



Congreso Nacional del Medio Ambiente
Cumbre del Desarrollo Sostenible

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Caracterización y recuperación de suelos en los aeropuertos de la red de Aena

Autor: **Marta Franco Matamala**

Institución: **División de Medio Ambiente y Normativa de Aena**
E-mail: **mfranco@aena.es**

Otros autores:



RESUMEN:

En esta Comunicación Técnica, se mostrará un resumen de los trabajos efectuados por Aena, con objeto de la caracterización de suelos de los recintos aeroportuarios y como, una vez caracterizados y a medida que se ha ido disponiendo de la información resultante de estos Estudios de Caracterización, se han desarrollado las actuaciones de descontaminación en aquellos aeropuertos donde los resultados analíticos y los análisis de riesgos así lo determinaron oportuno. En el caso de los trabajos de recuperación se ha dado prioridad a tratamientos 'in situ' y 'on site', sin necesidad de desplazamiento de los terrenos, por lo que se expondrán las técnicas utilizadas en los distintos casos encontrados.



INDICE

1. Introducción	3
2. La protección del suelo en el ámbito internacional	4
3. La protección del suelo en el ámbito estatal español	5
4. La protección del suelo en el ámbito aeroportuario	6
4.1. Estudios Previos	7
4.2. Visita de campo y diseño del muestreo	7
4.3. Análisis de las muestras y determinación de la contaminación del suelo	9
4.4. Valoración de riesgos	10
4.5. Actuaciones de recuperación de suelos contaminados	11
5. Alternativas de actuación para la descontaminación de suelos	12
5.1. Gestión de suelos contaminados por compuestos Inorgánicos	13
5.2. Gestión de suelos contaminados con compuestos orgánicos	15
6. Casos concretos de recuperación de terrenos	17
6.1. Descontaminación de la zona de antiguas prácticas del SEI en el aeropuerto de Zaragoza	17
6.2 Descontaminación de suelos en el entorno del aparcamiento de la terminal del aeropuerto de Palma de Mallorca	26



Introducción

Se entiende por suelo la capa superior de la corteza terrestre, situada entre el lecho rocoso y la superficie, compuesta de partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos. Constituye la interfaz entre la tierra, el aire y el agua, lo que le confiere la capacidad de desempeñar funciones naturales y de uso.

La importancia del suelo radica en las numerosas funciones que desempeña, tanto ambientales como económicas, sociales y culturales. El documento de la Comisión Europea "Hacia una estrategia temática para la protección del suelo" (COM (2002), 179) define las principales funciones del mismo, que se resumen en:

- Es fuente de alimentos y producción de biomasa. Constituye el hábitat de numerosos organismos, desempeñando funciones ecológicas esenciales
- Constituye uno de los principales factores para la protección del agua y de intercambio de gases con la atmósfera.
- Sirve de base a las actividades humanas y constituye un elemento del paisaje y del patrimonio cultural de la humanidad.
- Es fuente de materias primas.

Algunas de las características que diferencian el suelo de otros recursos:

- Es un recurso prácticamente no renovable, con una cinética de degradación rápida y tasas de formación y regeneración lentas.
- Tiene una gran capacidad de almacenaje y amortiguación, debida en parte a su contenido en materia orgánica. Esta capacidad está relacionada tanto con el agua, los minerales y los gases como con un gran número de contaminantes químicos. Cuando se superan los umbrales de irreversibilidad de almacenaje y amortiguación de los componentes del suelo, se produce su liberación y distribución en otros medios.
- Es un medio vivo con gran biodiversidad. La actividad biológica contribuye a determinar la estructura y fertilidad del suelo.
- A diferencia del aire y el agua, el suelo es un recurso que está generalmente sujeto a derechos de propiedad.

En el ámbito de la Unión Europea, la degradación del suelo (entendida como la pérdida de la capacidad de realizar las funciones que le son propias) tiene las siguientes causas principales: erosión, pérdida de materia orgánica, contaminación, compactación, reducción de biodiversidad, salinización y ciertas catástrofes naturales (inundaciones y deslizamientos de tierras).

En particular, la incorporación al suelo de agentes contaminantes por encima de su capacidad de amortiguación supone la contaminación del mismo y la posible contaminación de las aguas subterráneas, lo cual puede dar lugar a una limitación de algunas de sus funciones.

La presencia en el suelo de elementos tóxicos para la salud humana y/o los ecosistemas supone un riesgo que, de ser inaceptable, exige la implantación de medidas correctoras acordes con las características del caso. La acumulación de sustancias tóxicas en el suelo tiene con frecuencia un origen antrópico, pero también puede ocurrir de manera natural.



El efecto que causa la contaminación en el suelo como consecuencia de una mala gestión es, probablemente, la preocupación más recientemente adquirida en cuanto a afecciones al medio, no porque sea de menor importancia que los daños causados al aire o a las aguas, sino por ser de impacto más retardado. Mientras una emisión a la atmósfera o a los ríos es advertida casi de inmediato y, en consecuencia, tratada a distintos niveles, la contaminación de los suelos tiene unas secuelas más lentas y persistentes.

Dado que muchas de estas causas se dan simultáneamente en numerosos suelos, la consecución de una política en pro de la sostenibilidad del suelo requiere la adopción de una estrategia integrada para su protección.

1. La protección del suelo en el ámbito internacional

La preocupación explícita por la degradación y conservación del suelo por parte de organismos internacionales se remonta aproximadamente al año 1972. La Carta Europea de los Suelos, aprobada por el Consejo de Europa en 1972, y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano (Estocolmo 1972) empiezan a poner de manifiesto la preocupación por la degradación y contaminación del suelo como consecuencia del desarrollo humano.

La Carta Mundial de los Suelos, adoptada por la FAO (Roma 1981) y la Política Mundial del Suelo (PNUMA, 1982) persiguen el fomento de la cooperación internacional para el uso racional del recurso suelo y reflejan la preocupación por su degradación. En ellas se establecen los principios de actuación para la explotación de los suelos de forma sostenible y las directrices para la formulación de políticas nacionales.

Posteriormente, en la Convención Marco sobre el Cambio Climático de 1992 se recoge la importancia de los ecosistemas terrestres y se reconoce su papel como sumideros de gases de efecto invernadero, además de señalarse que la degradación del suelo y sus cambios de uso inciden negativamente en el aumento global de las emisiones de estos gases.

En esa misma línea, el Protocolo de Kioto (1997) promueve el desarrollo sostenible e invita a todas las partes a aplicar políticas y medidas de protección y aumento de los sumideros de gases de efecto invernadero.

En cuanto a la problemática específica de la erosión de los suelos y la pérdida de suelo agrícola a nivel mundial, la Convención de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (1994) marcó como objetivo prevenir y reducir la degradación del suelo, rehabilitar las zonas que están parcialmente degradadas y recuperar las que se hayan desertificado.

La conciencia de la comunidad internacional respecto a la necesidad de proteger el suelo es cada vez más evidente, como lo ponen de manifiesto las iniciativas y compromisos políticos y legales para la protección de los recursos y del medio ambiente (Nairobi 1997, Malmö 2000, Johannesburgo 2002 y Nairobi 2006).

En el ámbito de la Unión Europea, dada la importancia de los suelos y la necesidad de frenar su degradación, el Sexto Programa de Acción Comunitario en Materia de Medio Ambiente ⁽¹⁾ incluye una estrategia temática para la protección del suelo, la cual hace especial hincapié en prevenir la contaminación, la erosión, la desertización, la degradación del suelo, la ocupación de terrenos y los riesgos hidrogeológicos.

¹ Decisión n° 1600/2002/CE del Parlamento Europeo y el Consejo, de 22 de julio de 2002, por la que se establece el Sexto Programa de Acción Comunitario en materia de Medio Ambiente (DO L 242 de 10.9.2002, p. 1).



Como primera etapa, la Comisión presentó en 2002 una Comunicación (COM (2002) 179), llamada “Hacia una estrategia temática para la protección del suelo”, que suscitó conclusiones favorables por parte de las demás instituciones europeas, siendo la primera que aborda de forma específica la protección del suelo.

