



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

AGRADECIMIENTOS

A mi familia,
por todo el ánimo que me infunden para seguir esforzándome.

A mis tutoras,
por toda la ayuda recibida.

A la *Valencia Engine Plant* de Ford Almussafes,
por haberme brindado la oportunidad de aprender de ellos.

RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo es describir todos los pasos que deben seguirse cuando hay sospechas sobre posible contaminación en un suelo industrial, tomando como caso de referencia una nave ya existente que será acondicionada para el manejo de virutas, telas filtrantes y lodos provenientes del mecanizado de piezas del motor de combustión, en una empresa del sector de la automoción.

Por ello, se describe la localización del caso de referencia, así como una propuesta sobre el protocolo de muestreo (incluyendo la toma de muestras y el análisis de las mismas en un caso de posible contaminación de suelo) de cualquier suelo industrial y del suelo del caso de referencia. Además, se incluye una propuesta de prevención de la contaminación gracias a la impermeabilización del suelo de la nave del caso de referencia.

Palabras Clave: impermeabilización, suelos, muestreo, contaminación, aceite de corte

RESUM

L'objectiu principal del present treball és descriure tots els passos a seguir quan es creu que existeix una possible contaminació en un sòl industrial, prenent com a cas de referència una nau ja existent que serà condicionada per a la manipulació d'encenalls, teles filtrants i llots provinents del mecanitzat de peces del motor de combustió en una empresa del sector de l'automoció.

Per això, es descriu la ubicació del cas de referència, a més d'una proposta d'un pla de mostreig (que inclou la presa de mostres i les anàlisis necessàries en un cas de contaminació de sòl) per a qualsevol sòl industrial i per al cas de referència. A més, s'inclou una proposta per a la prevenció de la contaminació gràcies a la impermeabilització del sòl de la nau del cas de referència.

Paraules clau: impermeabilització, sòl, mostreig, contaminació, emulsió de tall

ABSTRACT

The main objective of the present document is to describe all the steps to follow in a soil contamination situation, using a reference case: an already existing building that will be restructure for handling shaving, fabric filters and sludge from the machining of the combustion engine parts in an automotive sector company.

For that, the location of the reference case is described, as well as a proposal about the sampling protocol (including the gathering and analysis of samples of a possible soil contamination) to any industrial soil and to the reference case. In addition, the present document includes a project of waterproofing soil as a proposal to prevent the contamination in the reference case.

Keywords: waterproofing, soil, industrial area, sampling, contamination, cutting oil

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

• Memoria descriptiva	1
• Presupuesto.....	79
• Anexos	84

MEMORIA DESCRIPTIVA	1
1. Objeto y justificación del trabajo	2
2. Introducción	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Contexto teórico: contaminación del suelo	5
2.3. Contexto práctico: prevención y saneamiento	7
2.3.1. Técnicas de prevención	7
2.3.2. Técnicas de remediación	8
3. Localización del estudio	13
3.1. Ubicación y accesos.....	13
3.2. Características a cumplir	15
3.3. Áreas.....	17
4. Protocolo de muestreo del suelo	19
4.1. Fase de investigación	19
4.1.1. Estudio histórico del suelo	20
4.1.2. Investigación exploratoria.....	21
4.1.3. Investigación detallada.....	26
4.2. Puntos de toma de muestras	28
4.3. Técnica de muestreo	32
4.3.1. Calicatas.....	33
4.3.2. Sondeos manuales	34
4.3.3. Sondeos ligeros	37
4.3.4. Sondeos mecánicos	40
4.4. Toma de muestras.....	43
4.5. Manejo de muestras	46
4.5.1. Tipo de muestra	46
4.5.2. Envasado de la muestra	47
4.5.3. Etiquetado del envase de la muestra	49
4.5.4. Transporte de muestras	50
4.6. Análisis de muestras.....	53

4.6.1.	Clasificación de los contaminantes	53
4.6.2.	Acondicionamiento de muestras	55
4.6.3.	Tipos y métodos de análisis químico en laboratorio.....	56
4.7.	Informe técnico	59
4.8.	Eliminación de tierras contaminadas	59
4.9.	Diagrama de flujo: Pasos del protocolo de muestreo.....	60
5.	Propuesta de impermeabilización.....	61
5.1.	Necesidad de impermeabilizar	61
5.2.	Descripción de la propuesta.....	63
5.2.1.	Acondicionamiento del suelo.....	64
5.2.2.	Área de telas.....	67
5.2.3.	Área de lodos.....	68
5.2.1.	Área de virutas	69
5.2.2.	Mejoras	69
5.2.3.	Lay-out final.....	70
5.3.	Programa de inspección y mantenimiento	71
5.4.	Protocolo de actuación en caso de derrame	73
6.	Conclusiones.....	75
7.	Bibliografía	76

PRESUPUESTO **79**

1.	Presentación del presupuesto.....	80
2.	Resumen del presupuesto	83

ANEXOS **84**

1.	ANEXO I: Anexo III de la Ley 4/2015, de 25 de junio, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo	85
2.	ANEXO II: Extracto de la modificación sustancial de la autorización N° 100/AAI/CV en 2015.....	90
3.	ANEXO III: Extracto del Anexo II del Decreto 199/2006, de 10 de octubre sobre el alcance y contenido de las investigaciones de la calidad del suelo	93
4.	ANEXO IV: Normativas sobre el procedimiento de análisis según sustancia especificada.....	95
5.	ANEXO V: Cálculo de rendimientos del presupuesto.....	96
6.	ANEXO VI: Anexo IV del Boletín Oficial de Aragón. Tarifas del servicio público de eliminación de residuos peligrosos.....	98
7.	ANEXO VII: Ampliación del diagrama de flujo del protocolo de muestreo.....	99

FIGURAS

Figura 1: Esquema básico del proceso de limpieza de taladrina. Etapas y residuos generados. Fuente: <i>Elaboración propia</i>	4
Figura 2: Sistema de barrera de lodo anclada en un sustrato de baja permeabilidad. Fuente: <i>Higuera, P. (2003). Restauración y remediación: Suelos y aguas subterráneas. Hidropres, 38: 38-39.</i>	9
Figura 3: Sistema de inyección de la lechada de cemento. Fuente: <i>Higuera, P. (2003). Restauración y remediación: Suelos y aguas subterráneas. Hidropres, 38: 38-39.</i>	9
Figura 4: Técnica de vitrificación. Fuente: <i>Ortiz Bernad, I. Sanz García, J. Dorado Valiño, M. Villar Fernández, S. (2006). Informe de vigilancia tecnológica: técnicas de recuperación de suelos contaminados. 13/06/2017, de Fundación para el Conocimiento madri+d. Sitio web: https://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt6_tecnicas_recuperacion_suelos_contaminados.pdf.</i>	10
Figura 5: A) y B) Señales de prohibición “Prohibido fumar y encender fuego” y “Entrada prohibida a personas no autorizadas”, respectivamente. C), D), E) y F) Señales de obligación “Es obligatorio usar calzado de seguridad”, “Es obligatorio usar gafas”, “Uso obligatorio de chaleco reflectante” y “Es obligatorio usar guantes”, respectivamente. Fuentes: <i>MPL Soluciones, visitado 22/07/2017: http://mplsoluciones.com; Seton, visitado el 22/07/17: http://www.seton.es; Incotex, visitado el 22/07/17: http://www.incotex.es ..</i>	16
Figura 6: Detector de fotoionización. Fuente: <i>Catálogo EnviroTecnics.</i>	24
Figura 7: Detector por ionización en llama. Fuente: <i>Catálogo Sewerin.</i>	25
Figura 8: Representación de la metodología “al azar o aleatorio” en la elección de los puntos de toma de muestras para suelos homogéneos. Fuente: <i>Elaboración propia.</i>	30
Figura 9: Representación de la metodología “sistemático al azar” en la elección de los puntos de toma de muestras para suelos homogéneos. Fuente: <i>Elaboración propia.</i>	30
Figura 10: Representación de la metodología “regular o sistemático” en la elección de los puntos de toma de muestras para suelos homogéneos. Fuente: <i>Elaboración propia.</i>	31
Figura 11: Representación gráfica de las zonas loma, medialoma y bajo. Fuente: <i>Darwich, 2003.</i>	31
Figura 12: Máquina retroexcavadora. Fuente: <i>Lance Cpl. Jose D. Lujano, Marine Corps Photos, visitado el 23/07/17 http://www.marines.mil/Photos.aspx?igphoto=2000039993 Licencia de reutilización de Creative Commons.</i>	33
Figura 13: Sonda de embudo. Fuente: <i>Guía IHOBE.</i>	34
Figura 14: Sonda de Edelman. Fuente: <i>Guía IHOBE.</i>	35
Figura 15: Sonda manual de media caña. Fuente: <i>Guía IHOBE.</i>	35
Figura 16: Sonda manual “Riverside”. Fuente: <i>catálogo Eijelkamp.</i>	36
Figura 17: Sonda para gravas. Fuente: <i>catálogo Eijelkamp.</i>	36
Figura 18: Sonda para suelos arenosos. Fuente: <i>catálogo Eijelkamp.</i>	36
Figura 19: Sonda de pistón. Fuente: <i>catálogo Eijelkamp.</i>	37
Figura 20: Sonda manual helicoidal. Fuente: <i>catálogo Eijelkamp.</i>	37
Figura 21: Sonda ligera helicoidal. Fuente: <i>catálogo Eijelkamp.</i>	39
Figura 22: Sonda ligera acanalada. Fuente: <i>catálogo Eijelkamp.</i>	39
Figura 23: Sonda ligera acanalada reforzada. Fuente: <i>catálogo Eijelkamp.</i>	40

