €	762,30 €	29.448,73 €

^A Oferta de precios realizada por la empresa Rebel, S.A. Ingeniería Galvánica y Aguas

^B Precio de las horas pagados en la empresa de estudio incluidas las cargas sociales

^C Precio del trabajo con camión con pluma por empresarial confidencial

Tabla 36. Costes de los trabajos necesarios para el recubrimiento por resina Epoxi de las zonas propuestas

Fuente: Elaboración propia.

Medio de contención	Trabajos necesarios para la implantación	Características	Cantidad	Precio unitario	Precio global	IVA 18%	Total por medio de prevención
Recubrimiento resina Epoxi ^A	Zona máquinas de desengrase PCE	0 cm de espesor	192 m ²	20€ / m ²	3.840,00 €	691,20 €	4.531,20 €
	Zona depósitos y destilador de PCE	1 cm de espesor	21 m ²	20€ / m ²	420,00 €	75,60 €	495,60 €
	Zona de almacén de productos químicos	2 cm de espesor	166 m ²	20€ / m ²	3.320,00 €	597,60 €	3.917,60 €
	Mantenimiento del estado del recubrimiento Epoxi durante los 10 años siguientes (+5% precio m ² /año)	2 m ² /año	20 m ²	40€ +5% incremento anual	966,23 €	173,92 €	1.140,15 €
	Total de la implantación de las medidas de prevención durante los siguientes 10 años				8.546,23 €	1.538,32 €	10.084,55 €

^A Oferta de precios realizada por la empresa Espacios Diáfanos 93, S.L.

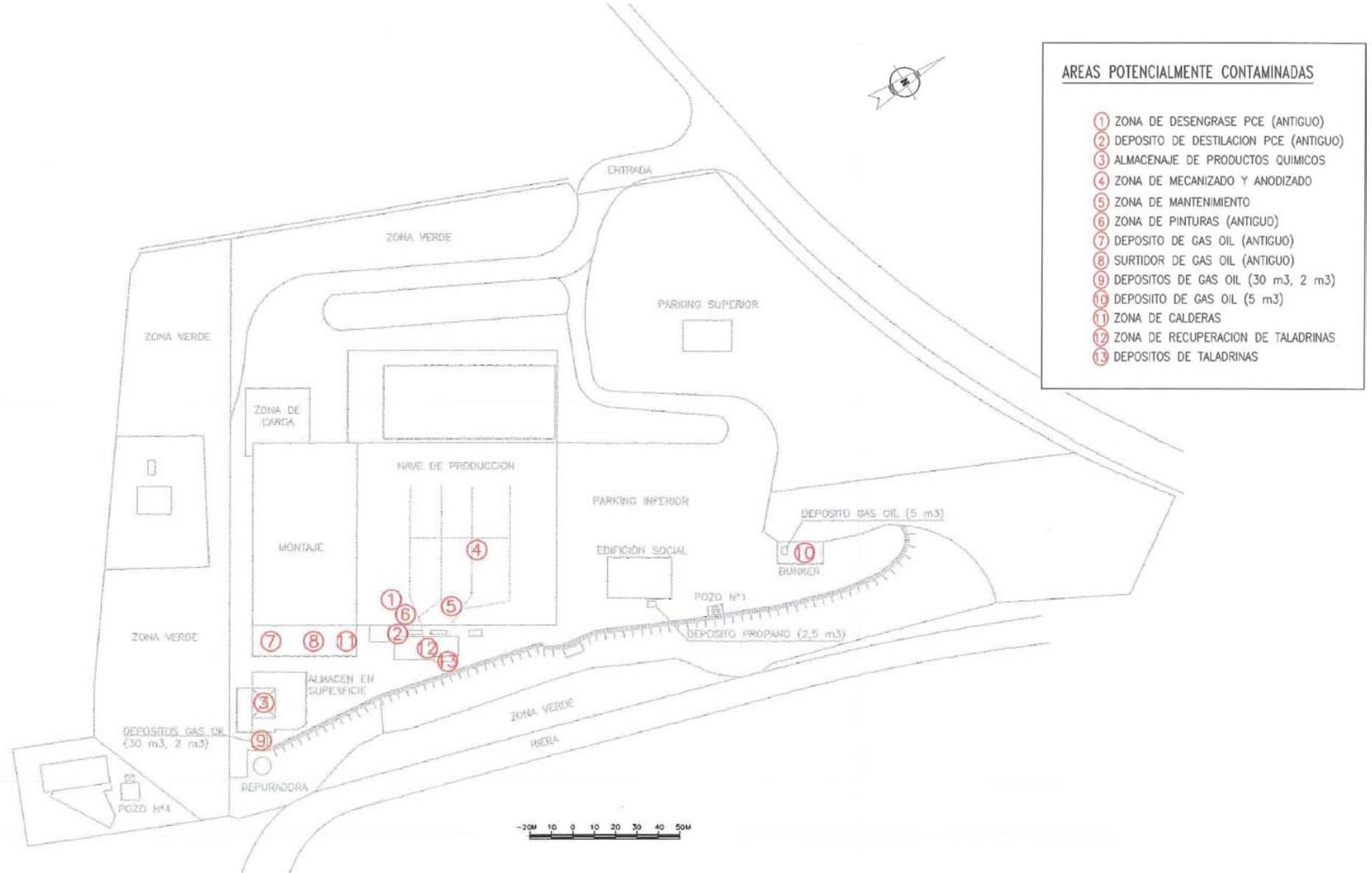
Tabla 37. Costes de los trabajos necesarios para la adaptación de las formaciones periódicas para incluir información sobre el PCE

Fuente: Elaboración propia.