Con objeto de garantizar su adecuada protección, a Nivel Europeo se crea la Estrategia Temática para la Protección del Suelo que consta de una Comunicación (COM (2006) 231) de la Comisión a otras Instituciones europeas, con una propuesta de Directiva Marco.

Esta comunicación, crea el marco de actuación y explica el porqué de la necesidad de asegurar a un nivel alto de protección los suelos, exponiendo el objetivo total de la Estrategia y añadiendo el tipo de medidas que deben ser tomadas. Todo ello se articula en un programa de trabajo de diez años para la Comisión Europea

Por último, hay que destacar la propuesta de la Directiva Marco (COM (2006) 232) dispone los principios comunes de la Unión Europea para proteger los suelos. Dentro de este marco común, se solicitará a los Estados miembros que adopten medidas específicas para abordar las amenazas que afectan al suelo, dejando a los estados miembros un amplio margen en la aplicación de los requisitos.

2. La protección del suelo en el ámbito estatal español

Centrándose en la problemática específica de la contaminación del suelo en España, la Dirección General de Política Ambiental del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (MOPTMA), acometió a principios de los años noventa la realización de estudios de identificación de suelos contaminados, presentando en 1993 el "Inventario Nacional de Suelos Contaminados".

En febrero de 1995 se aprobó el "Plan Nacional de Recuperación de Suelos Contaminados (1995-2005)", en el que se contemplaba la identificación, caracterización, actuaciones de rehabilitación, control y vigilancia de los emplazamientos hasta su completa recuperación.

En el terreno legislativo, la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos, dedica íntegramente su Título V a los Suelos Contaminados e introduce en el ordenamiento jurídico español el concepto de suelo contaminado, atribuyendo a las Comunidades Autónomas la competencia para declarar, delimitar y hacer un inventario de suelos contaminados.

La Ley define suelo contaminado como *“todo aquel cuyas características físicas, químicas o biológicas han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes de carácter peligroso de origen humano, en concentraciones tal que comporte un riesgo para la salud humana o el medio ambiente, de acuerdo con los criterios y estándares que se determinen por el Gobierno”*.

En el ya mencionado Título V se recogen, además, aspectos como: “La declaración de un suelo como contaminado, obligará a realizar las actuaciones necesarias para proceder a su limpieza y recuperación, en la forma y plazos en que determinen las respectivas Comunidades Autónomas”.

La publicación del “Real Decreto 9/2005, 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” constituye una base legal que



permite la aplicación de aquellos aspectos contemplados en el Título V de la Ley de Residuos.

Este Real Decreto, en su artículo 3, establece la obligación, a los titulares de las actividades incluidas en el Anexo I, a realizar un Informe Preliminar de Situación, en un plazo no superior a dos años, para cada uno de los suelos en los que se desarrolla dicha actividad, con el alcance y contenido mínimo recogido en el Anexo II del mismo.

Así mismo, el Real Decreto establece la obligación de realizar una Valoración de Riesgos en los suelos, que una vez caracterizados, superen los índices de contaminación establecidos en el Anexo IV.

El informe preliminar, es un documento de carácter técnico que tiene el objetivo de aportar información para valorar la posibilidad de que se hayan producido o se produzcan contaminaciones significativas en el suelo sobre el que se asientan actividades potencialmente contaminantes.

Su naturaleza es declarativa, es decir, es el propio interesado el que declara una situación pasada y presente en el suelo afectado. No supone la obligación de realizar ensayos o análisis específicos.

Respecto al modo en que debe elaborarse, algunas Comunidades Autónomas establecieron sus propios formatos de presentación (Madrid, Andalucía, Castilla y León, Cataluña, La Rioja...), recogidos en sus páginas web, aunque se está respetando la estructura propuesta en el RD 9/2005.

En el caso concreto de los aeropuertos, dado que las actividades desarrolladas por Aena se encuentran incluidas en Anexo I con los siguientes códigos, *CNAE 63,23: Otras actividades anexas al transporte aéreo*, en el que se incluye *63.231 Explotaciones de aeropuertos* y *CNAE 50,20: Mantenimiento y reparación de vehículos de motor*, Aena presentó a cada Comunidad Autónoma correspondiente y para cada uno de sus aeropuertos, el citado informe preliminar, que según los criterios que haya adoptado cada comunidad autónoma, requerirán si lo consideran necesario, una caracterización más detallada.

3. La protección del suelo en el ámbito aeroportuario

Aena, con el fin de conocer el estado actual en que se encuentran los suelos y las aguas subterráneas de los aeropuertos de su red, se ha adelantado al cumplimiento de la legislación y está elaborando un estudio de caracterización de todos sus recintos aeroportuarios.

En función de los resultados analíticos obtenidos en cada aeropuerto, se realiza si es necesario, el análisis de riesgos asociados a la potencial contaminación del suelo y las actuaciones de descontaminación en los suelos contaminados que se hubieran detectado.

Así pues, Aena está llevando a cabo una media de 15 estudios de caracterización por año, habiéndose realizado hasta la fecha estudios de caracterización de suelos en 35 de los 47 aeropuertos de la red.



Situación Suelos	
Total de aeropuertos en los que se han caracterizado suelos	35
Nº aeropuertos con suelos no contaminados	22
Nº aeropuertos con suelos contaminados	13
Nº aeropuertos descontaminados	6
Nº aeropuertos en proceso de descontaminación a finalizar en 2008	5

A continuación se describen los pasos que se llevan a cabo para realizar un estudio de caracterización tipo:

4.1. Estudios Previos

Histórico

Se recopila toda la información disponible sobre los emplazamientos, para conocer en profundidad la evolución cronológica de los usos del suelo y su interrelación con las posibles alteraciones de la calidad del mismo, facilitando el diseño y la acometida de las siguientes fases de caracterización.

Medio Físico

Se realizará un análisis del medio físico de los emplazamientos y su entorno desde diferentes puntos de vista: geología, geomorfología, hidrogeología, vegetación, edafología, etc.

4.2. Visita de campo y diseño del muestreo

Se trata de una examen preliminar del aeropuerto teniendo en cuenta los datos actuales e históricos de las actividades realizadas en el mismo para determinar, en función de ella:

- El estado real del emplazamiento y así poder detectar los posibles indicios de contaminación en función de las características organolépticas y visuales.
- Inspección visual del medio circundante.
- Puntos en los cuales realizar la toma de muestras y su metodología.

En función de esta inspección se diseña la campaña de muestreo con objeto de alcanzar un conocimiento detallado de la situación ambiental de suelos y aguas subterráneas en el emplazamiento.

La toma de muestras se puede realizar por los siguientes métodos:

- **Ejecución de sondeos** para la toma de muestras de suelo y agua. Este método de muestreo es aconsejable para zonas pavimentadas como plataformas o áreas anexas a instalaciones de combustible, así como para muestreos donde se necesite llegar al nivel freático.
- **Ejecución de calicatas** para la toma de muestras de suelo, método específico para áreas sin pavimentar y donde no es necesario alcanzar grandes profundidades.
- Toma de **muestras superficiales**. Este método se utiliza en áreas donde hallan podido existir vertidos superficiales.
- **Medición de compuestos volátiles**

En general en los recintos aeroportuarios se realizan muestreos mixtos, utilizando según las necesidades, los distintos muestreos mencionados anteriormente.

En el plano siguiente, se puede observar la ubicación tipo de los puntos de muestreo.

Ilustración: Diseño típico de la campaña de muestreo



Todos los trabajos se desarrollan según métodos y procedimientos establecidos por una entidad de inspección acreditada y bajo un sistema de calidad de inspección conforme a

la norma UNE-EN 45.004:1995² acreditado para las actividades en el campo medioambiental, y más concretamente en suelos y áreas subterráneas.



Elaboración sondeo manual



Elaboración de un sondeo

4.3. Análisis de las muestras y determinación de la contaminación del suelo

Una vez recogidas las muestras en campo, es necesario realizar su análisis para determinar las concentraciones de contaminantes.