Figura 24: Esquema de equipo de rotación con coronas (IHOBE, S.A., 1996)	41
Figura 25: Esquema de equipo de perforación a percusión. (CUSTODIO Y LLAMAS, 1976) ..	42
Figura 26: Contaminantes según el sector industrial. <i>Fuente: Guía metodológica de Análisis Químicos de IHOBE (1996)</i>	55
Figura 27: Diagrama de flujo “Pasos del protocolo de muestreo”. <i>Fuente: Elaboración propia.</i>	60
Figura 28: <i>Lay-out</i> de la Nave de Virutas, donde se indica el foso ciego en rojo y los canales de control con sus arquetas de registro en verde. <i>Fuente: Departamento de Ingeniería de Planta de VEP, Ford Spain.</i>	65
Figura 29: Vista trasversal de la futura solera impermeable y de los canales de control. <i>Fuente: Elaboración propia.</i>	67
Figura 30: Cubeto de contención con apertura para succión en esquina. <i>Fuente: Catálogo BAUER SÜDLOHN.</i>	68
Figura 31: Esquema de la distribución de jaulas y tolvas, así como las canalizaciones y pocetas de áreas de telas, lodos y virutas. Dimensiones aproximadas. <i>Fuente: Elaboración propia.</i>	69
Figura 32: Extracto modificado del <i>lay-out</i> futuro cedido por VEP. <i>Fuente: Departamento de Ingeniería de Planta, VEP, Ford España S.L (2017)</i>	71

TABLAS

Tabla 1: Sustancias a determinar cuando no se tiene información previa. <i>Fuente: Guía para el Análisis Químico, IHOBE, 1996</i>	54
Tabla 2: Programa de inspección y mantenimiento. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	72

Proyecto de acondicionamiento de una nave para el manejo de virutas, telas filtrantes y lodos
provenientes del mecanizado de piezas en una empresa del sector de la automoción

MEMORIA DESCRIPTIVA

1. OBJETO Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

El objetivo de este Trabajo de Final de Grado (en adelante “TFG”) es el análisis sobre el control de la contaminación de suelos y las actuaciones pertinentes de acuerdo con la legislación vigente. Para ello, se realiza una propuesta en forma de protocolo de muestreo donde se explican las técnicas de sondeos, tipos de muestreos, los análisis químicos que deben realizarse así como el manejo de muestras necesario para determinar los resultados del mencionado análisis.

Al protocolo de muestreo le acompaña una propuesta de prevención de la contaminación: el proyecto de impermeabilización del suelo de la futura *Nave de manejo de telas, lodos y virutas* (en adelante “la Nave de Virutas” o “la Nave”) de la Planta de Motores de la factoría de *Ford Motor Company* situada en Almussafes (Valencia).

Por ello, la subdivisión del presente TFG consiste en tres grandes bloques: la localización de estudio, donde se describe la Nave de Virutas, la creación del protocolo de muestreo utilizando las Normativas y Legislación española y la propuesta de prevención de la contaminación mediante la impermeabilización del suelo de la Nave de Virutas.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. ANTECEDENTES

La compañía Ford Motor Company se introduce en España en el año 1919 hasta el año 1930, momento en el que se traslada al extranjero por la subida de impuestos. En los años 70, se produce un proceso de acercamiento a España otra vez, lo que acaba con la construcción en 1974 de la factoría Ford en Almussafes (Valencia). Esta factoría cuenta con cuatro áreas diferenciadas según su funcionalidad: Planta de Montaje final, Planta de Pinturas, Planta de Carrocerías y prensa y Planta HCS y Duratec HE (comúnmente llamada Planta de Motores).

La Planta de Motores de Valencia (en inglés *Valencia Engine Plant*, en adelante “VEP”) de Ford está en operativo desde el año 2002 y funciona de manera independiente al resto de la factoría. Los motores gasolina de alta potencia fabricados en VEP son utilizados en algunos modelos de coche de la misma factoría además de enviarse a otras factorías de Ford y otras marcas. Aparte del montaje del motor, la VEP se encarga del mecanizado de algunas piezas que lo conforman: árbol de levas, cigüeñal, culata y bloque motor; las bielas se adquieren a un proveedor. Estas piezas se utilizan en los motores valencianos y también se exportan a la factoría de Ford Cleveland (EE.UU.) donde se realiza el montaje del motor. Por tanto, las principales zonas en VEP se dividen en la línea de montaje y las líneas de mecanizado de piezas (cuatro líneas de mecanizado de: bloques, culatas, cigüeñales y árbol de levas) [1].

El mecanizado de las piezas consiste en la eliminación de material o arranque de viruta de la pieza en bruto (recibida de fundición sólo con las formas básicas) para que encajen a la perfección en el montaje del motor. Para el mecanizado se utilizan máquinas fijas, donde las piezas y herramientas realizan movimientos de translación y rotación. Para poder hacer el mecanizado, la herramienta ejerce un esfuerzo superior a la resistencia del material en ese punto de contacto. Se estima que aproximadamente el 98% de la energía mecánica se transforma en calor, alcanzándose temperaturas de 600°C [2]. Este calor generado debe eliminarse para evitar el sobrecalentamiento de la zona de contacto, ya que generaría un deterioro en el material.

Por ello, las diferentes operaciones de mecanizado requieren de la utilización de fluidos de corte para refrigerar y lubricar la operación, llamados aceites de corte, *cutting oils*, *metalcutting fluids*, *metalworking fluids* o taladrinas. Éstos pueden ser de tipo aceitoso o acuoso. La denominación taladrina suele ser utilizada para referirse a los de base acuosa; siendo este tipo el que se utiliza en VEP.

La otra función principal de las taladrinas es el arrastre de virutas, polvo y rebabas resultantes del mecanizado, dirigiéndose hacia los canales veloces distribuidos en el subsuelo de toda la Planta. Los canales veloces recogen todos los residuos fluidos de la

VEP para trasladarlos a la nave de los Sistemas de Taladrina, donde las taladrinas son filtradas para su purificación. Tras el filtrado, se almacenan en cubas hasta que es necesario volverlas a utilizar en las operaciones de mecanizado. La recirculación de estos aceites de corte alarga su vida útil y optimiza su consumo.

Durante la filtración en los Sistemas de Taladrina, se generan los siguientes residuos:

- Viruta grande y pequeña
- Lodos (mezcla semilíquida formada por viruta en polvo y taladrina)
- Telas filtrantes empapadas de taladrina, virutas y lodos

Existen diferentes tipos de Sistemas de Taladrina ya que la manera de filtración varía según el tipo de taladrina. Éstas se diferencian por su proporción de aceite, agua y otros componentes. En la VEP hay 19 tipos de aceites hidráulicos, lubricantes y grasas diferentes, y cada uno cuenta con un sistema de filtración propio (compuesto por cubas, bombas, dragas, filtros, enrolladores, valvulería, sistemas de seguridad, controladores, etc.).

Los residuos generados en los Sistemas de Taladrina (telas, lodos y virutas) están empapados por aceite; por ello, es común en este tipo de procesos acondicionar una zona donde escurrirlos y secarlos por separado para gestionarlos posteriormente. En la VEP se ha decidido acondicionar la Nave de Virutas para poder manejar con comodidad y seguridad las telas, lodos y virutas. Además, la taladrina escurrida puede ser recuperada y llevada de vuelta a las líneas de mecanizado.

En la Figura 1 se expone la descripción básica de un sistema de filtración.

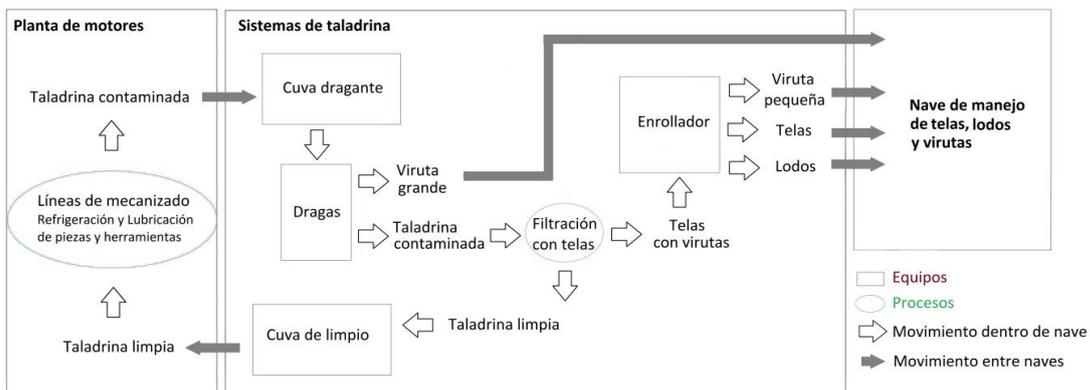


Figura 1: Esquema básico del proceso de limpieza de taladrina. Etapas y residuos generados.

Fuente: Elaboración propia.

2.2. CONTEXTO TEÓRICO: CONTAMINACIÓN DEL SUELO

El suelo siempre ha sido el principal destino de los desechos de las actividades humanas, como ya ocurría en la Roma clásica con los residuos mineros y urbanos. Nunca se ha tenido la percepción de que esta acción tuviera consecuencia alguna, pero en esta última época se ha adquirido la conciencia de que realmente es perjudicial tanto para la naturaleza como para la salud humana.

La contaminación del suelo se genera por usos industriales como la minería, usos agrícolas o usos urbanos (por desechos fecales). El peligro de la acumulación de contaminantes en el suelo afecta a todas las formas de vida del planeta por contacto directo con el suelo o debido a filtraciones, donde las aguas contaminadas llegan a las plantas (cultivos), a los animales (ganado) y a las personas. Por lo que de forma indirecta o directa (si llega a fuentes de agua potable), los seres humanos se ven afectados por la contaminación del suelo.

El uso minero del suelo y el refinado de metales como el oro (donde se utiliza mercurio y plomo, altamente tóxicos), siempre ha estado localizado y acotado. En cambio, los usos agrícolas se expanden por grandes extensiones de terreno, generando compuestos nitrados debido a los abonos y pesticidas utilizados en el control de plagas [3]. La contaminación del suelo debido a fábricas industriales es mucho más evidente y suele estar localizada, pero no siempre acotada.