Medio de contención	Trabajos necesarios para la implantación	Características	Cantidad	Precio unitario	Precio global	IVA 18%	Total por medio de prevención
Inclusión en la formación periódica a operarios de un apartado específico de buenas prácticas en trabajos con PCE ^A	Adaptación de la formación por un becario	16 h	15 €	240,00 €	---		240,00 €

^A Precio de las horas pagados en la empresa de estudio incluidas las cargas sociales

Planos

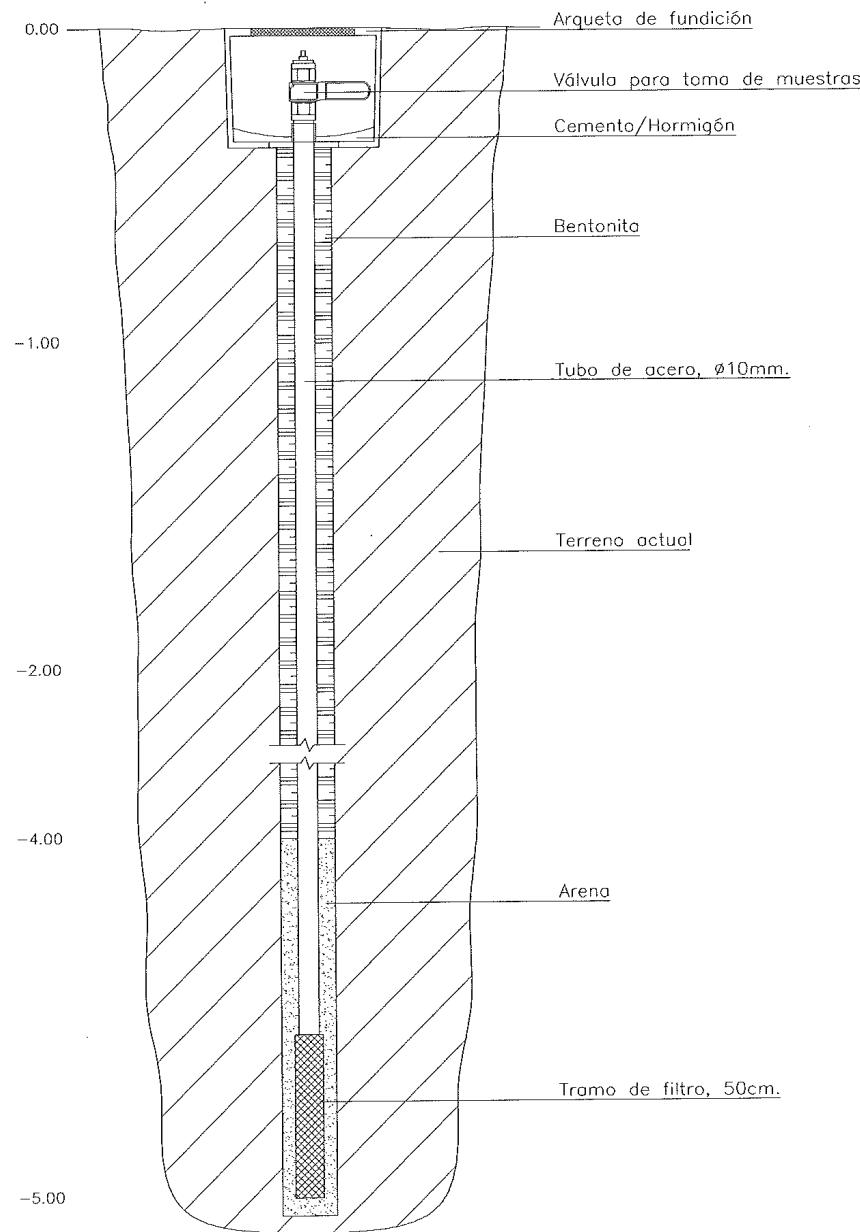


Plano 1. Localización de zonas potencialmente contaminadas

Fuente: Adaptación de "Enviromental site assessment". Adaptación Letka

Fecha: 21/01/1.996

CROQUIS DE PIEZOMETRO DE CONTROL PERMANENTE



Plano 2. Croquis de la estructura de un piezómetro de control permanente
Fuente: Investigación de suelos en los terrenos industriales.
Adaptación Letka
Fecha: 08/02/2.001



Plano 3. Plano de mediciones semicuantitativas de percloroetileno en el gas del suelo.