Los niveles de compuestos orgánicos en suelos se comparan con los niveles establecidos en el *Real Decreto 9/2005, 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*. Este texto legislativo diferencia entre tres tipos de usos de suelo: Industrial, Urbano y otros usos. Para cada uno de los usos, se recoge un Nivel Genérico de Referencia (NGR) cuya superación establece la necesidad de realizar un Valoración de Riesgos Ambientales (VRA). Existe un segundo nivel a partir del cual un suelo se considera directamente como contaminado (>100*NGR).

Los valores obtenidos en los análisis de metales pesados y agua subterránea, dado que no se recogen NGR para ellos en el Real Decreto 9/2005, se comparan con los niveles establecidos en la "Dutch List" (tablas holandesas) o con las legislaciones autonómicas existentes (País Vasco, Comunidad de Madrid).

Con todo ello, y en función de todos los datos disponibles de los estudios e informes realizados, se efectúa la comprobación de si el suelo presenta o no algún grado de contaminación

Una vez obtenido el resultado de los análisis, se elabora una tabla donde se representan los componentes que han superado los niveles genéricos de referencia.

² Criterios generales para el funcionamiento de diversos tipos de organismos que realizan inspección

Tabla de resultados obtenidos

Compuestos	Muestras					
	S106S8T1 1,00	S106S8T2 3,00	S106S8T3 6,20	S106S8T4 9,00	S106S8T5 12,00	S106S11T1 3,00
o-Xileno	6,0	31	N.D.	0,066	N.D.	16
m,p-Xileno	8,3	73	0,18	44	0,34	28
Xilenos (sum)	14	100	0,18	44	0,34	44
Alifáticos >C5 - C6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Alifáticos >C6 - C8	42	260	3,2	210	2	92
Alifáticos >C8 - C10	770	850	N.D.	660	140	520
Alifáticos >C10 - C12	2.600	1.900	35	1.200	680	1.500
Alifáticos >C12 - C16	3.500	2.300	97	1.100	660	1.800
Alifáticos >C16 - C21	170	82	N.D.	28	19	71
Alifáticos >C21 - C35	580	380	17	190	130	57
Total Alifáticos	7.600	5.900	160	3.400	1.600	4.000
Aromáticos C6- C8	N.D.	5,5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Aromáticos >C8 - C10	54	140	N.D.	81	9	80
Aromáticos >C10 - C12	520	360	N.D.	200	74	310
Aromáticos >C12 - C16	790	460	N.D.	230	130	510
Aromáticos >C16 - C21	86	40	N.D.	17	11	52
Aromáticos >C21 - C35	190	96	N.D.	45	30	22
Total Aromáticos	1.600	1.100	N.D.	570	250	970
TPH	9.300	7.000	190	4.000	1.900	5.000

	Niveles que exigen la realización de una VRA
	Niveles que exceden de los valores indicativos de contaminación de suelos

4.4. Valoración de riesgos

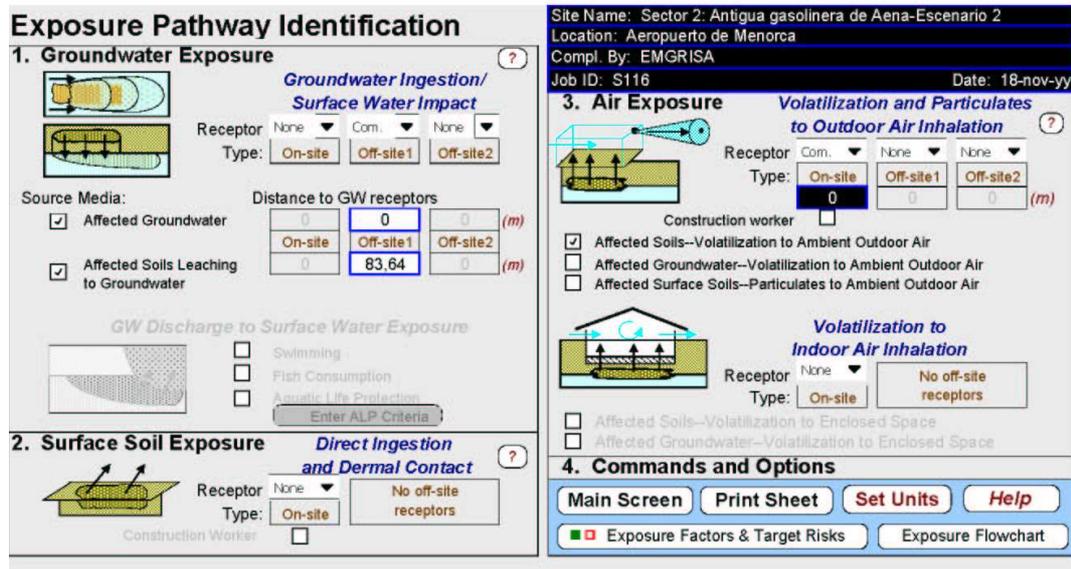
En los emplazamientos donde se han superado los NGR y siguiendo lo establecido en el Real Decreto 9/2005, se realiza una valoración de riesgos ambientales.

Para la realización de la valoración, se utiliza el programa RBCA Toll Kit for Chemical Releases, definido en la ASTM PS-104 (Standard Provisional guide for Risk Based Corrective Actino /ASTM, 1998).

Este programa se basa en la elaboración de un modelo conceptual mediante la definición de las vías de exposición, los mecanismos de transporte y los focos de contaminación, para cada uno de los sectores considerados. Para ello, se introducen en el programa los parámetros hidrogeológicos y meteorológicos, así como los factores de exposición.

Se trata de un estudio completamente particularizado para cada emplazamiento, en función de las concentraciones detectadas de contaminantes y del uso que tiene el suelo, con el que se pretende determinar la 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 para el medio ambiente.

A continuación se muestra un ejemplo del proceso de Valoración de Riesgos



Exposure Pathway Identification

Site Name: Sector 2: Antigua gasolinera de Aena-Escenario 2
 Location: Aeropuerto de Menorca
 Compl. By: EMGRISA
 Job ID: S116 Date: 18-nov-yy

1. Groundwater Exposure *Groundwater Ingestion/ Surface Water Impact*

Receptor: None Com. None
 Type: On-site Off-site1 Off-site2

Source Media:
 Affected Groundwater
 Affected Soils Leaching to Groundwater

Distance to GW receptors (m):
 On-site: 0 Off-site1: 83.64 Off-site2: 0

GW Discharge to Surface Water Exposure
 Swimming
 Fish Consumption
 Aquatic Life Protection
 Enter ALP Criteria

2. Surface Soil Exposure *Direct Ingestion and Dermal Contact*

Receptor: None
 Type: On-site No off-site receptors

Construction Worker:

3. Air Exposure *Volatilization and Particulates to Outdoor Air Inhalation*

Receptor: Com. None None
 Type: On-site Off-site1 Off-site2 (m)
 0 0 0

Construction worker:

Affected Soils–Volatilization to Ambient Outdoor Air
 Affected Groundwater–Volatilization to Ambient Outdoor Air
 Affected Surface Soils–Particulates to Ambient Outdoor Air

Volatilization to Indoor Air Inhalation
 Receptor: None
 Type: On-site No off-site receptors

Affected Soils–Volatilization to Enclosed Space
 Affected Groundwater–Volatilization to Enclosed Space

4. Commands and Options

Main Screen Print Sheet Set Units Help
 Exposure Factors & Target Risks Exposure Flowchart

Ambientales.

Fuente: RBCA Tool Kit for Chemical Releases del aeropuerto de Menorca

Los resultados facilitados por el programa, pueden indicar la no existencia de riesgo en el sector estudiado, para los receptores y las vías de exposición establecidas, por lo que se consideraría el terreno como “No contaminado”.

O bien, la valoración de riesgos, puede indicar, que exista riesgo en las condiciones de exposición evaluadas, ya sea por contacto dérmico o por ingestión accidental, considerando por tanto el suelo como “Contaminado” y sería necesario iniciar actuaciones de descontaminación.