La problemática principal de la contaminación del suelo se debe a la desinformación que ha acompañado a la industrialización de la sociedad. Como se ha mencionado anteriormente, la concienciación sobre los efectos de la contaminación es algo relativamente reciente si se compara con el momento en el que se empezó a contaminar el suelo. Además, el progreso y evolución como sociedad ha hecho aumentar considerablemente todos los factores contaminantes. Éstos se explican a continuación desde tres ideas básicas:

Primera,

En la Revolución Industrial del siglo XVIII se inicia una utilización desmesurada del suelo. El gran incremento de la población (por la reducción de la mortalidad infantil) debido a la mejora de la higiene y sanidad, provoca más demanda de cultivos. Además, gracias a la industrialización de las técnicas agrícolas, se hace factible alimentar mejor a la población, por lo que continúa aumentando la cantidad de personas, siendo necesarios cada vez más cultivos. La mejora en la agricultura se debe, además, al uso de mejores fertilizantes y pesticidas, por lo que el suelo acaba recibiendo más compuestos, que al acumularse provocan un problema de contaminación de suelos y acuíferos.

Segunda,

El progreso exponencial implica que no da tiempo a analizar las consecuencias que genera la industrialización, por lo que las formas de protección, efecto en la salud y los métodos de prevención de contaminación son asuntos que se conocen posteriormente. Como se ha visto, se ha sabido de las consecuencias cuando el daño ya se ha realizado. Por ello, se observa que la industrialización de -cada vez más- sectores desde el siglo XVIII genera un aumento de las emisiones a aire, agua y suelo.

Tercera,

En el último medio siglo, la sociedad ha caído en una dinámica de consumo masivo, que se realimenta por la gran industrialización y por el sistema económico de los países desarrollados. Esta dinámica genera más demanda de todo tipo de productos, por lo que se aumentan las actividades industriales, generando más residuos. El control del consumo, llamado recientemente *consumo sostenible*, defiende la concienciación como consumidores de las implicaciones de la compra masiva de cierto tipo de productos, como los productos desechables [4].

Por estos motivos, el suelo está en riesgo de contaminarse: por poca conciencia en su utilización industrial y por ser considerado como receptor de desechos.

El *Real Decreto 9/2005* recoge un listado de Actividades Potencialmente Contaminantes, siendo éstas aquellas actividades de tipo industrial o comercial en las que, ya sea por el manejo de sustancias peligrosas o por la generación de residuos, pueden contaminar el suelo. A los efectos de este real decreto, tendrán consideración de tales las incluidas en los epígrafes de la Clasificación Nacional de Actividades Económicas según el *Real Decreto 1560/1992, de 18 de diciembre, por el que se aprueba la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE-93)*, modificado por el *Real Decreto 330/2003, de 14 de marzo*, mencionadas en el anexo I, o en alguno de los supuestos del artículo 3.2.

Además, en el Artículo 3 de la *Ley 22/2011 de 28 de julio de residuos y suelos contaminados*, se define un suelo contaminado como “aquel cuyas características han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes químicos de carácter peligroso procedentes de la actividad humana, en concentración tal que comporte un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente, de acuerdo con los criterios y estándares que se determinen por el Gobierno, y así se haya declarado mediante resolución expresa.”

En el Artículo 34 de la misma Ley, se especifica que si un suelo se declara como contaminado, es de obligado cumplimiento “proceder a su limpieza y recuperación” según determine la Comunidad Autónoma donde se produzca la actividad contaminante. Si las medidas de limpieza o de recuperación del terreno fueran incompatibles con el uso del suelo, la declaración de un suelo como contaminado puede llegar a generar “la suspensión de la ejecutividad de los derechos de edificación y otros aprovechamientos del suelo” [5]. Esta suspensión podrá ser eliminada cuando se lleve a cabo la limpieza y recuperación del terreno o se declare el suelo como no contaminado.

2.3. CONTEXTO PRÁCTICO: PREVENCIÓN Y SANEAMIENTO

Como se ha visto, la contaminación del suelo es una cuestión a considerar y mejorar día a día. Por ello, es importante conocer métodos de prevención de la contaminación del suelo y aguas subterráneas.

Cualquier acción debe iniciarse con el análisis y clasificación del contaminante del estudio. En el caso del presente TFG, el riesgo de contaminación se debe a la filtración de taladrinas al suelo. Las taladrinas son emulsiones y disoluciones de aceites minerales. Estos aceites se mezclan con agua y con diferentes aditivos que caracterizan cada tipo de taladrina: dependiendo de su función y tipo de mecanizado al que está destinada, los aditivos varían en cantidad, composición y características. Algunos de los aditivos que se suelen utilizar son emulgentes, antiespumantes, aditivos extrema presión, antioxidantes, humectantes o estabilizantes, biocidas, solubilizadores, inhibidores de corrosión, colorantes, acomplejantes y metales pesados. La composición de la taladrina varía con su uso. Se trata pues de sustancias que pueden contaminar los suelos y las aguas. En ensayos sobre movilidad de fluidos cortantes en el suelo se ha observado una alta movilidad debido a los compuestos solubles en agua que contienen dichos fluidos. Por ello, se debe tener en cuenta siempre qué contaminante es el causante de la contaminación para poder actuar a nivel de prevención y de saneamiento del suelo industrial [6].

Como se ha mencionado, al tener en cuenta la historia sobre el uso de los suelos, la primera acción para tener un suelo no contaminado debe ser conocer métodos de prevención de la contaminación para evitar el avance de un posible contaminante. Además, se deben conocer los métodos de saneamiento o remediación para, si fuera necesario, proceder a realizar el saneamiento y limpieza y obtener un suelo descontaminado. En los casos donde se sanee el suelo, posteriormente se debe aplicar un método de prevención, y un plan de control y seguimiento de la remediación para evitar una futura contaminación.

2.3.1. TÉCNICAS DE PREVENCIÓN

Antes de que se contamine el suelo, o cuando el suelo está totalmente saneado, se debe prevenir la contaminación del mismo. Si se trata de un suelo industrial, es de obligado cumplimiento la aplicación de técnicas para prevenir esta contaminación. Estas medidas preventivas pueden aplicarse a nivel de diseño, de defensa y de gestión de las instalaciones y medidas organizativas [7]. En el presente apartado se exponen las diferentes técnicas existentes para la prevención de la contaminación en suelos industriales.

- Eliminación de fugas: la primera acción preventiva de la contaminación es intentar eliminar el foco emisor de ésta. Si la contaminación del suelo aparece por fugas

de almacenes o maquinaria, el sellado de éstos para eliminar la fuga elimina el riesgo de contaminación del suelo donde reposan.

- Impermeabilización del suelo: también considerada una técnica de contención [8], su finalidad es aislar el suelo de los posibles contaminantes que puedan ser vertidos en la superficie. Se suelen utilizar materiales aglomerados asfálticos u hormigones, además de combinarlos con láminas sintéticas de materiales termoplásticos y de una obra civil que acompañe a la canalización de los contaminantes para su control [9].

2.3.2. TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN

De acuerdo con Higuera [10], los métodos de remediación del suelo contaminado deben comenzar con el análisis de tres factores:

- Si el foco de contaminación es “puntual” o “difuso”. Cuando es un foco puntual, se conoce la localización exacta del área afectada y se puede pasar al siguiente paso. De ser un foco difuso, es necesario la realización de un análisis a través de sondeos para la toma de muestras y así generar una imagen clara de la localización exacta de la contaminación.
- En contaminación de aguas subterráneas, si el mecanismo de acceso del contaminante al agua es “directo” (pozos, sumideros) o “difuso” (infiltración a través del suelo). El primero es mucho más difícil de remediar ya que el contaminante llega con más facilidad a un acuífero subterráneo. En el segundo tipo, el contaminante puede que no llegue a aguas subterráneas pero se quedará retenido en el suelo, contaminándolo y generando un problema mayor.
- Según el tipo de contaminante las técnicas de muestreo, los métodos de saneamiento y prevención, así como la gestión de los residuos serán diferentes. Éstos pueden ser partículas en suspensión, sales en disolución, contaminantes físico-químicos, líquidos inmiscibles agua (como hidrocarburos o disolventes orgánicos).

Por lo tanto, se observa que el primer estudio a realizar es el análisis de la distribución de la contaminación. Cuando el foco se define como “puntual”, ésta puede ser generalizada (toda una zona contaminada de manera uniforme) o localizada (foco perfectamente acotado). Dependiendo de qué tipo de distribución sea, las soluciones para el saneamiento varían.

Estas soluciones se basan en evitar la movilidad del contaminante mediante técnicas de contención y confinamiento o en eliminarlo definitivamente mediante técnicas de descontaminación. La contención implica aislar físicamente el contaminante sin perturbarlo, el confinamiento es la aplicación de procesos físico-químicos para que los contaminantes no migren a través de las tierras y la descontaminación reduce la concentración de los contaminantes [11].

Las técnicas de contención y confinamiento se aplican en el mismo emplazamiento, por lo que son clasificadas como tratamientos *in-situ*. Las técnicas de descontaminación se

pueden llevar a cabo mediante tratamientos *in-situ* o *ex-situ* (fuera del emplazamiento contaminado).

En los siguientes apartados, se exponen diferentes técnicas dentro de cada tipo de soluciones para las distintas formas del foco de contaminación.

TÉCNICAS DE CONTENCIÓN

Como se ha explicado en el apartado anterior, cuando la contaminación del suelo es puntual -es decir, que se conoce la localización exacta del área afectada- se debe eliminar el contaminante o evitar su movilidad. Para este segundo caso, las técnicas a aplicar pueden ser de contención o de confinamiento. A continuación, se exponen las principales técnicas de contención.

- Barreras verticales de lodo de gran estanqueidad: excavaciones verticales alrededor del área, rellenas con mezclas del suelo con arcillas. La profundidad máxima son 15 m. Véase Figura 2.

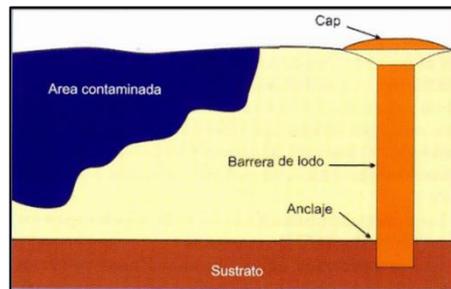


Figura 2: Sistema de barrera de lodo anclada en un sustrato de baja permeabilidad.
Fuente: Higuera, P. (2003). *Restauración y remediación: Suelos y aguas subterráneas. Hidropres*, 38: 38-39.