Fuente: Investigación de suelos en los terrenos industriales. Adaptación Letka

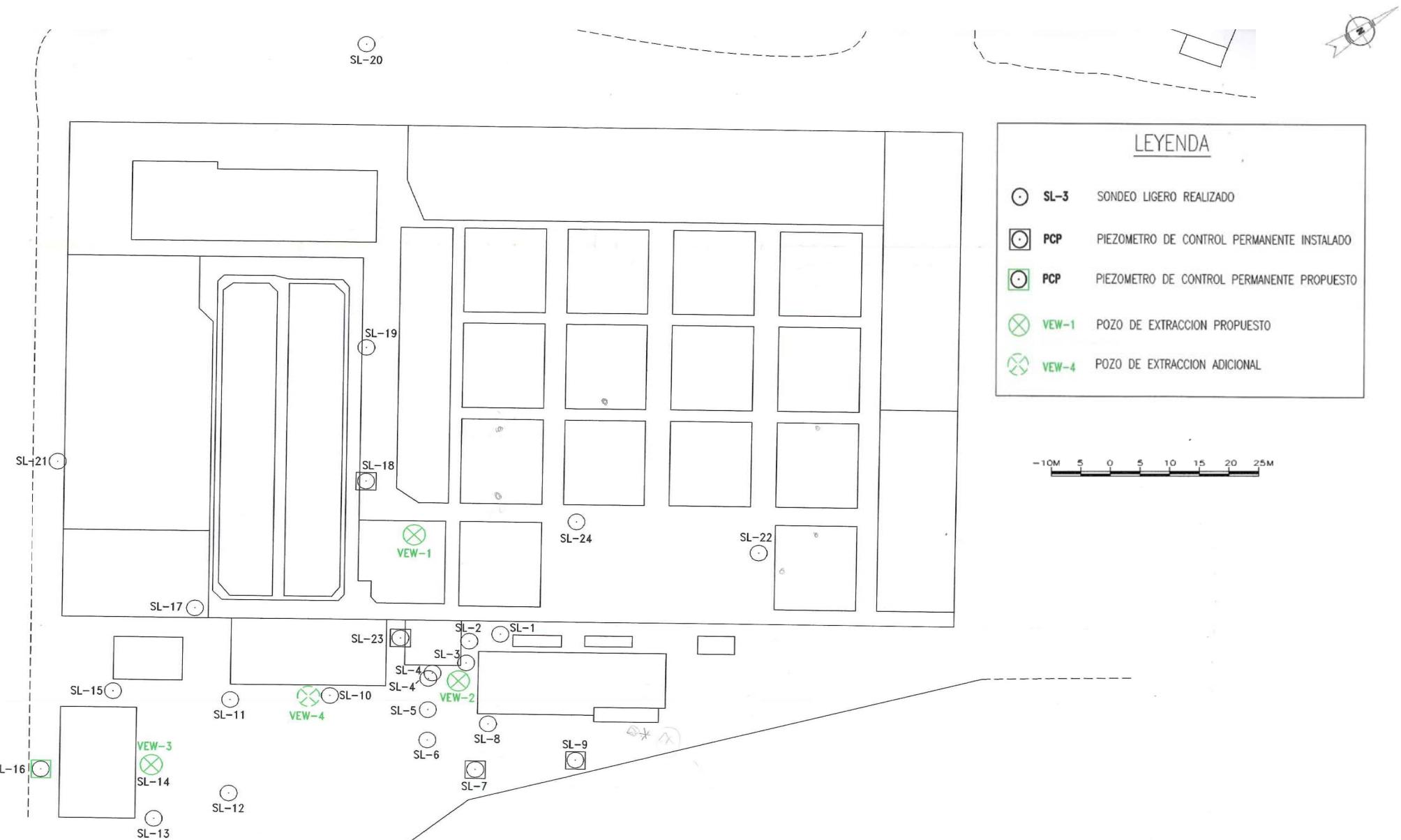
Fecha: 08/02/2.001



Plano 4. Plano de mediciones cuantitativas de percloroetileno en el gas del suelo.