4.5. Actuaciones de recuperación de suelos contaminados

Las labores de descontaminación constituyen la etapa final dentro del proceso de estudio de los suelos. La descontaminación puede ser promovida directamente por la empresa o ser consecuencia de una Declaración Administrativa por el órgano ambiental de la Comunidad Autónoma. En ese caso, esta entidad determinará los términos y plazos en que se realice.

En el caso de Aena, la recuperación de terrenos se están realizando en aquellos aeropuertos en los que una vez elaborados los estudios de caracterización, los resultados de los análisis efectuados, son superiores a lo permitido por la legislación o bien porque, una vez realizada la Valoración de Riesgos Ambientales, ésta indique que existe riesgo para la salud humana o para el medio ambiente.

De los 35 aeropuertos caracterizados hasta el momento, el 63 % se encuentra sin ningún tipo de contaminación de suelos.

En el 37% restante existen índices de contaminación por encima de los niveles establecidos por la legislación, correspondiendo más de la mitad a áreas reducidas donde se encuentran contaminaciones muy concretas, las cuales han sido descontaminadas mediante sencillas actuaciones.



Hasta el momento ya se han descontaminado 6 de los 13 aeropuertos en los que se han detectado suelos contaminados. De los 7 restantes, en 5 ya se ha iniciado el proceso de descontaminación que está previsto finalice a finales de 2008.

En cuanto al tipo de contaminación detectada, el caso mayoritario en los aeropuertos proviene normalmente de hidrocarburos, por lo que las actuaciones de recuperación de los terrenos están orientadas a la eliminación in situ de estos compuestos orgánicos, empleándose técnicas de descontaminación como: biorremediación por biopilas, landfarming, bioventing, extracción con barreras pasivas, etc.

Cuando no es posible un tratamiento con técnicas económicamente viables se adoptan medidas de contención de la contaminación para reducir la exposición a la misma. En último extremo, y en casos donde no ha sido posible la recuperación del suelo mediante algún tipo de tratamiento, se procede a la gestión de las tierras en un vertedero autorizado.

Dentro de los recintos aeroportuarios, en los casos donde se han encontrado zonas de contaminación más extensas, suelen estar debidas a los siguientes hechos:

- Antiguas prácticas del Servicio de Extinción de Incendios que se realizaban sobre terreno natural. Ejemplo: Aeropuertos de Zaragoza y Lanzarote.
- Contaminación procedente de las parcelas concesionadas a instalaciones de combustible, las cuales se encuentran contaminadas por combustible y este rebasa los límites de las concesiones, filtrándose dentro del sistema general aeroportuario. Ejemplos: Aeropuertos de Sabadell y Palma de Mallorca
- Parcelas que fueron adquiridas por el aeropuerto y que ya se encontraban contaminadas, situación que se desconocía cuando fueron adquiridas por Aena. Ejemplos: Aeropuertos de Santander y Bilbao.

4. Alternativas de actuación para la descontaminación de suelos

Para definir la técnica de descontaminación más apropiada, antes de abordar los trabajos de descontaminación deben tenerse en cuenta varios aspectos clave, establecidos en el RD 9/2005:

- Se dará prioridad al tratamiento 'in situ'.
- La recuperación se realizará empleando las mejores técnicas disponibles dependiendo las características de cada caso.
- La actuación garantizará que la contaminación remanente (residual) no suponga un riesgo para el uso del suelo.
- Cuando no sea posible una recuperación se aceptarán medidas de contención de la contaminación para reducir la exposición.

Es precisamente en este ámbito donde se genera uno de los problemas actualmente más importantes. El déficit de infraestructuras técnicamente adecuadas para el tratamiento de suelos contaminados hace que, en muchas ocasiones, se trasladen a los vertederos existentes, operación que va claramente en contra de lo establecido en el Real Decreto 1481/2001 por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

En él se cita expresamente: “Se pretende así que la eliminación de residuos mediante su depósito en vertedero, ..., se utilice únicamente para aquellos residuos para los que actualmente no existe tratamiento...”

En este sentido, la “Decisión del Consejo, de 19 de diciembre de 2002, por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos” limita claramente la posibilidad de envío a estas instalaciones de los suelos contaminados por residuos peligrosos, en especial por compuestos orgánicos.

Como ejemplo de aplicación inmediata de esta filosofía se puede citar el que varias Comunidades Autónomas, entre las que se encuentran Cataluña y Madrid, han aprobado un “canon de vertido” para todos aquellos materiales, incluidos los suelos contaminados, que entren en los vertederos.

Es habitual el uso como herramienta de apoyo, a la hora de seleccionar las técnicas más apropiadas para cada caso, el documento “Remediation Technologies Screening Matrix” de la Federal Remediation Technologies Roundtable.

La selección del tratamiento aplicable a los suelos contaminados debe partir de un estudio detallado de la contaminación presente en el emplazamiento. Son fundamentales aspectos como las características de los contaminantes y los volúmenes detectados.

La decisión final tiene que basarse en dos líneas de trabajo fundamentales:

- Lugar en el que se va a realizar la gestión de los suelos contaminados.
- Carácter de la contaminación, orgánico o inorgánico.

Se presenta a continuación un esquema de evaluación de alternativas hasta llegar a la elección final. En primer lugar, es necesario definir si es posible o no la excavación de los terrenos afectados. Ello repercute de manera muy importante en la selección del sistema de tratamiento.



5.1. Gestión de suelos contaminados por compuestos Inorgánicos

Pocas son las actuaciones en nuestro país encaminadas a la recuperación de suelos contaminados por compuestos inorgánicos, fundamentalmente metales pesados.

Las tres tecnologías razonablemente aplicables, desde un punto de vista tanto técnico como económico serían las que se describen a continuación.

- **Estabilización**, los metales contenidos en el suelo se encuentran sometidos a procesos de lixiviación y absorción por la vegetación. La remediación tiene que estar encaminada a la limitación de su movilidad, es decir de su solubilidad.

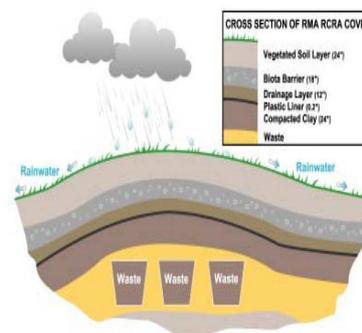
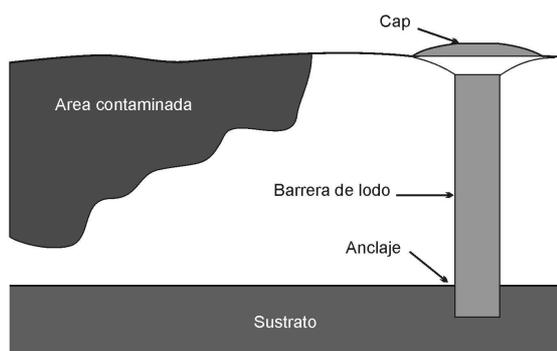
La filosofía de estos procesos se centra en lograr un pH en torno a 9-10, rango en el cual los hidróxidos metálicos alcanzan su mínima capacidad de lixiviación. Los agentes estabilizantes más empleados son el óxido de cal, el cemento y algunos óxidos, como el de magnesio.

- **Lavado de suelos**, este proceso puede seguir dos vías: la primera de ellas busca la transmisión de la contaminación desde el suelo hasta el fluido de lavado; la segunda pretende la concentración mecánica de los compuestos contaminantes en una fracción de volumen mucho más pequeña, la cual tiene que ser gestionada por otro método con posterioridad.

El lavado de suelos puede ser potenciado mediante la adición de algún agente lixivante, un surfactante, un ajuste de pH u otros métodos que permitan una liberación más fácil de la contaminación.

- **Aislamiento**, esta opción consiste en evitar el contacto del suelo contaminado con su entorno. Esta técnica no permite la eliminación del problema que representa la existencia del terreno contaminado, sino que se trata de una medida temporal hasta que se encuentre la solución adecuada al mismo. Por ello, generalmente la aplicación de esta técnica se restringe a los casos en los que la descontaminación resulta inviable económicamente.