- Barreras verticales tipo membranas sintéticas o geomembranas: inserción de membranas textiles con alta impermeabilidad en la tierra.
- Barreras horizontales tipo lechada de cemento: inyección de una capa de cemento bajo el área contaminada. Véase Figura 3.



Figura 3: Sistema de inyección de la lechada de cemento.
Fuente: Higuera, P. (2003). *Restauración y remediación: Suelos y aguas subterráneas. Hidropres*, 38: 38-39.

- Barreras de paneles: inserción de paneles dentro del terreno para evitar la excavación. Pueden estar formados de madera, hormigón, acero u otros materiales resistentes.

- Barreras de suelo seco: desecación del suelo para retener los contaminantes. Se utiliza un entramado de pozos para inyectar el aire seco, que vaporiza el agua del suelo para redirigirla hasta los pozos de extracción.

TÉCNICAS DE CONFINAMIENTO

Las técnicas de confinamiento se utilizan para modificar la naturaleza del contaminante y así reducir su movilidad atacando a la capacidad de desplazamiento mediante difusión. A continuación, se indican las más destacadas.

- Barreras químicas: inyección de una capa de agente químico que reduzca la permeabilidad del sustrato, la movilidad o la toxicidad del contaminante. Es similar a la lechada.
- Inyección de solidificantes: encapsulamiento del contaminante mediante materiales inertes creando una matriz impermeable.
- Vitrificación: estabilización térmica mediante electrodos para fundir los contaminantes mediante el aumento de la temperatura, creando una matriz vítrea que impide o reduce la movilidad de contaminantes inorgánicos y elimina los orgánicos mediante oxidación o pirólisis. Véase Figura 4.

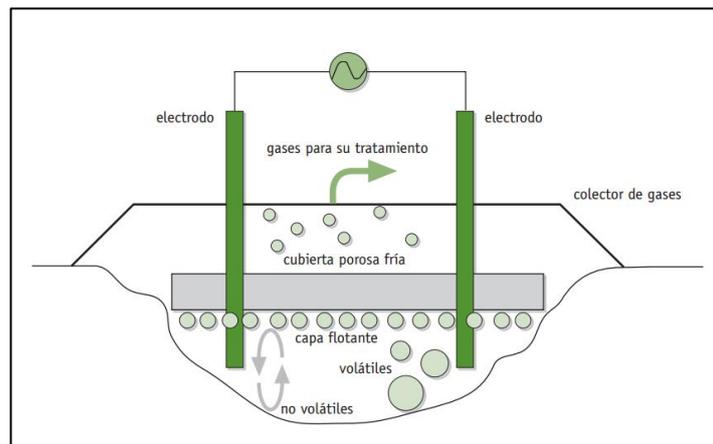


Figura 4: Técnica de vitrificación.

Fuente: Ortiz Bernad, I. Sanz García, J. Dorado Valiño, M. Villar Fernández, S. (2006). Informe de vigilancia tecnológica: técnicas de recuperación de suelos contaminados. 13/06/2017, de Fundación para el Conocimiento madri+d. Sitio web:

https://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt6_tecnicas_recuperacion_suelos_contaminados.pdf

TÉCNICAS DE DESCONTAMINACIÓN

La descontaminación (también llamado saneamiento) del suelo consiste en la reducción de la concentración del contaminante. Para ello, se aplican diferentes métodos. Estos pueden realizarse en el mismo foco de contaminación (tratamientos *in-situ*) o se puede extraer el volumen de tierra contaminado para tratarlo en una planta (tratamientos *ex-situ*). A continuación, se describen las más utilizadas [10].

Tratamientos *in-situ*

Cuando el volumen de tierras es muy grande es usual realizar tratamientos *in-situ*, ya que son más rentables económicamente que trasladar todo el volumen de suelo contaminado. Las técnicas de saneamiento llevadas a cabo *in-situ* pueden ser de dos tipos: físico-químico, térmico y biológico.

Las principales técnicas físico-químicas se describen a continuación.

- Extracción con vapor: consiste en evaporar el contaminante al bombear los compuestos volátiles a través de un pozo. Extrae compuestos orgánicos volátiles (COVs) y derivados del petróleo.
- *Flushing*: con esta técnica se disuelven los contaminantes al inyectar compuestos químicos desde un pozo.
- Oxidación: proceso que transforma los contaminantes a CO₂ y agua.

La técnica térmica con aplicabilidad en el caso de estudio es la siguiente.

- Tratamientos térmicos: en este caso los contaminantes se mueven hasta los pozos debido a las altas temperaturas, donde se extraen del agua.

Los tratamientos biológicos se basan en la *biorrecuperación*: reducción de la toxicidad mediante el uso de microorganismos que utilizan los contaminantes para sus procesos metabólicos. Los más comunes son los siguientes:

- Biorremediación: utiliza bacterias para que eliminen contaminantes orgánicos al asimilarlos como alimento.

Tratamientos *ex-situ*

Las técnicas que utilizan estos tratamientos consisten en extraer el volumen de terreno contaminado y transportarlo a una planta donde se descontamina. Posteriormente, la tierra podrá ser devuelta al sitio original si cumple los parámetros de suelo descontaminado. Estas técnicas también siguen una clasificación de métodos físico-químicos, térmicos y biológicos.

Las principales técnicas físico-químicas *ex-situ* se enumeran a continuación:

- Lavado del suelo mediante detergentes. Extrae COVs, derivados del petróleo y metales.
- Deshalogenación química: eliminación de halógenos (PCBs) utilizando ciertos reactivos.

La técnica térmica más utilizada es la siguiente.

- Desorción térmica. Extrae hidrocarburos y compuestos orgánicos.

Algunos de los métodos biológicos son los siguientes.

- *Landfarming*: eliminación de hidrocarburos de peso mediano mediante su degradación por microorganismos.
- Compostaje: eliminación de compuestos orgánicos tóxicos mediante la estimulación de la actividad microbiana aerobia.
- Biopilas: eliminación de compuestos derivados del petróleo (hidrocarburos y COVs) mediante la activación de la respiración microbiana aerobia, añadiendo nutrientes y aireación.

Si no hay otra alternativa, o sale más rentable económicamente, el suelo es excavado y llevado a vertedero como residuo, sin pasar por ningún tratamiento.

El Real Decreto 9/2005 indica en el artículo 7.3 que “Las actuaciones de recuperación deben garantizar que materializan soluciones permanentes, priorizando, en la medida de lo posible, las técnicas de tratamiento *in-situ* que eviten la generación, traslado y eliminación de residuos” y en el 7.4 “Siempre que sea posible, la recuperación se orientará a eliminar los focos de contaminación y a reducir la concentración de los contaminantes en el suelo. En el caso de que por razones justificadas de carácter técnico, económico o medioambiental no sea posible esa recuperación, se podrán aceptar soluciones de recuperación tendentes a reducir la exposición, siempre que incluyan medidas de contención o confinamiento de los suelos afectados”.

3. LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO

La *Valencia Engine Plant* de la factoría de Ford en Almussafes actualmente cuenta con una nave para almacenamiento de piezas que está desaprovechada, por lo que el presente TFG se centra en los muestreos que deben realizarse para comprobar que no existe contaminación del suelo, sanear el suelo si es necesario y realizar una posterior impermeabilización del mismo; de esta manera, se realiza un proyecto de prevención de la contaminación. Por ello, la localización del estudio realizado es la futura Nave de manejo de telas, lodos y virutas, llamada la Nave de Virutas.

Tras la implantación de esta propuesta, se podrá trasladar a la localización escogida (denominada previamente Nave de Virutas) la actividad industrial a optimizar: el manejo de telas, lodos y virutas provenientes de la filtración de las taladrinas utilizadas en el mecanizado de las piezas de los motores de combustión fabricados en VEP.

Como se explica en los *Antecedentes* del presente TFG (apartado 2.1), la necesidad de la *Nave de manejo de telas, lodos y virutas* es inherente a cualquier planta de mecanizado, como la Planta de Motores de la factoría Ford de Almussafes. Su utilidad se justifica en la optimización del proceso productivo llevado a cabo en los *Sistemas de Taladrina*. Además, garantiza una mayor comodidad del puesto de trabajo. Sobre todo es importante desde el punto de vista medioambiental, ya que la existencia de la Nave garantiza una mejor y más segura separación de los residuos finales para su posterior gestión.

La Nave de Virutas cuenta con dos zonas muy diferenciadas: una zona de nave cerrada (cubierta y con cerramientos laterales) y una zona *canopy* (cubierta sin cerramientos laterales). La localización del estudio actual se sitúa en el *canopy*, ya que en el interior de la Nave de Virutas hay máquinas en actual desuso que la compañía quiere preservar para futuros procesos.

A partir de este momento, *Nave de Virutas* hará referencia al *canopy*, ya que es el objeto de la propuesta estudiada en el presente TFG.

3.1. UBICACIÓN Y ACCESOS

La Nave de Virutas es un edificio de 30,7 m x 29,7 m (912 m²), con una cubierta de aproximadamente 35 m de altura sujeta por seis pilares. Cuenta con dos muros en los laterales este y oeste de 2 m de altura; el lateral norte está unido a la zona cerrada y el sur está abierto, siendo la zona de acceso.

Proximidad entre etapas del proceso global:

Para la optimización del proceso, la Nave debe estar en una ubicación anexa o lo más cercana posible a la nave de los Sistemas de Taladrina. De esta manera, el tiempo de traslado de las telas, virutas y lodos hasta la Nave será el mínimo posible. Por esta razón, se ha elegido la presente Nave como localización propuesta, ya que son edificios anexos (distancia aproximada de 5 m).

El lateral sur de la Nave de Virutas accede a una vía de comunicación interna de la factoría de Almussafes. Esta vía es un acceso para vehículos industriales (transpaleta, carretillas motorizadas, montacargas, trailers, camiones...) y utilitarios (furgonetas y coches de proveedores) a la Nave, por lo que facilita el transporte de productos, residuos y materiales necesarios. La vía tiene dos carriles en ambas direcciones por lo que la Nave tiene un fácil acceso desde cualquier dirección. Además, el acceso a la nave de los Sistemas de Taladrina está aproximadamente a 100 m desde la Nave de Virutas, por lo que trasladar esta actividad industrial desde los Sistemas de Taladrina a la Nave de Virutas no supondría un gran aumento en el tiempo invertido en el proceso, pero sí proporcionaría un notorio avance en la mejora de la productividad y seguridad.