Fuente: Investigación de suelos en los terrenos industriales. Adaptación Letka

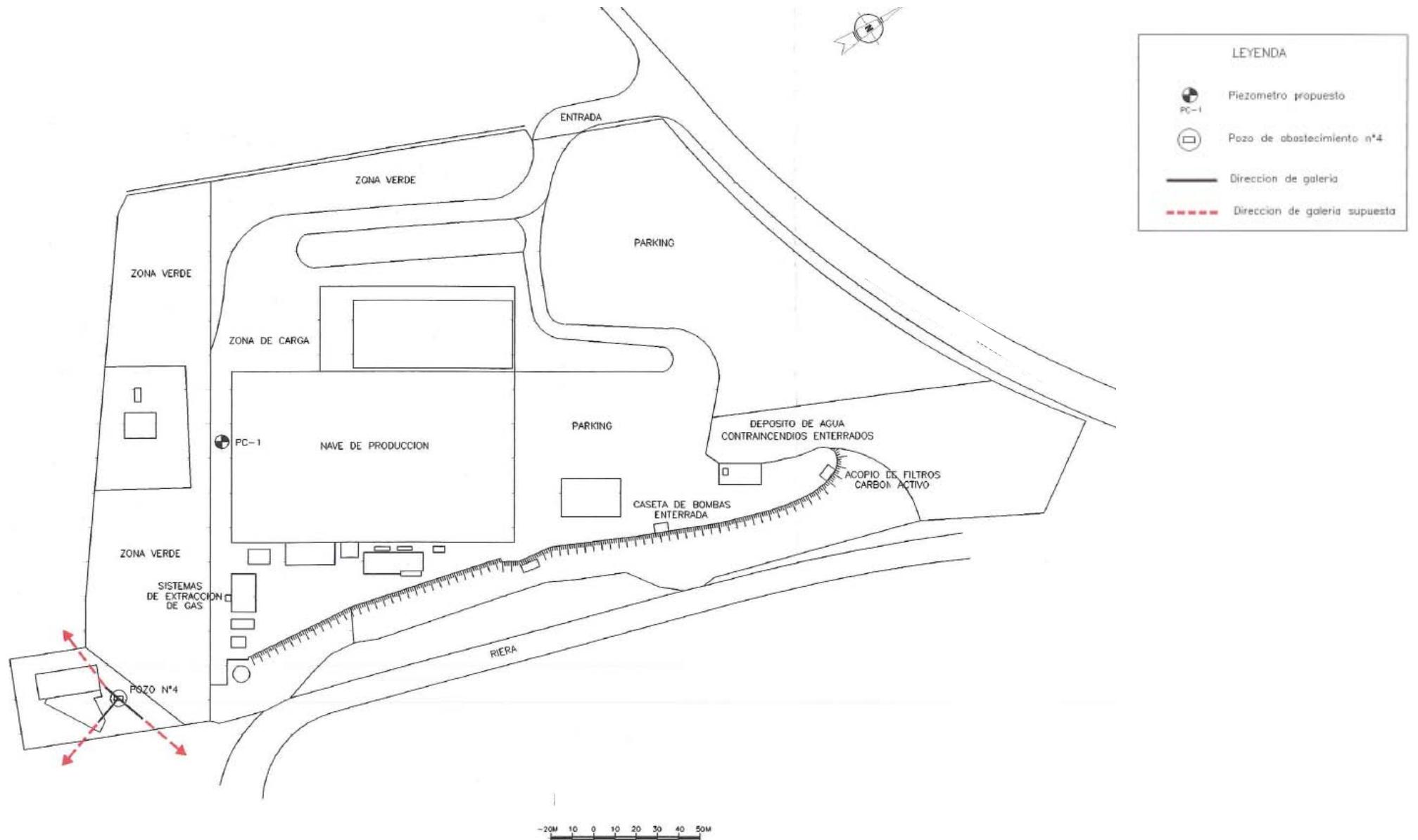
Fecha: 08/02/2.001



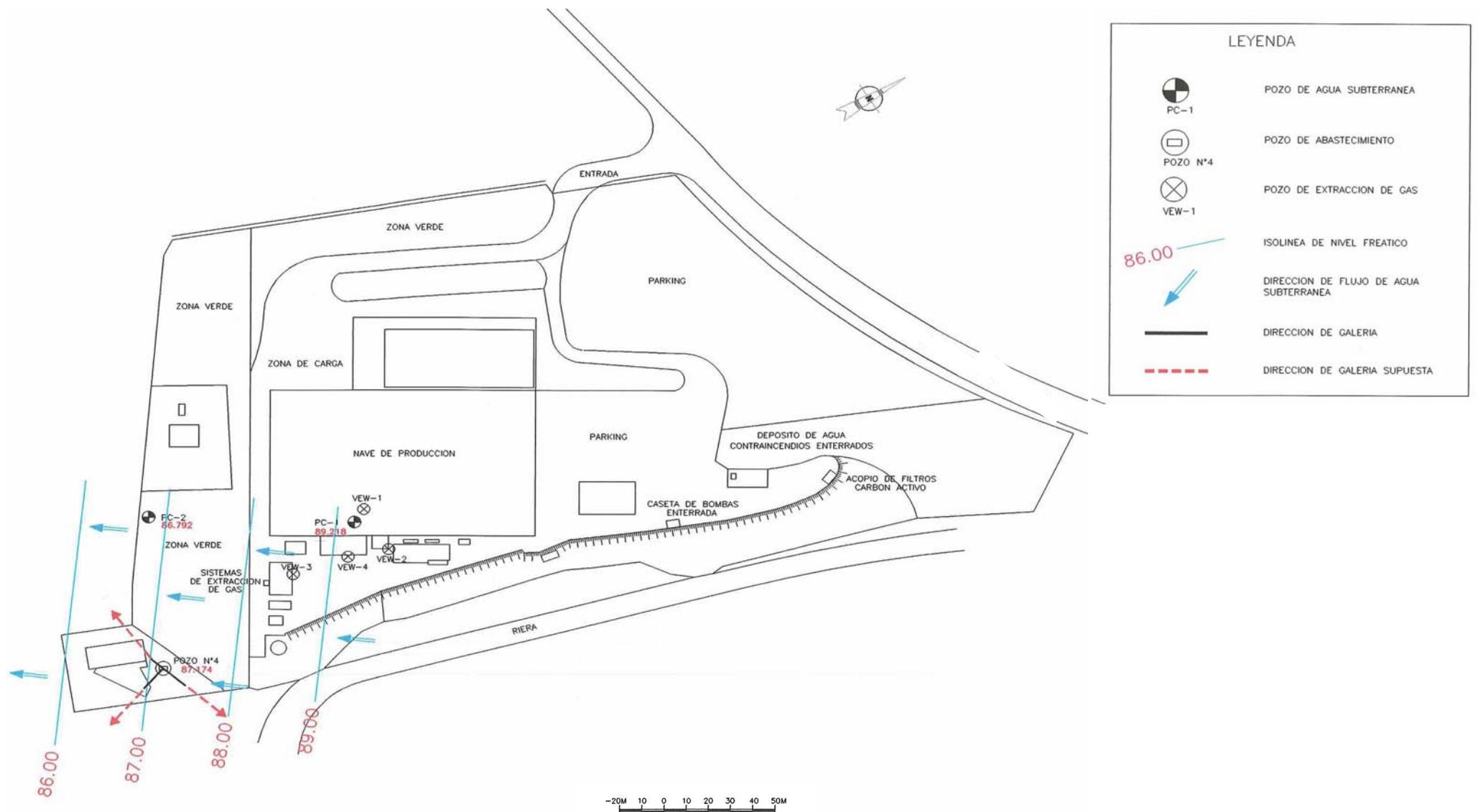
Plano 5. Plano de los pozos de extracción propuestos.

Fuente: Investigación de suelos en los terrenos industriales. Adaptación Letka

Fecha: 08/02/2.001



Plano 6. Direcciones de las galerías del pozo número 4 y piezómetro propuesto para la descontaminación de aguas subterráneas
 Fuente: Trabajos de reconocimiento hidrogeológico del pozo de abastecimiento nº 4 en los terrenos industriales Adaptación Letka
 Fecha: 08/04/2.003



Plano 7. Plano de isopiezas y situación de los nuevos pozos construidos.

Fuente: Muestreo de pozos de agua subterránea. Adaptación Letka.

Fecha: 11/11/2.003



Plano 8. Plano de isopiezas con bombeo del Pozo número 4
 Fuente: Muestreo de pozos de agua subterránea. Adaptación Letka.
 Fecha: 11/11/2.003