La solución puede ser la gestión en un vertedero correctamente impermeabilizado, de acuerdo con el RD 1481/2001, o bien el aislamiento en el propio emplazamiento, sin llegar a excavar. Para ello se emplean barreras verticales, ancladas generalmente en un estrato inferior impermeable. Se aplican técnicas comunes en ingeniería civil como barreras de lodo-bentonita, tablestacas, etc.



Un ejemplo de este tratamiento implantado en un aeropuerto, fue la Celda de Seguridad de Loiu, donde fueron clausuradas las tierras contaminadas por Lindano, encontradas en el aeropuerto de Bilbao. Esta celda fue construida conjuntamente con el Gobierno Vasco.

Ilustración: Celda de Lindano en el aeropuerto de Bilbao



5.2. Gestión de suelos contaminados con compuestos orgánicos

La mayoría de las actuaciones de recuperación de terrenos están dirigidas hacia emplazamientos que presentan vertidos de compuestos orgánicos. La contaminación por compuestos orgánicos, es el caso mayoritario en los aeropuertos, dado que el origen de la contaminación proviene normalmente de los hidrocarburos.

Tratamientos In Situ

Son tratamientos que se realizan en el mismo lugar donde se encuentran las tierras contaminadas, existen varios métodos de este tipo de tratamiento, entre ellos se encuentran:

- **Extracción de Vapor del Suelo (SVE)**, este método elimina las sustancias químicas perjudiciales, que aparecen en forma de gases en el suelo, por encima del nivel freático. Para facilitar la extracción y control se crea un vacío desde la superficie del terreno. El proceso se ve favorecido por la introducción de aire a presión para lograr el arrastre de los vapores. Adecuado para disolventes y combustibles ligeros.
- **Bioventing**, esta tecnología se basa en la aireación del subsuelo con objeto de estimular la actividad biológica y promover la biodegradación.

Esta actuación fue realizada en el aeropuerto de Menorca, concretamente en la zona de prácticas de bomberos. Se realizó el aporte de oxígeno necesario para incrementar la acción de las bacterias, provocando la biodegradación en el suelo.

- **Tratamiento Térmico In Situ**, consiste en movilizar los elementos químicos nocivos, a través del suelo o las capas de agua subterráneas mediante su calentamiento. Los vapores procedentes de los compuestos calentados se movilizan hacia los sondeos efectuados previamente. En ellos son captados y extraídos por bombeo hasta la superficie, donde son tratados.
- **Oxidación Química In Situ**, favorece la descomposición y destrucción de los contaminantes orgánicos del suelo mediante el empleo de oxidación. La

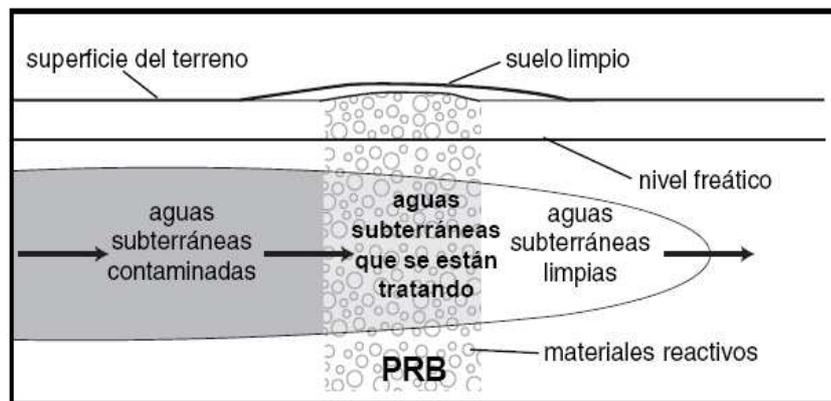
reducción del contaminante se puede alcanzar en plazos de tiempo cortos (semanas).

El contacto entre los contaminantes orgánicos y el oxidante origina dióxido de carbono y agua, reduciendo las concentraciones de hidrocarburos de petróleo en suelos y agua. Estas técnicas son específicas para tratar contaminantes en la zona saturada y próxima a la fuente de contaminación.

- **Barreras Reactivas Permeables**, esta tecnología es usada para la remediación de aguas subterráneas. Se basa en la construcción de una barrera o muro permeable, en el sentido de la pluma con materiales reactivos adaptados al tipo de contaminante. A medida que el agua subterránea pasa a través de la barrera, los contaminantes son removidos por un proceso químico o físico.

Entre los materiales reactivos más corrientes empleados están el hierro, la piedra caliza y el carbono. Los materiales reactivos se mezclan con arena para facilitar que el agua fluya a través de la pared.

Fig. 8. Esquema típico de barrera reactiva



Tratamientos On Site/Off Site,

Estas técnicas de tratamiento de suelos requieren de excavación de las tierras contaminadas y permiten la eliminación de la contaminación, bien mediante la implantación de un proceso en el mismo emplazamiento afectado, On Site, bien a través del transporte del suelo hasta una instalación de tratamiento previamente existente, Off Site.

Tratamientos Térmicos

- **Incineración:** La aplicación de altas temperaturas permite eliminar los contaminantes, el problema existente es la destrucción del propio suelo.
- **Desorción Térmica:** Este proceso consiste en alcanzar la volatilización de los contaminantes que afectan a los terrenos, pero sin llegar a destruir la estructura natural de estos.

Tratamientos Biológicos

- **Compostaje:** proceso biológico aerobio, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia rápidamente biodegradable (restos de cosecha, excrementos de animales y residuos urbanos), permitiendo obtener "compost", abono excelente para la agricultura.

- **Landfarming:** El proceso de Landfarming es una tecnología de remediación biológica de suelos contaminados o lodos mediante la cual los microorganismos generan materiales inocuos para el ambiente o subproductos estabilizados que no representan peligro. Este mecanismo ha sido empleado en los aeropuertos de Zaragoza y Lanzarote.

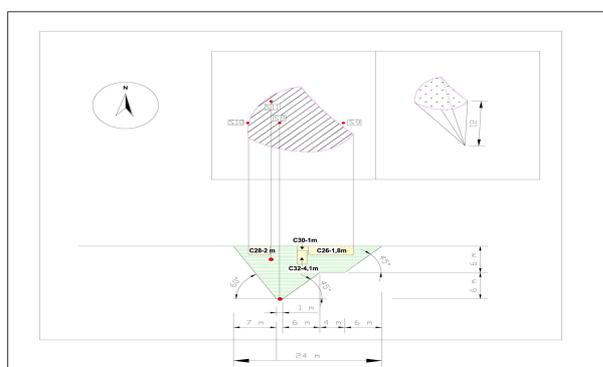
5. Casos concretos de recuperación de terrenos

6.1. Descontaminación de la zona de antiguas prácticas del SEI en el aeropuerto de Zaragoza

Como ejemplo de un proceso de descontaminación se describe a continuación el realizado en la antigua zona de prácticas del Servicio de Extinción de Incendios (SEI) del aeropuerto de Zaragoza, una zona localizada al oeste del aeropuerto donde se llevaban a cabo ejercicios de prácticas con fuego real sobre suelo natural, sin ningún tipo de contención de derrames.

Como consecuencia se produjo la afección del suelo por hidrocarburos, motivo por el cual se decidió llevar a cabo una actuación para la recuperación de los terrenos contaminados mediante su excavación y posterior tratamiento mediante técnica de landfarming.

El área a excavar con las tierras contaminadas tenía una superficie de 160 m² y una profundidad aproximada de 10 m, en total se llegó a un volumen de excavación de 2.200 m³, de los cuales 1.000 m³ eran material contaminado.



Esquema hueco de excavación

En base a los datos obtenidos en los estudios realizados, se evaluaron distintas alternativas de actuación, encaminadas a resolver el problema de contaminación detectado en el aeropuerto. A la hora de seleccionar la/s técnica/s más apropiada/s en este caso, se utilizó como herramienta de apoyo el documento "Remediation Technologies Screening Matrix" de la Federal Remediation Technologies Roundtable.