Accesos contra incendios:

A pesar de ello, son de mayor prioridad los accesos de seguridad que deben rodear la Nave. De acuerdo con el *Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales* expuesto en el Real Decreto 2267/2004, los accesos de seguridad contra incendios deben contar con:

“Fachadas accesibles.

Tanto el planeamiento urbanístico como las condiciones de diseño y construcción de los edificios, en particular el entorno inmediato, sus accesos, sus huecos en fachada, etc., deben posibilitar y facilitar la intervención de los servicios de extinción de incendios.

Se consideran fachadas accesibles de un edificio, o establecimiento industrial, aquellas que dispongan de huecos que permitan el acceso desde el exterior al personal del servicio de extinción de incendios” [11].

De esta manera, se puede confirmar que la nave propuesta cuenta con las características necesarias en materia de “fachadas accesibles” ya que los muros este y oeste dejan espacio suficiente hasta la cubierta para acceder en caso de seguridad. Además, el lateral sur está totalmente abierto.

En el mismo documento también se especifican las características de los edificios industriales según su configuración y ubicación con su entorno. Éstas se agrupan en cinco tipos (A, B, C, D y E), de los cuales la zona cubierta y *canopy* son de los tipos C y D, respectivamente:

“2.1. Establecimientos industriales ubicados en un edificio:

TIPO C: el establecimiento industrial ocupa totalmente un edificio, o varios, en su caso, que está a una distancia mayor de 3 m del edificio más próximo de otros establecimientos. Dicha distancia deberá estar libre de mercancías combustibles o elementos intermedios susceptibles de propagar el incendio.

2.2. Establecimientos industriales que desarrollan su actividad en espacios abiertos que no constituyen un edificio:

TIPO D: el establecimiento industrial ocupa un espacio abierto que puede estar totalmente cubierto, alguna de cuyas fachadas carece totalmente de cerramiento lateral” [11].

En el Reglamento citado también se especifica que “*para los tipos D (...) se considera que la superficie que ocupan constituye un «área de incendio» abierta, definida solamente por su perímetro*”[11], por lo que la Nave es un área de incendio abierta de perímetro 182,2m.

3.2. CARACTERÍSTICAS A CUMPLIR

Cualquier edificio donde se localice una actividad industrial debe contar con ciertas características a cumplir que aseguren la seguridad e higiene de los trabajadores.

De acuerdo con el Real Decreto 2267/2004, es necesario asegurar un sistema de evacuación de humos [11], ya que la actividad estudiada se clasifica como “sector con actividad de almacenamiento” (apartado *b* del punto 7.1 del *Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales*). Como la Nave cuenta con 912 m² construidos, se considera de “riesgo intrínseco alto”. A pesar de ello, se debe tener en cuenta que la Nave tiene únicamente una fachada construida (lateral norte), por lo que la evacuación de humos no es un problema que nos ocupe.

Para asegurar la seguridad, se deben instalar señales en los muros de la Nave. Las señalizaciones necesarias según el tipo de actividad industrial (escurrido de aceites) se dividen en dos clasificaciones: señales de prohibición y de obligación.

Las señales de prohibición tienen forma redonda y cuentan con un pictograma negro sobre fondo blanco, con los bordes y una banda transversal rojos. La banda debe atravesar el pictograma de izquierda a derecha a 45° respecto a la horizontal. Además, “*el rojo deberá cubrir como mínimo el 35 por 100 de la superficie de la señal*” [12]. Las señales de prohibición necesarias en el área de escurrido del aceite son: prohibido fumar y encender fuego, entrada prohibida a personas no autorizadas.

Las señales de obligación tienen forma redonda y cuentan con un pictograma blanco sobre fondo azul. El color azul debe ser más del 50% del color global de la señal [12]. Las señales de obligación que deben estar en el área de escurrido del aceite son: protección obligatoria de los pies, protección obligatoria de la vista, uso obligado de chaleco

reflectante, protección obligatoria de las manos (únicamente si es necesario manipular algún elemento de la Nave).

En la Figura 5 se muestran las señales de prohibición y de obligación necesarias.



Figura 5: A) y B) Señales de prohibición “Prohibido fumar y encender fuego” y “Entrada prohibida a personas no autorizadas”, respectivamente. C), D), E) y F) Señales de obligación “Es obligatorio usar calzado de seguridad”, “Es obligatorio usar gafas”, “Uso obligatorio de chaleco reflectante” y “Es obligatorio usar guantes”, respectivamente.

Fuentes: MPL Soluciones, visitado 22/07/2017: <http://mplsoluciones.com>; Seton, visitado el 22/07/17: <http://www.seton.es>; Incotex, visitado el 22/07/17: <http://www.incotex.es>

3.3. ÁREAS

Debido a su naturaleza, cada tipo de producto recibido en la *Nave de manejo de telas, lodos y virutas* (considerado residuo en los Sistemas de Taladrina) realiza un procesamiento distinto hasta considerarse un residuo final. Estos productos entrantes son virutas de todos los tamaños, telas filtrantes empapadas (de aceite, lodos y virutas) y lodos (viruta en polvo con aceite). Cada uno se gestiona de manera diferente, por lo que se crean tres áreas muy diferenciadas para su almacenamiento mientras se escurre el aceite que portan:

- Área de Telas:

Las telas filtrantes se almacenan en jaulas, cada una con capacidad de aguantar hasta 1,5 toneladas de telas. Se distribuyen de manera que una jaula reposa sobre otra. Para optimizar espacio, se colocan en columnas de dos jaulas, para llegar a una altura total de 3 m y poder gestionar las telas más cómodamente.

La función de las jaulas es escurrir al máximo posible las telas, por lo que deben descansar sobre sistemas de recogida de fluidos. Estos sistemas pueden ser unos cubetos de contención y deben tener un fácil sistema de extracción de fluido, para que no rebose hacia el suelo.

- Área de Lodos:

Los lodos deben almacenarse en contenedores con la parte superior descubierta, para que puedan airearse y secarse. Los contenedores deben tener unos pequeños orificios en la parte trasera inferior; de esta manera, la taladrina irá escurriéndose por ahí. El área de lodos hace referencia a las bandejas de acero con guías donde reposarán los contenedores para no dañar la solera: se compone de dos bandejas de 3,5 m x 1,5 m, por lo que el área son 10,5 m².

- Área de Virutas:

Tanto las virutas grandes (más de 1 m de largas) como las pequeñas (menos de 1 cm) se almacenan en tolvas de 1,5 m x 1,5 m, con la parte superior abierta para que las virutas se aireen y sequen; además, deben tener una extracción por la parte inferior para que el aceite escurrido fluya por una canalización y se trate posteriormente.

Como se puede observar, la función principal de esta Nave es escurrir los restos de taladrina de las telas, lodos y virutas. Estos restos de taladrina se canalizan hasta varias pocetas centrales que deben bombear la taladrina agotada hasta un almacén hasta que la empresa gestora de residuos la transporte a una planta de valorización energética.

Las taladrinas agotadas son consideradas como residuos peligrosos por la Legislación europea y española. En el ámbito nacional por la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados, ya que son productos altamente contaminantes debido a su alta concentración de agentes externos como aceites de fugas de circuitos hidráulicos y de engrase, otros lubricantes, polvo, restos de productos de limpieza, etc. Debido a estos

agentes, las propiedades de las taladrinas desaparecen generando el fenómeno de “stress mecánico”. Este fenómeno provoca que el resultado del mecanizado donde se utilice la taladrina agotada no sea óptimo [13].

Algunas de las telas almacenadas se combustionan espontáneamente al pasar aproximadamente tres semanas escurriéndose. Los motivos no se conocen exactamente, pero se baraja que el rozamiento de las telas entre sí y la presencia de aceite, así como la gran acumulación de telas enrolladas, provocan estas pequeñas combustiones. Además, se ha observado que, con la subida de temperatura en las épocas estivales, el número de combustiones aumentan. Cuando ocurre esto, los operarios deben tirar agua para apagarlas. Por considerarse un almacenaje con alto riesgo, la fecha límite de recogida de las telas por la empresa gestora de residuos debe ser cada tres semanas. La empresa gestora de residuos contratada por Ford lleva las telas a una planta de valorización energética para el aprovechamiento de la energía térmica que puedan contener.

Por otro lado, las virutas y lodos se pueden dejar secándose hasta que haya volumen suficiente para optimizar la carga del camión de transporte, llenando al máximo su capacidad. El camión transporte pertenece a la empresa gestora de residuos contratada por Ford. Tanto las virutas como los lodos se consideran residuos peligrosos, igual que las taladrinas agotadas, por su contenido de aceite.

La solera de todas las áreas debe estar debidamente impermeabilizada como se menciona en el apartado 2. *Introducción* del presente TFG. Además de ello, se debe hacer una instalación de canalizaciones que recojan las taladrinas escurridas; éstas también deben estar impermeabilizadas. Para tener un mayor control, se propone la creación de dos arquetas de control de la impermeabilización, por lo que se instalarán tuberías semipermeables debajo de la solera impermeabilizada para poder comprobar que no existe ninguna fuga al suelo de debajo de la capa protectora (capa impermeable).

Como extra para la Nave de Virutas, se propone el traslado del lavadero existente en la parte cubierta a la zona del *canopy*. De esta manera, las máquinas que deban ser lavadas podrán ser llevadas de manera más cómoda y segura desde la parte exterior, sin tener que entrar a un edificio industrial. Además, se propone en el presente TFG un rediseño de los cubetos de contención del lavadero y de la impermeabilización de éste para asegurar la eliminación de las filtraciones al suelo donde descansará el lavadero. Todas estas mejoras se explican y desarrollan en el apartado 5. *Propuesta de impermeabilización* pero, previamente, se debe realizar un Protocolo de Muestreo del suelo para comprobar si existe inicialmente contaminación.