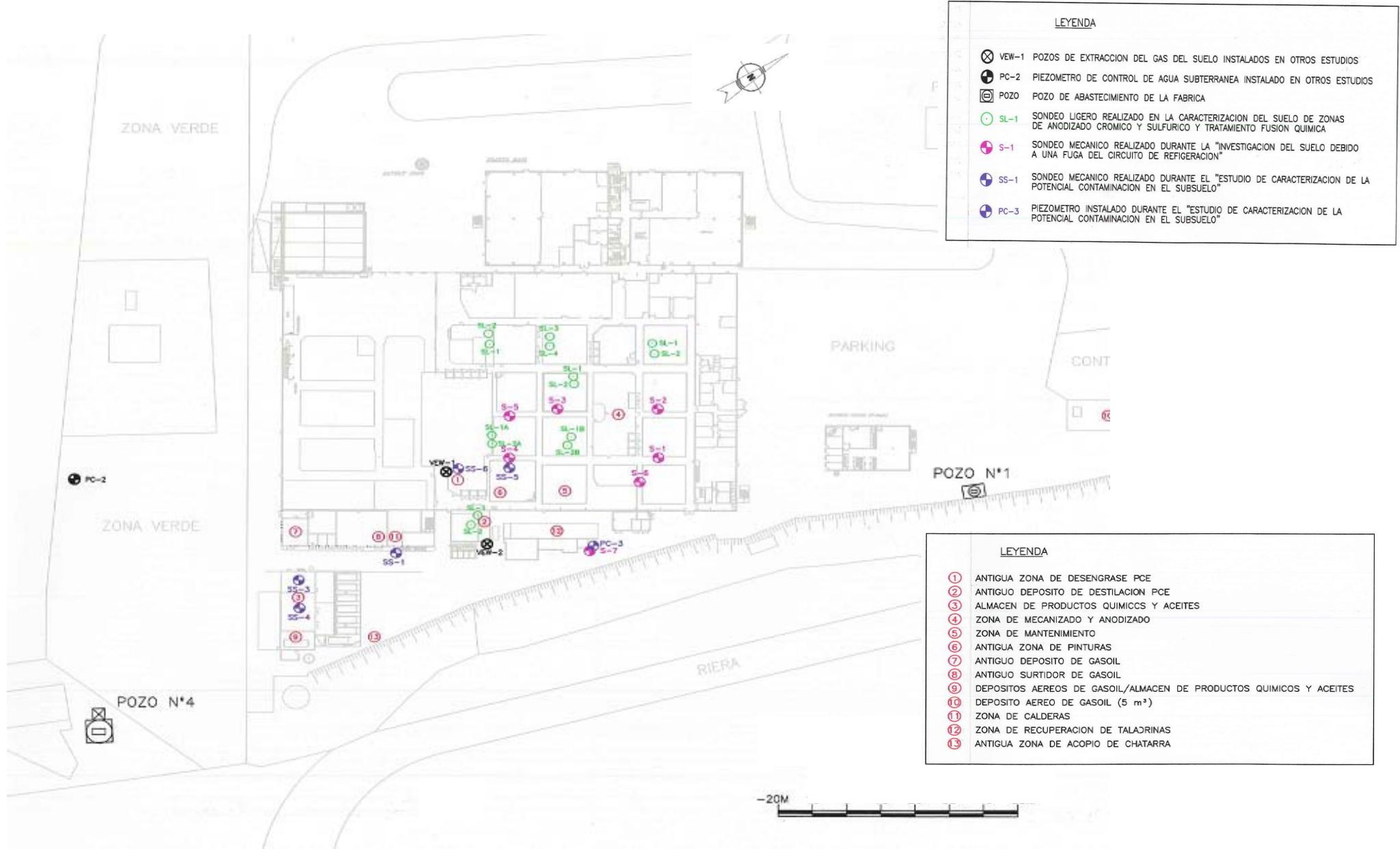




Plano 9. Situación de los pozos y minas del entorno de la zona de estudio

Fuente: Adaptación ICC ortofotomapta 1:25.000

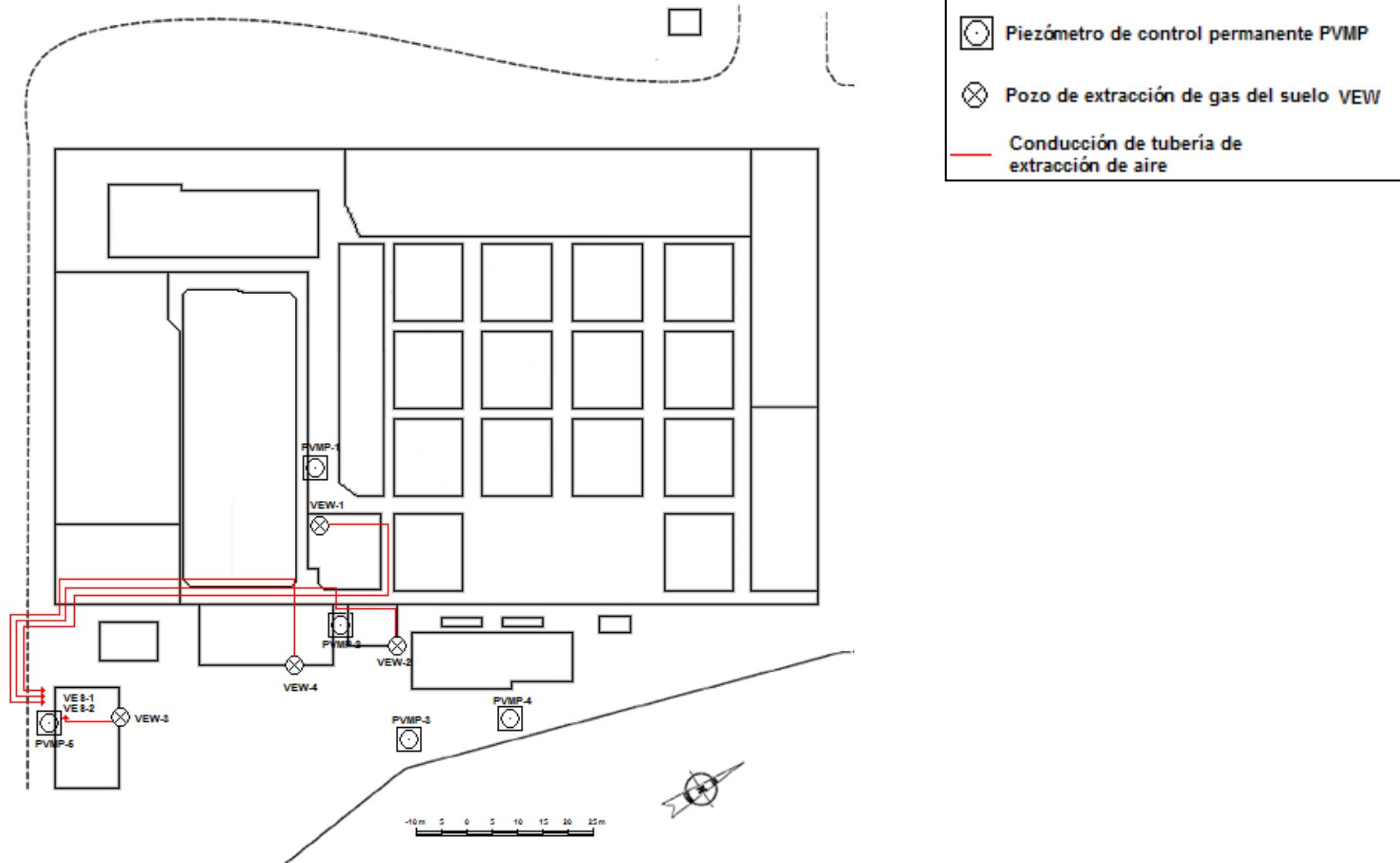
Fecha: 2.009



Plano 10. Localización de zonas potencialmente contaminadas y puntos de muestreo de estudios previos en referencia a los aceites minerales, cromo (III) y cromo (VI)
 Fuente: Investigación detallada de la calidad del suelo respecto a metales pesados y aceites minerales en los terrenos industriales Adaptación Letka.
 Fecha: 07/08/2.006