Como resultado de la evaluación, se concluyó que la opción más favorable para resolver el problema, era la formación de un sistema de pilas y la aplicación de un tratamiento de landfarming a las mismas, en el periodo de tiempo comprendido entre marzo, finalización de la época de heladas, y octubre.

En el siguiente apartado se describen los trabajos de descontaminación y recuperación de suelos llevados a cabo en la antigua zona de prácticas del S.E.I. con el fin de eliminar

o reducir a niveles de riesgo aceptables en función del uso del suelo. En concreto se llevaron a cabo las siguientes actuaciones:

- Preparación de las zonas impermeabilizadas

De manera previa al inicio de los trabajos se llevó a cabo el acondicionamiento de unas zonas impermeabilizadas para albergar los suelos contaminados sin riesgos de que la emisión de lixiviados pudiera contaminar el terreno subyacente.

Se adecuaron cuatro áreas iguales, de 236 m² cada una (4 x 59 m y de 0,2 a 0,45 m de profundidad), recubiertas por una lámina de geotextil de 150 g/m², sobre la que se colocó una membrana de polietileno de alta densidad, de 1,5 mm de espesor.

Estas cuatro superficies fueron realizadas con una pendiente que permitía recoger los lixiviados en los extremos de las mismas.



Fotos de Impermeabilización de las zonas de ubicación de las Biopilas

Una vez finalizada la colocación de las láminas, se extendió encima una capa de tierra, procedente de la propia excavación de las camas, con el objeto de proteger la lámina de PEAD.

- Excavación de los suelos afectados

Los trabajos comenzaron replanteando la zona contaminada en superficie, y tras ello se delimitó un perímetro de excavación, con el objetivo de formar taludes con una pendiente suficiente para obtener una estabilidad adecuada una vez que la excavación hubiese llegado a cierta profundidad.

Posteriormente, se procedió a excavar los primeros cuatro metros, separando en todo momento el material contaminado del que no lo estaba, transportando el primero a la zona de biopilas, y el segundo, a una zona de acopio previamente acondicionada para ello.

Una vez que se llegó a la cota -4 de excavación, se ejecutó una pista de acceso, para facilitar la carga de material al camión. Esta pista permitió la entrada del camión hasta la cota -8 para poder ser cargado mediante la retroexcavadora.



Fotos del Procedimiento de excavación

Tras llegar a la cota -10, se detuvo la excavación, ya que el nivel de contaminación remanente en el fondo del hueco de excavación y en los taludes del mismo no superaba los 500 mg/kg.

El valor de 500 mg/kg, se considera el nivel objetivo a alcanzar, establecido en la DECISIÓN DEL CONSEJO, de 19 de diciembre de 2002, por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y el anexo II de la Directiva 1999/31/CEE, y en particular en la tabla 2.1.2.2. Valores límite de contenido total de parámetros orgánicos, se establece en 500 mg/kg el valor límite para los hidrocarburos totales (C10 a C40) que debe cumplir un material para ser considerados inertes.

Con el fin de verificar que todo el suelo contaminado había sido retirado de la zona afectada, se procedió a la toma de muestras del fondo del hueco de excavación y de los taludes del mismo. Se recogieron dos muestras en el fondo y tres en los taludes.

En estas muestras se analizó el contenido en hidrocarburos totales del petróleo (TPH) separado por cadenas (C10-C40) y total (TPH suma), obteniéndose los siguientes resultados:

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
TPH Suma	<50	<50	68	92	77

El Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, determina en su artículo 4.3. que “los suelos en los que concorra alguna de las circunstancias del anexo IV serán objeto de una valoración detallada de los riesgos que éstos puedan suponer para la salud humana o los ecosistemas”. Entre dichas circunstancias, se contemplan los suelos que

presenten concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo superiores a 50 mg/kg.

En consecuencia, y considerando los resultados analíticos de la campaña de muestreo del hueco final de excavación, se procedió a realizar una Valoración de Riesgos Ambientales (VRA) al objeto de comprobar si las concentraciones de hidrocarburos remanentes no representaban un riesgo inadmisibles, y por tanto, podía certificarse la descontaminación de la zona afectada.

La VRA se llevó a cabo siguiendo la metodología establecida en el Anexo VIII del R.D. 9/2005. Como valores de referencia para la evaluación de los resultados se consideró que el riesgo era inaceptable si se superaba el valor de 1, en caso de compuestos no cancerígenos, mientras que para compuestos cancerígenos el riesgo es inaceptable si se superaba el valor de 10-5. Para la realización de la VRA, se empleó como herramienta de apoyo el programa informático RBCA Tool Kit for Chemical Releases.

Tras la VRA realizada, se concluyó que, con las concentraciones de contaminación remanente detectadas en el hueco de excavación, no existía riesgo para la salud de los diferentes receptores potenciales considerados por ninguno de los compuestos presentes y por ninguna de las vías de exposición consideradas.



Imágenes del Hueco final de excavación

- Transporte del material contaminado a la zona de Biopilas y su formación de éstas

El volumen de terreno finalmente excavado fue de unos 2.200 m³, de los cuales aproximadamente 1.000 m³, correspondían a suelo contaminado con el que se conformaron las cuatro biopilas, y los otros 1.200 m³ eran material “limpio”, parte del cual fue trasladado a una zona de acopio, y la otra parte se empleó para formar los caballones perimetrales que rodeaban las biopilas.

El material contaminado fue trasladado desde la zona de excavación a la zona de



biopilas con un camión dumper de tres ejes con 14m³ de capacidad.

Carga de material en camiones.

Una vez cargado el camión en la zona de excavación, se procedió a la descarga directa sobre las zonas impermeabilizadas previamente, para la formación de las biopilas.

Con el apoyo de una máquina mixta, se constituyeron cuatro biopilas prácticamente iguales, con forma de pirámide truncada y con un acabado que permitía recoger las aguas pluviales que afectarían a la zona mediante dos balsas de recogida de lixiviados ubicadas en los extremos de cada biopila.



Foto Biopilas y balsa de lixiviados

- **Tratamiento Landfarming**

Con el objetivo de establecer las posibles alternativas a seguir en el tratamiento del suelo contaminado mediante landfarming, se llevaron a cabo una serie de ensayos microbiológicos, agronómicos, químicos y de biodegradación previos a escala de laboratorio.

Estos ensayos permitieron establecer las condiciones óptimas de partida (tasa de humedad, nutrientes, biosurfactantes, etc.), así como identificar posibles factores limitantes y/o inhibidores del proceso, determinando en definitiva el diseño del mismo a escala real.

En base a los resultados de los ensayos previos realizados, se seleccionaron cinco alternativas de proceso a aplicar en las cuatro biopilas construidas, según se indica a continuación:

Biopila 1: aireación, riego, abonado (fertilizante de liberación lenta) y estructurante (paja).

Biopila 2: aireación, riego y abonado (fertilizante de liberación lenta).

Biopila 3: aireación, riego, abonado (fertilizante de liberación lenta) y surfactante (Bioversal).

Biopila 4a: aireación y riego.

Biopila 4b: aireación, riego y bio-estimulante (S-200).

Control de los parámetros de proceso

- **Aireación.** Para ello, se utilizó inicialmente un tractor de tamaño medio, al cual se le acopló un subsolador, apero más eficaz para el volteo de terrenos sueltos.

Una vez avanzado el proceso, el volteo se llevo a cabo mensualmente mediante una máquina retro-excavadora, para favorecer la aireación de las zonas más profundas de las biopilas.

- **Riego,** el terreno debe tener un grado de humedad entre 40 y 85%. Una vez formadas las biopilas, se procedió al riego de cada una de ellas con 5.000 litros, lo que equivale a unos 21 l/m³, asegurándose una humedad suficiente para la correcta puesta en marcha del tratamiento.

Mensualmente, se fue controlando la humedad por medio de un tensiómetro. Cuando el porcentaje de humedad medido era inferior a lo recomendado para el correcto funcionamiento del tratamiento, se procedía a realizar un riego por aspersión sobre cada una de las pilas.