4. PROTOCOLO DE MUESTREO DEL SUELO

Un protocolo de muestreo es un plan de actuación guiado, que sirve para determinar las operaciones a realizar para saber si un suelo está o no contaminado. Existe una necesidad de basarse en un protocolo previamente diseñado ya que, para realizar un correcto muestro, es necesario actuar siempre según las mismas consideraciones. De esta manera, se realiza una comparativa fiable entre las diferentes muestras analizadas. Para conocer si es necesaria una acción de descontaminación del suelo, se debe comparar los resultados del análisis con los datos obtenidos en el estudio histórico del suelo, llamado “blanco ambiental”.

Este protocolo debe considerar ciertos factores influyentes en la planificación del análisis. Si éstos no se consideran, el proyecto de análisis del suelo puede tener retrasos, sobrecostos y/o malinterpretaciones de la información obtenida, generando una solución errónea sobre la situación del suelo estudiado.

En resumen, el diseño del protocolo de muestreo es un trabajo necesario que debe basarse en la fase de investigación (explicada a continuación), en las limitaciones de cada situación concreta y en el objetivo del análisis a realizar. En este caso, el objetivo final del análisis es responder a la pregunta “¿Está el suelo contaminado?”.

Los diferentes apartados de los que consta el presente Protocolo de muestreo son:

- A. Fase de investigación
- B. Punto de toma de muestras
- C. Técnica de muestreo
- D. Toma de muestras
- E. Manejo de muestras
- F. Análisis de muestras
- G. Informe técnico
- H. Eliminación de las tierras contaminadas

A continuación, se explica con detalle los diferentes apartados enumerados anteriormente.

4.1. FASE DE INVESTIGACIÓN

Previamente a realizar el análisis en el laboratorio, se debe observar *in situ* el objeto de estudio. Esta observación previa es la “Fase de investigación” e incluye también la toma de los datos necesarios para diseñar el protocolo de muestreo.

La fase de investigación proporciona la información necesaria sobre el tipo de suelo para que la aplicación del protocolo de muestreo se realice de la manera correcta. Consiste en varios pasos para determinar el origen, tipo, alcance y distribución espacial de los contaminantes. Estos pasos son el *estudio histórico del suelo*, la *investigación exploratoria* y la *investigación detallada* [14].

4.1.1. ESTUDIO HISTÓRICO DEL SUELO

Como bien indica su nombre, el estudio histórico del suelo busca proporcionar una imagen clara de las actividades a las que el suelo estudiado se ha sometido con anterioridad. Más concretamente, como se indica en el Anexo II del Real Decreto 199/2006:

“El objeto del estudio histórico es obtener información detallada sobre la evolución cronológica de los usos del suelo en el emplazamiento, sobre las actividades concretas y las acciones potencialmente contaminantes del suelo en él desarrolladas, así como sobre su interrelación con la posible contaminación o alteración del mismo” [14].

En el caso del presente estudio, existe registro sobre la inauguración de la Planta de Motores de Valencia (VEP) de Ford Almussafes en el año 2002, pero no se ha podido encontrar la información de cuándo se construyó la Nave objeto de estudio, ya que podría tratarse de una ampliación. Tampoco hay constancia de qué procesos productivos han pasado por esta nave. Actualmente, se utiliza como almacén temporal de varios proveedores habituales de la VEP -como Ferrovial, Villajos y Moncobra. Por tanto, en este momento no existen acciones potencialmente contaminantes, ya que el material almacenado son piezas de antiguos trabajos que son demasiado aparatosas para transportarlas.

La futura actividad industrial que se quiere albergar sí que se considera una “actividad potencialmente contaminante” de acuerdo con la Legislación vigente, ya que –como se ha mencionado a lo largo del presente TFG- consiste en una zona de escurrido de aceites lubricantes y refrigerantes usados (denominados taladrinas agotadas [13]). Más adelante, se explica la naturaleza de estos contaminantes y el tipo de análisis para poder determinarlos.

El suelo, donde se realizarán los análisis y la propuesta de impermeabilización, se considera con un alto riesgo de contaminación, ya que el proceso productivo consiste en el escurrido de aceites a canales de obra construidos en la solera o a cubetos que pueden desbordar a la misma. Desde los canales se dirigen a las pocetas, donde se bombean para ser recogidos como residuos peligrosos. El diseño de la futura solera incluye varias canalizaciones que recogerán las taladrinas escurridas, pero para prevenir al máximo la contaminación del suelo, hay que considerar que va a haber derrames continuos a la solera.

Además, de acuerdo con el Anexo I 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, la fabricación de vehículos a motor (Actividad económica 34.10 [15]) es una “Actividad Potencialmente Contaminante” y la fabricación del motor de combustión está incluida en esta misma actividad económica [16].

4.1.2. INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA

La investigación exploratoria es la fase donde se hace una toma de muestras previa y se realizan las primeras observaciones (visita de campo) del suelo a analizar. Con toda la información, se determina una primera aproximación de la distribución de la contaminación (en ambos planos: horizontal y vertical). También se generan unos “datos base” de la contaminación natural (no dañina para la salud humana y medioambiental) que hay en la zona. A este análisis previo se le llama “blanco ambiental” y servirá para comparar los resultados del resto de análisis que se realicen en la zona. Es decir, actúa como muestra patrón.

Además, gracias a las observaciones se puede realizar una hipótesis sobre las sustancias contaminantes que puede haber en el suelo de estudio, así como de su distribución espacial. Gracias a esta información, se realiza una primera descripción del medio físico y se obtiene una imagen sobre el estado de alteración del suelo: limpio, alterado o contaminado [17].

De acuerdo con la Disposición 17776 de la *Ley 1/2005, de 4 de febrero, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo*, en el Artículo 12 del capítulo III se define con detalle la investigación exploratoria:

“La investigación exploratoria incluirá (...) la obtención de datos de las características relevantes del medio físico, así como la realización de una campaña de muestreo y análisis que permita acotar la lista de sustancias contaminantes presentes en la totalidad del suelo objeto de investigación y su posible distribución espacial, indicando su concentración en cada una de las subáreas diferenciadas dentro del área de estudio” [17].

De esta manera, los resultados de los análisis de la investigación exploratoria se comparan con los resultados obtenidos del blanco ambiental para proporcionar una idea sobre los contaminantes, su distribución espacial y concentración en las diferentes zonas del suelo.

Sobre las observaciones realizadas en la visita de campo, los parámetros físicos básicos a analizar de un suelo son cambios en el color, la textura y/o el olor. Ese análisis, que puede parecer más “rudimentario”, proporciona una primera aproximación sobre el estado del suelo, que se verá confirmada y ampliada gracias al análisis del blanco ambiental. El grado de aproximación depende de la experiencia del técnico.

Debido a la contaminación por aceites o combustibles, el suelo contaminado pasa a tener un color más oscuro y un olor más intenso, normalmente desagradable.

De acuerdo con la Disposición 17776 de la *Ley 1/2005*, al finalizar la investigación exploratoria se recomienda hacer un informe sobre el estado del suelo. Este informe debe incluir:

- *Descripción de los objetivos de la investigación exploratoria.*
- *Resumen de la información recopilada en la investigación histórica y en el estudio del medio físico.*
- *Descripción y justificación de la estrategia de investigación.*
- *Resultados de la investigación.*
- *Interpretación de los resultados de la investigación exploratoria.*
- *Compatibilidad del suelo en relación con el uso actual y, en su caso, el uso previsto.*
- *Medidas a adoptar en función de los resultados de la investigación.*
- *Conclusiones.*

En el artículo 14 del capítulo III de la misma Disposición, se indica que si tras analizar el informe de la investigación exploratoria se observa que se superan los valores indicativos de evaluación B (VIE-B) [Anexo I] para el uso del suelo, se debe realizar una fase más: la investigación detallada [17].

Durante la investigación exploratoria también se deben realizar los primeros análisis de las muestras mientras se van sucediendo las extracciones de suelo, para así ir acotando qué tipo de contaminante se tiene en el suelo contaminado. Con los resultados de estos primeros análisis *in-situ* y las observaciones (recogidas en el Informe de la Investigación Exploratoria) se diseñará el procedimiento de análisis químico que deberá seguirse en el laboratorio. El análisis químico en el laboratorio definirá exactamente qué sustancias contaminantes hay y en qué concentración se encuentran en el suelo estudiado.

Para la realización de los análisis *in-situ*, se debe tener en cuenta que existe una amplia variedad de equipos auxiliares. Este tipo de análisis facilita la investigación exploratoria gracias a la optimización de recursos. Por ejemplo, se puede saber si hay contaminantes en la superficie tomando una pequeña muestra del suelo, sin necesidad de perforar la solera. Estos equipos no dan detalles, pero sí una primera idea sobre la existencia de contaminación. Las ventajas de los diagnósticos *in-situ* se mencionan a continuación:

- Identificación rápida sobre qué contaminantes hay y su fuente.
- Generación del orden de magnitud (cualitativa/cuantitativamente) de los contaminantes.
- Optimizar el número de puntos de toma de muestras y su ubicación.

- Planificación dinámica sin esperar a los resultados del laboratorio.
- Comparar resultados de campo y de laboratorio.
- Generar instantáneamente un protocolo de seguridad para evitar los riesgos para la salud de la contaminación.

La elección sobre el uso de equipos auxiliares va acompañada con un aumento de la inversión necesaria para el proyecto, ya que estos equipos son caros. El beneficio que aportan, a pesar de todo, es que generan una mejora de la calidad de los sondeos, así como un posible ahorro al optimizar los procesos de toma de muestras. Además, ayudan a generar un buen diseño del análisis químico que se realizará en el laboratorio. Las sustancias que se pueden detectar con estos equipos auxiliares son gases inflamables y explosivos mediante “explosímetros”, gases de vertederos (biogás, dióxido de carbono y oxígeno), metales y compuestos orgánicos volátiles (COVs).

Para la detección de metales en un suelo se utiliza la técnica de espectroscopia de fluorescencia por rayos X, que utiliza un haz de isótopos radiactivos para excitar a los metales. Éstos emiten una respuesta como rayos X de fluorescencia que se recibe gracias a un detector de berilio. Este equipo, llamado detector de fluorescencia de rayos X, permite la detección rápida de metales en un suelo, pero debe extraerse una muestra para colocarla en la sonda del detector [18].