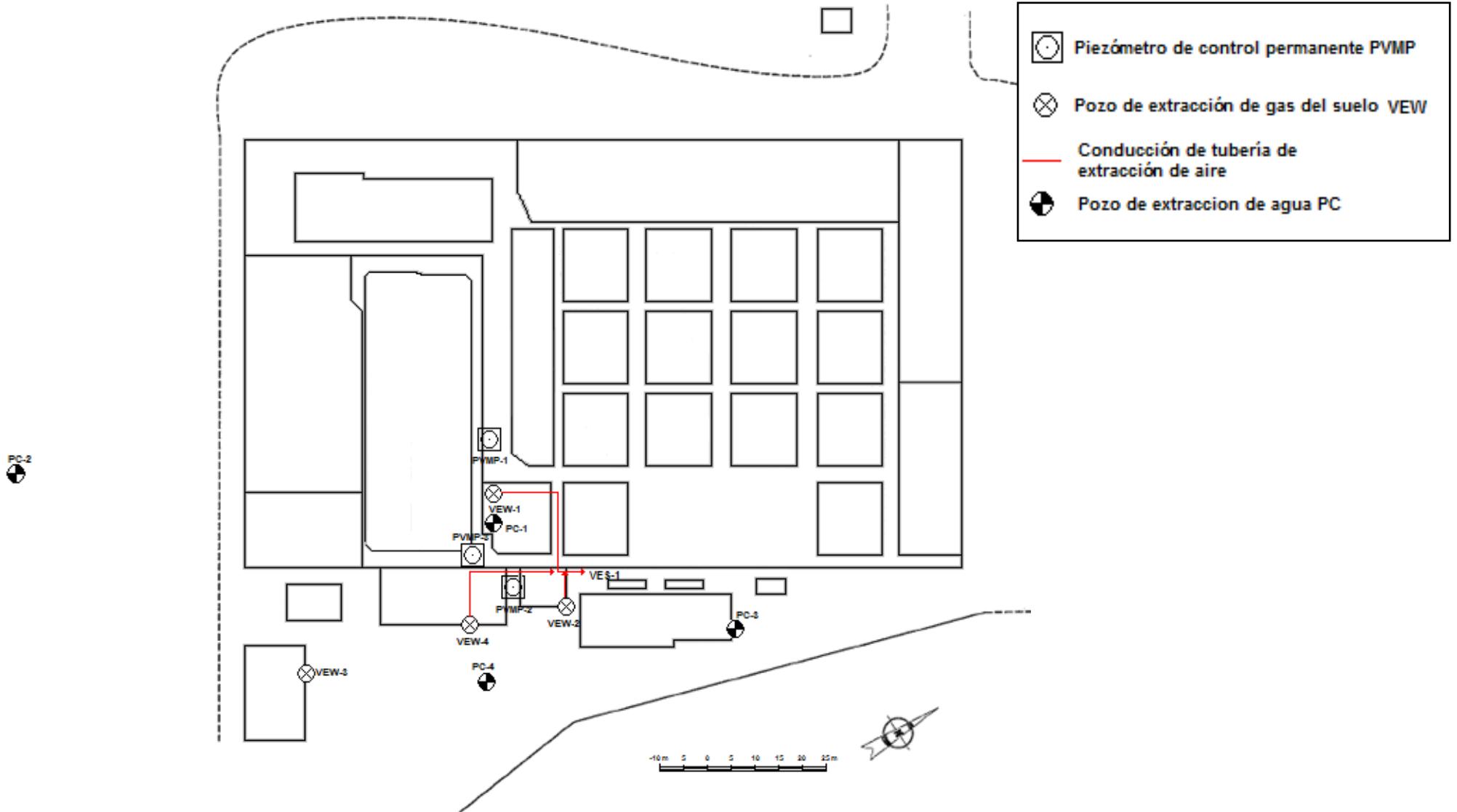
Plano 11. Localización de zonas potencialmente contaminadas y puntos de muestreo de estudios previos en referencia a los aceites minerales
 Fuente: Investigación detallada de la calidad del suelo respecto a aceites minerales en los terrenos industriales Adaptación Letka.
 Fecha: 07/08/2.006



Plano 12. Localización de pozos, piezómetros, sistemas de extracción y conducción de tuberías inicialmente 2.002 - 2.005

Fuente: Saneamiento de la zona no saturada en los terrenos industriales. 1º Informe de Avance (Enero – Abril 2.002). Adaptación Letka.