Proceso de aireación

- **Abonado,** para que se produzca un crecimiento microbiano se necesita una relación de C:N:P:K entre los rangos 100:(3.3-10):(0.5-1):(0.1-1), (Contenido en peso de Nitrógeno, fósforo y potasio en relación a 100 partes en peso de carbono). Dentro de estos rangos la relación ideal es de 100:10:1:1.

Con el objetivo de mejorar la riqueza en nutrientes del suelo, se procedió al abonado de tres de las pilas. Para ello, se “sembró” en superficie un fertilizante granulado.



Abonado

- Seguimiento de la evolución del tratamiento

Con el objeto de seguir la evolución de la degradación biológica de los hidrocarburos, se llevó a cabo un muestreo periódico de las biopilas. Se realizaron 5 campañas mensuales de muestreo, entre marzo y julio.

Los resultados analíticos de los muestreos mensuales se indican en la siguiente tabla:

PILA	TPH (mg/kg)				
	Pretratamiento (31-03-06)	1 ^{er} muestreo (26-04-06)	2 ^o muestreo (25-06-06)	3 ^{er} muestreo (22-05-06)	4 ^o muestreo (27-07-06)
1	1.425	1.540	620	310	110
2	1.800	1.020	375	205	210
3	2.075	1.430	650	250	125
4a	2.062	1.160	670	420	230
4b	1.300	1.300	670	295	115

Tabla resumen de muestreos mensuales

Como se ha indicado anteriormente, 500 mg/kg se tomó como nivel objetivo a alcanzar para los hidrocarburos totales (C10 a C40), tras lo cual se procedería a realizar una Valoración de Riesgos Ambientales.

Considerando lo anterior, y en base a los resultados del último muestreo, todos por debajo de 500 mg/kg, se consideró que se podía dar por finalizado el tratamiento y se decidió proceder a la realización de la campaña final de muestreo.

- Certificación de la calidad del suelo sometido a tratamiento. Valoración de Riesgos Ambientales

En consecuencia, y considerando los resultados analíticos del muestreo final, se procedió a realizar una VRA al objeto de comprobar si las concentraciones de hidrocarburos remanentes representaban un riesgo admisible, y por tanto, podía llevarse a cabo la restauración de la parcela.

Tras el análisis de los resultados de la VRA realizada, se concluyó que, con las concentraciones de contaminación remanente detectadas, no existía riesgo para la salud de los diferentes receptores potenciales considerados por ninguno de los compuestos presentes en los terrenos estudiados y por ninguna de las vías de exposición consideradas.

En este sentido, se concluyó que el suelo que formaba las biopilas no se consideraba ya material contaminado, y podía ser utilizado para rellenar el hueco de excavación.

- Trabajos de restauración de la parcela

Estos trabajos comenzaron con el relleno del hueco de excavación, se llevaron a cabo con una pala cargadora. El hueco de excavación se había rellenado parcialmente después de finalizar la excavación, empleando el material "limpio" que se había extraído y acopiado por separado.



Relleno final del hueco de excavación

Durante la fase de cierre, el hueco de excavación se terminó de rellenar empleando una serie de acopios procedentes de las obras que se estaban realizando en el aeropuerto, junto con parte de las tierras que se habían sometido a tratamiento en las biopilas. La otra parte de las tierras tratadas se empleó en la nivelación final de la pa



Estado del hueco de excavación y relleno

El desmantelamiento de las biopilas se fue realizando de una en una, la tierra retirada era devuelta al hueco de excavación o bien, acopiada en un extremo para la nivelación final de la parcela.

Posteriormente se procedía a la retirada de los materiales de impermeabilización de la base (lámina de PEAD y geotextil). Estos materiales fueron transportados a vertedero de residuos autorizado. Todas las operaciones de gestión fueron subcontratadas a gestores de residuos autorizados por la Comunidad Autónoma de Aragón.

Para el acondicionamiento final de la parcela se esparcieron los montones de tierra acopiados durante el desmantelamiento de las biopilas, de modo que quedase una superficie más o menos llana, que posteriormente fue compactada y nivelada.



Acondicionamiento final de la parcela



Estado final de la parcela



6.2 Descontaminación de suelos en el entorno del aparcamiento de la terminal del aeropuerto de Palma de Mallorca

Se describe a continuación, un ejemplo de proceso de descontaminación in situ, la descontaminación del subsuelo del entorno de la zona de aparcamiento del aeropuerto de Palma de Mallorca, en el cual antiguamente se localizaban las instalaciones de almacenamiento de combustible de la Compañía Logística de Hidrocarburos (CLH).

Esta parcela fue concesionada a dos empresas de distribución de hidrocarburo que contaban con 12 tanques aéreos de diferente capacidad. Estas instalaciones fueron trasladadas hace más de 10 años y actualmente se encuentra en el emplazamiento, un parking de 6 pisos rodeado de zona ajardinada.

- Estudios previos realizados

AENA realizó una serie de estudios de caracterización de los suelos del aeropuerto de Palma de Mallorca, donde detectó la presencia de contaminación en la citada zona:

- En los suelos, se registraron para los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) concentraciones superiores a 100 veces el valor de referencia (50 mg/kg) marcado por el RD 9/2005.
- En cuanto a las aguas subterráneas, se registró la presencia de hidrocarburo en fase libre sobrenadante al nivel freático en 3 de los sondeos realizados, con un espesor real de 1,4 cm.

Como recomendación, se propuso la realización de ensayos y pruebas piloto con el fin de seleccionar la técnica más adecuada y posteriormente acometer las actuaciones de remediación.

Los trabajos previos para la elección del proyecto de descontaminación fueron:

- Campaña de recogida de datos adicionales, con objeto de delimitar la pluma contaminante. Ejecución de 17 sondeos con instalación de piezómetro, 6 calicatas y la toma de 16 muestras de suelo, 2 muestras de hidrocarburo libre y 1 muestra de vapores.
- Ensayos de recuperación y cuantificación del hidrocarburo en fase libre extraído, con objeto de validar si es factible la recuperación del mismo, calcular la tasa de extracción y determinar el método de recuperación más adecuado. Para estos ensayos se utilizó un sistema de bombeo neumático y un skimmer activo.
- Pruebas de bombeo de las aguas subterráneas, con el fin de estimar las características hidrogeológicas del acuífero.

- Planificación de los trabajos de recuperación

En base a los datos obtenidos en los estudios realizados, se evaluaron distintas alternativas de actuación.

El diseño conceptual de la alternativa de descontaminación seleccionada se realizó teniendo en cuenta 2 aspectos fundamentales: La estructura del terreno y las condiciones de partida, tanto grado de contaminación, como su origen y los receptores potenciales.

Grado de contaminación No se detectan, de forma generalizada, concentraciones de hidrocarburos relevantes en los suelos del emplazamiento. Puntualmente se



detectan concentraciones de hidrocarburos en suelos con máximos de 6.100 mg/kg y 5.600 mg/kg, a 4 m y a 2,2 m de profundidad respectivamente.

El hidrocarburo en fase libre se moviliza por el horizonte de calcarenitas mencionado anteriormente, originada por procesos de disolución. El hecho de que la pluma se movilice por el horizonte rocoso de calcarenitas (con escasa capacidad de adsorción), explicaría que no se detecten volúmenes importantes de suelos contaminados asociados a la pluma de producto libre detectada.

Se han diferenciado distintos **receptores potenciales** de la pluma de contaminación: trabajadores de los talleres próximos, trabajadores de las empresas de vehículos de alquiler del aparcamiento, operarios de mantenimiento de la galería de servicios enterrada, etc.

Los resultados de la Valoración de Riesgos Ambientales realizada en el emplazamiento, indican que **NO existe riesgo potencial** para la salud de las personas, para los usos presentes del emplazamiento y los futuros previstos a corto plazo. No obstante, a pesar de la ausencia de riesgo potencial para la salud de las personas, la presencia de producto libre en el subsuelo del emplazamiento no es medioambientalmente aceptable.

Por tanto el objetivo de descontaminación es la recuperación del hidrocarburo sobrenadante en el acuífero existente en el subsuelo, evitando la movilización del mismo aguas abajo.