Algunos detectores de compuestos orgánicos volátiles son: detector por fotoionización (PID), por ionización en llama (FID) o mediante inmunoensayo para un uso *in-situ* y cromatógrafo de gases (GC) y espectrómetro de masas (MS) para los análisis en el laboratorio. La diferencia entre ellos es el rango de los compuestos que detectan, el coste y si la medida es cualitativa o cuantitativa.

DETECTOR POR FOTOIONIZACIÓN (PID)

Los PID (Photoionization Detector) tienen variedad de modelos para suelos de todas las características; son uno de los instrumentos más utilizados en las investigaciones sobre suelos contaminados. Se basa en la emisión de fotones de una lámpara ultravioleta: éstos tienen un nivel energético suficiente para ionizar los vapores orgánicos, pero menor del necesario para ionizar el resto de componentes del aire (nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono), por lo que los COVs se ionizan al recibir la radiación UV. El detector está diseñado para responder cuando el potencial de ionización del vapor sea menor o igual al de la lámpara de UV; de esta manera, se asegura emitir una señal únicamente cuando se hayan ionizado los COVs (es decir, que estén presentes). Se pueden combinar varias sondas con otros voltajes de lámpara, que generen distintos potenciales de ionización para buscar la presencia de diferentes tipos de COVs.

Se denomina *headspace* al espacio libre donde están los vapores a estudiar. Éstos se introducen en una cámara de ionización directamente desde el aire ambiente o gracias a la sonda y una bomba de succión. En este último caso, la sonda se introduce en unas bolsas herméticas de poliamida que evitan la lixiviación de los compuestos sobre las muestras de gases (denominadas bolsas Rilsan). En éstas se pueden introducir muestras

de suelo, agua o gas; en los dos primeros casos, la bolsa no debe llenarse por completo para que la muestra emita los gases que se quieren estudiar.

Los PID necesitan constantes calibraciones; además, éstas dependen del tipo de COV a medir (por ejemplo, para benceno la respuesta oscilará entre 0–600 ppm de forma lineal, para otras concentraciones la respuesta no es certera). Hay que tener muchas precauciones y seguir un estricto rigor en la forma de utilización descrita por el fabricante; por ejemplo, la ventana de la lámpara debe estar siempre limpia, la sonda no debe humedecerse si la muestra es líquida, si se usan las bolsas Rilsan se debe esperar el mismo tiempo cuando se toman las diferentes muestras, etc. La mayor desventaja es que la concentración medida depende del volumen de vapores medido y del rango total del potencial de ionización; esto quiere decir que la respuesta es cualitativa: no se sabe la cantidad exacta de contaminantes y no separa estos compuestos individualmente. Para ello, se podría conectar a un cromatógrafo de gases e identificar los compuestos. Otro inconveniente es que no detecta tetracloruro de carbono ni ácido cianhídrico, que son gases tóxicos.

Además, se pueden generar mediciones erróneas debido a la proximidad de transformadores o líneas eléctricas, así como a la presencia de niebla (vapor de agua) y a los vientos fuertes, que afectan a las lecturas del instrumento. También cabe destacar que su coste es muy elevado.

Las ventajas radican en su gran sencillez de utilización y aprendizaje, así como en la velocidad de muestreo. Esto último implica una gran optimización ya que se elige qué muestras interesa enviar al laboratorio. Además, no detecta metano, por lo que la medida no se verá afectada, aunque haya un vertedero cercano.



Figura 6: Detector de fotoionización. Fuente: Catálogo EnviroTecnics.

DETECTOR POR IONIZACIÓN EN LLAMA (FID)

El *Flameionization Detector* funciona según un principio muy parecido al PID; la diferencia reside en que los iones de los gases se generan cuando éstos combustionan por una llama

de hidrógeno puro. La cámara del detector aísla la mezcla de gases que combustiona y los iones son recogidos en un electrodo polarizado, el cual emite una señal eléctrica proporcional a la concentración de COVs en la muestra.

Las aplicaciones de los FID que difieren de los PID son las detecciones de metano, etano, tetracloruro de carbono y ácido cianhídrico, todos ellos gases tóxicos con alto potencial de ionización. Además, igual que los PID, también detecta los COVs procedentes de todo tipo de muestras: suelo, agua y aire; y también hace uso de bolsas Rilsan para las muestras sólidas y líquidas.

Los problemas y las precauciones son los mismos que en los PID a excepción de que no falsea la medida en presencia de humedad (niebla); por ello, el principal inconveniente es que la respuesta sobre la cantidad de contaminantes es relativa al volumen de muestra tomado.

A diferencia del PID, un FID sí separa compuestos individualmente; es decir, puede utilizarse como cromatógrafo de gases, generando una respuesta semicuantitativa. Además, el rango de compuestos que puede medir es superior al de los PID. Su mayor desventaja es que destruye la muestra al analizarla, ya que se somete a una combustión. Los costes también son elevados.



Figura 7: Detector por ionización en llama. Fuente: Catálogo Sewerin.

DETECTORES MEDIANTE INMUNOENSAYO

Estos detectores son unos tubos que contienen un anticuerpo sensible al contaminante. La especificidad elevada del anticuerpo genera una reacción que provoca un cambio de color en la muestra. El grado de intensidad del color es inversamente proporcional a la concentración de contaminante en la muestra y para obtener el resultado el análisis se compara con unos patrones de intensidades de compuestos con concentraciones conocidas.

Se utiliza en muestras sólidas o líquidas para determinar un rango muy grande de compuestos orgánicos, como pesticidas, explosivos o hidrocarburos.

El inconveniente que presentan es que el anticuerpo podría reaccionar con compuestos similares al contaminante, falseando el ensayo. También puede dar resultados erróneos si la temperatura es extrema y hay que tener en cuenta que los anticuerpos tienen un tiempo de vida limitado, dependiendo del tipo, entre 1 mes y 1 año.

Como ventaja, hay que considerar que es una técnica muy sencilla de realizar (hasta 30 inmunoensayos por hora) y de aprender, además de tener un bajo coste.

CROMATÓGRAFO DE GASES (GC)

Este equipo se usa de manera individual o combinado con otros equipos detectores. El tipo más habitual es el espectrómetro de masas (MS). Existen variantes que pueden ser trasladadas a la localización del muestreo en una visita de campo, pero no es habitual porque son mucho más complicadas de transportar *in-situ*. Por ello, normalmente se encuentran en el laboratorio. Por esta razón, en el presente protocolo de muestreo, este equipo se explicará en el apartado *Análisis de muestras*, ya que, en la mayoría de los casos, el espectrómetro de masas se utilizará en el momento del análisis de la muestra en el laboratorio.

En el caso de estudio del presente TFG, se recomienda la utilización de detectores por fotoionización (PID) para la detección *in-situ* de COVs; como se ha mencionado anteriormente, son sencillos de usar y su velocidad de muestreo es muy alta.

4.1.3. INVESTIGACIÓN DETALLADA

La investigación detallada se basa en la valoración del riesgo para la salud humana y del medio ambiente que pueda ser causado por la presencia de sustancias contaminantes en el suelo. Estas sustancias se consideran un riesgo cuando superan los *valores indicativos de evaluación* [Anexo I]. La investigación detallada debe delimitar el tipo, la concentración y la distribución de las sustancias contaminantes y cuantificar el riesgo para la salud humana y del medio ambiente [17].

Es decir, se toman los datos obtenidos en la investigación exploratoria y se realiza la *Valoración de Riesgos Ambientales* (VRA), que es el proceso de identificación de los riesgos para la salud humana y de los ecosistemas. La VRA debe considerar el uso actual y futuro del suelo objeto de estudio [17]. Gracias a esta valoración, se proporciona la información necesaria sobre métodos, útiles y medidas que son necesarias adoptar para eliminar los riesgos.

Para realizar la Valoración de Riesgos Ambientales (proceso llamado "Evaluación del Riesgo Ambiental") se puede acudir a la *Guía para la Realización de Análisis de Riesgo Medioambiental* (publicada en el Real Decreto 1254/1999) así como a la *Norma UNE 150008*, que además sirve de referencia para la redacción de los informes de Evaluación de Riesgo Ambiental que deben presentar las empresas que vayan a realizar una actividad industrial.

En la Ley 1/2005, se especifica que la investigación detallada *“incluirá la realización (...) de un análisis de riesgos cuyo contenido mínimo deberá tener en cuenta, sin perjuicio de posteriores desarrollos reglamentarios, los aspectos que se recogen en el anexo III de esta ley”* [17]. El Anexo III citado expone la información que posteriormente se recoge 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*, por lo que se toma como referencia para el protocolo de muestreo expuesto en el presente TFG. Esta metodología se esquematiza en cuatro etapas básicas [19]:

- **Identificación de peligros:**

Se debe crear un modelo conceptual del suelo estudiado, donde se han de acotar los focos de contaminación, los contaminantes presentes y la forma de su distribución por el suelo. Además, es importante definir los mecanismos de transporte, los receptores y las vías de exposición de estos contaminantes, para poder actuar de forma más eficiente.
- **Análisis toxicológico o de peligrosidad:**

Se debe realizar un análisis del tipo dosis-respuesta para saber de forma cuantitativa la toxicidad de las sustancias contaminantes. Primeramente, se debe estudiar si la exposición a los contaminantes hallados puede crear un efecto adverso en la salud humana. Posteriormente, se debe cuantificar el ratio de incidencia del contaminante sobre el efecto negativo en la salud.
- **Análisis de la exposición:**

El objetivo es saber cuánta dosis diaria de los contaminantes estudiados puede asimilar una persona; de esta manera, se obtiene la máxima exposición recomendable. Esta exposición puede ser directa o indirecta: el primer caso hace referencia al contacto dérmico o a la ingesta de suelo o de aguas subterráneas; y el segundo caso se refiere a la inhalación de vapores.
- **Análisis de riesgos:**

Se ha de realizar la estimación sobre el riesgo que supone la localización del estudio al cruzar los datos obtenidos en los análisis de peligrosidad y de exposición. Se debe tener en cuenta que, al tratarse de una estimación, se debe indicar el nivel de incertidumbre asociado a los resultados obtenidos. Dependiendo del tipo de sustancia, se asume una situación determinada de riesgo aceptable; para sustancias cancerígenas, la VRA implica que la aparición de cáncer no exceda uno por cada cien mil casos, por ejemplo.