Fecha: 03/05/2.002

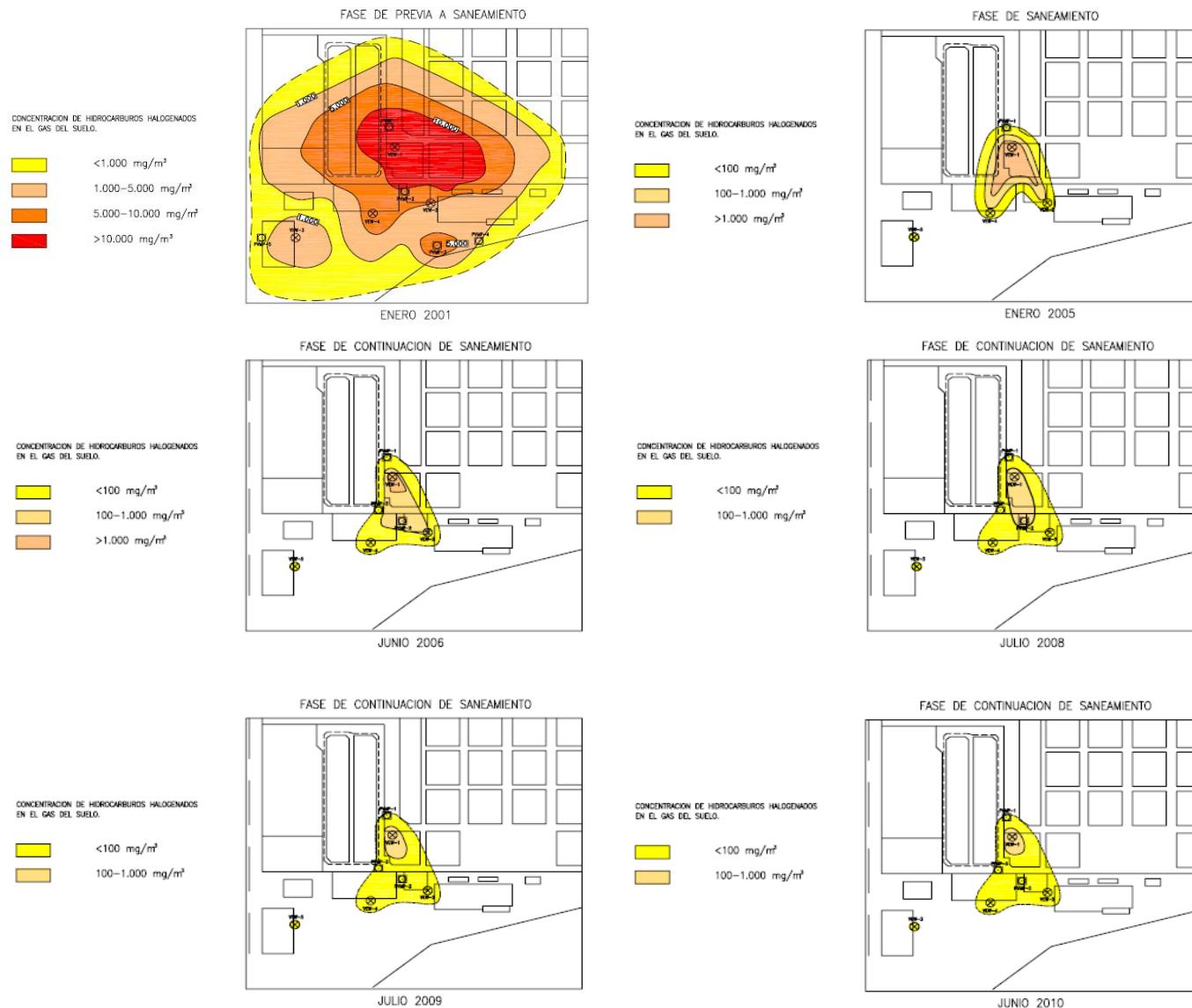


Plano 13. Localización de pozos, piezómetros, sistemas de extracción y conducción de tuberías final 2.005 - 2.010

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010).

Adaptación Letka

Fecha: 25/08/2.010



Plano 13. Evolución de los planos de isolíneas de concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles desde 2.001 a 2.010

Fuente: Continuación de saneamiento de la zona no saturada y control y tratamiento de las aguas subterráneas de las instalaciones (Julio 2.009 - Julio 2.010).

Adaptación Letka

Fecha: 25/08/2.010