La obra consiste en la construcción de un dispositivo que permita la **intercepción pasiva del hidrocarburo** existente en el subsuelo y poder recuperarlo adecuadamente. La infraestructura requerirá de un control y operación periódica cuya frecuencia se realizará en función de la acumulación de hidrocarburo y la tasa de recuperación del mismo durante los primeros estadios de operación de la barrera.

La intercepción y acumulación del producto libre se basa en el aumento relativo de la permeabilidad en el interior de la barrera frente a la permeabilidad propia natural del terreno. Este aumento será inducido por la excavación y el relleno granular de grava.

La diferencia de permeabilidades se verá potenciada mediante la generación de espacios huecos en el interior del granular por la instalación de una conducción de drenaje coincidiendo con la banda de oscilación habitual del nivel piezométrico.

La infraestructura está dotada de pozos de monitorización que permitan la recuperación efectiva del hidrocarburo sobrenadante acumulado en el interior de la barrera.

La barrera se trata de una infraestructura permeable, que no distorsionará el sentido de flujo natural de las aguas subterráneas, y por consiguiente no se verán alterados los patrones o vías preferentes de movilización de la pluma de hidrocarburo.

La monitorización y recuperación del producto libre sobrenadante, se realizará mediante la instalación de pozos verticales situados de forma equidistante, con mayor densidad en zonas de interés (zonas con claras entradas de hidrocarburo al interior de la infraestructura).

La existencia de conducciones de drenaje en el nivel habitual de oscilación del nivel piezométrico, facilitará la dispersión del producto sobrenadante a lo largo de los tramos de barrera, facilitando la monitorización y recuperación del mismo.

Ilustración: Diseño de la barrera



A continuación se describen los trabajos que comprenden las obras de ejecución de la barrera de interceptación:

- **Labores previas**

Preparación del terreno o desbroce, en la actualidad existe vegetación arbórea en zonas donde se ubicarán algunos tramos de barrera, por tanto serán objeto de desbroce todos aquellos arbustos y plantas que interfieran para la realización de los trabajos. En el caso de los árboles, éstos se transplantarán a zonas acordadas previamente.

Vallado y señalización, se procederá a delimitar y vallar las zonas de acceso del personal y maquinaria a la zona de obras, así como las zonas de tránsito de camiones fuera de la propia obra.

Delimitación y preparación de las zonas de acopio, se seleccionarán las siguientes zonas de acopio:

- Zona de acopio de tierras sin indicios de afección de 1.000 m² aprox.
- Zona de acopio de tierras con indicios de afección (concentraciones de TPH < 5000 mg/kg). Esta zona será preparada mediante instalación de lámina de PEAD para evitar contaminación a los suelos, 300 m² aprox.
- Zona de acopio de tierras contaminadas (concentraciones de TPH > 5000 mg/kg). Al igual que en el caso anterior, se procederá a instalar lámina de PEAD, aproximadamente 100 m².

- **Equipamiento de la barrera**

Una vez ejecutada se irán instalado todos los componentes y elementos que constituyen la barrera de interceptación:

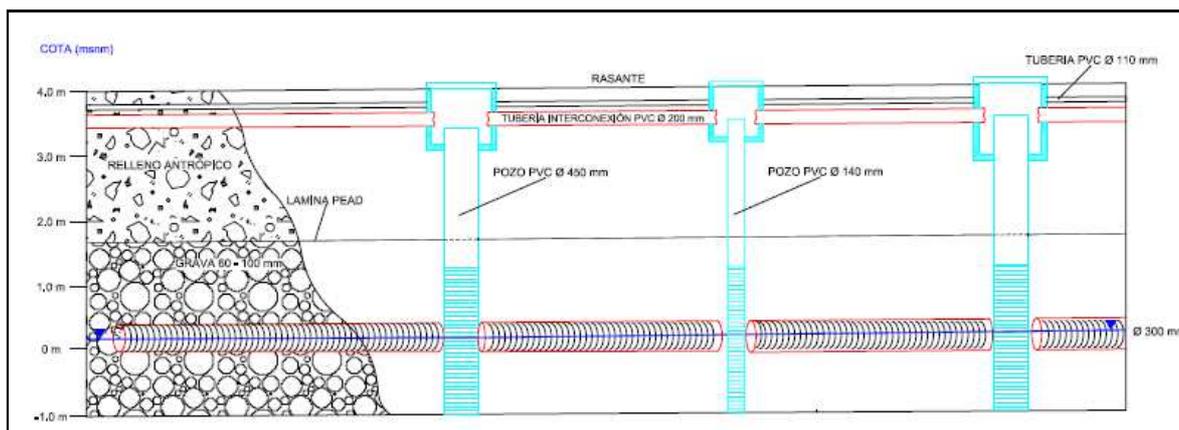
- Instalación del lecho de granular de grava Una vez certificada la cota de la base de excavación requerida en los distintos tramos que constituyen la barrera (-1,0 m.s.n.m.), se procederá a rellenar la misma mediante el granular de grava lavada. Este relleno estará comprendido entre las cotas -1,00 y -0,00 m.s.n.m. Se prevé la necesidad de unas 470 Tm de grava para constituir el lecho del granular (180 m³).
- Estructura de rápida movilización de sobrenadante, alcanzada la cota -0,00 m.sn.m, se instalará una conducción de drenaje DN 300 mm, centrada en la banda de oscilación del nivel piezométrico (0,20 m). El objetivo de esta conducción es facilitar la movilización del producto libre.

La tubería se instalará de forma continuada en todo el tramo de barrera, únicamente interrumpido por la localización de los pozos de actuación. Se procederá al conexionado de los distintos tramos de tubería, de tal forma que constituya un elemento continuo. Serán necesarios unos 150 ml de conducción de drenaje.

- Instalación de pozos de actuación/monitorización Se instalarán pozos verticales para la monitorización de la barrera que permitan realizar actuaciones de recuperación de producto libre, mediante purgas periódicas, en función de la acumulación de hidrocarburo en fase libre.
- Instalación del tramo superior del granular de grava, una vez instalada la tubería se procederá al relleno del resto de la barrera hasta cota +1,75 m.s.n.m., igualmente con grava lavada de granulometría 60-100 mm, se ha calculado la necesidad de unas 840 Tm de grava.
- Impermeabilización del techo del granular de grava, Se extenderá una lámina de PEAD de 1,5 mm de sección sobre el techo del granular de grava fijándola a los laterales del hueco de excavación. Será necesario instalar 450 m² de lámina de polietileno para la impermeabilización del mismo.
- Acabado superficial, se procedió al relleno del tramo superficial de barrera, empleando el excedente de terrenos procedente de la excavación, una vez se confirmó que dichos materiales no presentaban afección por hidrocarburos. (analíticas de certificación mediante Petroflag® y de laboratorio), posteriormente se realizó el compactado de tierras hasta la cota de +3,00 m.s.n.m., profundidad a la cual se instalan las conducciones de interconexionado de arquetas.

Serán necesarias 11 arquetas de acceso a los pozos de actuación, así como 6 unidades de arquetas en los pozos de monitorización y 4 arquetas de registro a instalar en cambios bruscos del trazado o en los límites de cada uno de los tramos de barrera. El objeto del interconexionado es instalar cualquier conducción, equipos, automatismos, etc. en canalizaciones bajo tierra de tal forma que no obstaculice el tránsito o las actividades en superficie.

Esquema: Diseño de Barrera





- Extracción del hidrocarburo

Actualmente se está en fase de acumulación y extracción de hidrocarburo con bombas. Este hidrocarburo será reutilizado en las prácticas de bomberos realizadas en el aeropuerto. El agua extraída en este proceso será convenientemente tratada con carbón activo.

Según los ensayos realizados hasta el momento, se prevé una operación discontinua en la extracción del hidrocarburo, durante los 3 primeros meses, se prevén extracciones de carácter quincenal, ajustando estas en función de los resultados que se vayan obteniendo. En cada una de las visitas se realizará la monitorización y la recuperación del hidrocarburo en fase libre detectado en el interior de la estructura.