Si al finalizar la Valoración de Riesgos Ambientales se concluye que el nivel de riesgo no es aceptable, se debe modificar la situación de estudio hasta que se elimine el riesgo o se reduzca a niveles aceptables.

En el artículo 16 de la Ley 1/2005 se expone que, al finalizar la investigación detallada, se realizará un informe que debe incluir como mínimo la siguiente información [17]:

- *“Resumen de los resultados de la investigación exploratoria.*
- *Descripción de los objetivos de la investigación detallada.*
- *Descripción y justificación de la estrategia de investigación.*
- *Descripción de las características del suelo.*
- *Descripción detallada del funcionamiento hidrogeológico del emplazamiento.*
- *Resultados de las campañas de muestreo realizadas y de los análisis químicos.*
- *Interpretación de los resultados de la investigación detallada.*
- *Evaluación de riesgos e interpretación de sus resultados.*
- *Compatibilidad del suelo en relación con el uso actual y/o el uso previsto.*
- *Objetivos de la recuperación: concentraciones de contaminantes aceptables.*
- *Medidas que permitan la compatibilidad de la calidad del suelo con el uso actual y/o previsto.*
- *Conclusiones.”*

De esta manera, se obtienen dos informes totalmente descriptivos del suelo de la localización estudiada en la fase de investigación, los cuales deben ser analizados para poder proceder en las siguientes fases del protocolo de muestreo. Gracias a los datos y resultados obtenidos, se elige la tipología del muestreo idónea para el emplazamiento, la técnica de muestro, el proceso de toma de muestras y su manejo hasta el laboratorio, así como los análisis a realizar sobre las muestras (para asegurar el tipo de contaminantes presentes en el suelo) y cómo gestionar el volumen de tierras contaminadas. Además, con los resultados de los análisis, se redacta un informe técnico que caracteriza el suelo estudiado y sirve para futuros proyectos.

Como conclusión, se debe tener en cuenta que el esfuerzo invertido en la *Fase de investigación* es directamente proporcional a la calidad de la investigación del suelo con posible contaminación.

4.2. PUNTOS DE TOMA DE MUESTRAS

Como se ha mencionado anteriormente, tras conocer los posibles contaminantes existentes en el suelo de estudio y su fuente de procedencia, lo primero que se debe realizar es el replanteo inicial de los puntos de toma de muestras o puntos de muestreo (PDM). La elección del número de puntos de toma de muestras determinará el tipo de muestreo que se debe realizar en el suelo.

Para determinar el número de toma de muestras hay que analizar varios factores: la superficie con posible contaminación, su aspecto inicial y la ubicación de la fuente del contaminante. La superficie de estudio de este TFG es 912 m², pertinente a la Nave de

Virutas. El aspecto inicial del suelo se ha observado y analizado durante la investigación exploratoria, por lo que se debe tener en cuenta el informe redactado por los técnicos en esa fase de estudio. Sobre la fuente de contaminación, en el presente estudio no existe una fuente evidente, ya que el uso actual de la Nave no está clasificado como actividad potencialmente contaminante. Los muestreos que se deben realizar tienen como objetivo asegurar la *no contaminación* del suelo, ya que éste posteriormente se someterá a una impermeabilización; y tras esta medida, será más complejo y de coste más elevado hacer un análisis del suelo. Es decir, es necesario comprobar si hay contaminación y, en caso afirmativo, sanear el suelo o evitar ese avance de la contaminación, y finalmente realizar una medida de prevención de futura contaminación – en este caso, se propone la impermeabilización.

El número de PDM puede ampliarse a lo largo de todo el proceso si se observan indicios organolépticos (color y olor) o resultados en los análisis de laboratorio indicando que puede haber contaminación en cierta zona. Por ello, se ha denominado como “replanteo inicial”, ya que los puntos de muestreo podrían modificarse o ampliarse para analizar más volumen de tierras y obtener resultados concluyentes.

La elección de la ubicación de los puntos de toma de muestras se clasifica como “tipo de muestreo”. En función del tipo de suelo, se procede a elegir un tipo de muestreo. Posteriormente, se llevará a cabo el tipo de muestreo elegido en la localización estudiada.

Existen muchas clasificaciones de los tipos de muestreo. Éstas dependen de la actividad del suelo del que se quiere sacar las muestras. El presente TFG expone de forma descriptiva las más conocidas y utilizadas en la industria.

Una clasificación básica de los tipos de muestreo es según la homogeneidad del suelo:

- Suelo homogéneo:

Cuando el suelo cuenta con una textura homogénea, donde no se observan grandes variaciones en el material, porosidad o densidad, se realiza un muestreo simple: el área de estudio se toma como un todo, sin ninguna subdivisión ni configuración determinada, no sigue ningún patrón sobre el orden de toma de muestras. Se puede profundizar en el estudio de los muestreos simples, ya que aunque el área no se subdivide por estratos en su profundidad, sí se divide en cuadrículas por toda la superficie. Esta división de la superficie ayuda a caracterizar mejor el suelo y clasificar de manera ordenada las muestras tomadas. Por ello, los puntos de toma de muestras se pueden realizar siguiendo una de las siguientes metodologías:

- Al azar (o aleatorio): los puntos de toma de muestras se reparten aleatoriamente por toda el área de estudio. Es decir, podría darse el caso de que una cuadrícula de la superficie no tuviese ningún punto de toma de muestras.

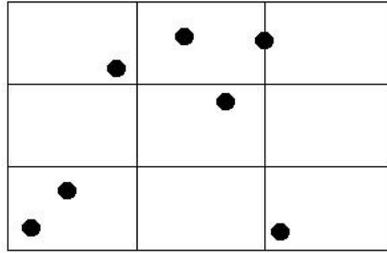


Figura 8: Representación de la metodología “al azar o aleatorio” en la elección de los puntos de toma de muestras para suelos homogéneos.

Fuente: Elaboración propia.

- Sistemático al azar: en esta configuración, en cada cuadrícula se sitúa un punto de toma de muestras. Este punto se sitúa en una posición al azar dentro de su cuadrícula. En este caso podría ocurrir que se quedase una zona (colindante de dos cuadrículas) sin punto de toma de muestras, si en esas cuadrículas los respectivos puntos de toma de muestras han quedado alejados. Esto se soluciona eligiendo un tamaño de cuadrícula menor o actuando según la tercera metodología.

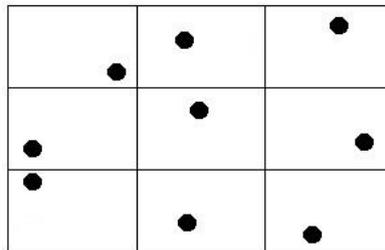


Figura 9: Representación de la metodología “sistemático al azar” en la elección de los puntos de toma de muestras para suelos homogéneos.

Fuente: Elaboración propia.

- Regular (o sistemático): en esta metodología se realiza un punto de toma de muestras en cada cuadrícula y se ubica en la misma localización en cada cuadrícula. Se utiliza este método cuando se tiene constancia que el terreno posee zonas con características que pueden falsear el muestreo. Por ejemplo, una zona cercana a una acequia podría tener los contaminantes más disueltos debido a la humedad de la zona.

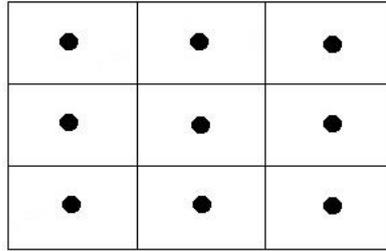


Figura 10: Representación de la metodología “regular o sistemático” en la elección de los puntos de toma de muestras para suelos homogéneos.

Fuente: Elaboración propia.

- Suelo heterogéneo:

Otra posibilidad es que el suelo objeto de estudio sea heterogéneo. Esto quiere decir que en la fase de investigación se haya concluido que existen zonas diferenciadas, de diferentes materiales, texturas, colores, densidades... Cuando el suelo es heterogéneo se debe actuar de manera diferente ya que las acciones a realizar repercutirán de una manera u otra dependiendo en qué zona del suelo incidan. Por ello, en este caso, se acotan zonas homogéneas dentro del suelo heterogéneo. Cada zona homogénea se considera un estrato, para realizar un muestreo estratificado. Este tipo de configuración se utiliza normalmente en suelos agrícolas, donde se utiliza una nomenclatura específica para diferenciar los diferentes estratos homogéneos: loma, media loma y bajo. Estos tres estratos representan las diferentes alturas relativas del terreno ya que cada una tiene pendientes diferentes. Para estudiar estas zonas, se realiza una representación de pirámide (Véase Figura 11).

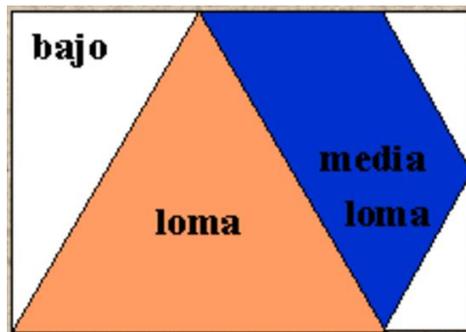


Figura 11: Representación gráfica de las zonas loma, medialoma y bajo.

Fuente: Darwich, 2003.

Dentro de estos estratos, se realizan puntos de toma de muestras al azar, siempre evitando las desuniformidades del terreno. A este muestreo se le suele denominar “muestreo al azar estratificado”.

PUNTOS DE TOMA DE MUESTRAS EN LA NAVE DE VIRUTAS

El presente protocolo de muestreo está enfocado a una aplicación en suelo industrial (no agrícola), por lo que el tipo de muestreo a seguir deberá considerar un suelo homogéneo. En el caso de la Nave de Virutas, aún no se conoce el estado actual del suelo, por lo que como primer replanteo, el presente estudio propone la realización de 10 puntos de toma de muestras repartidos según la metodología regular o sistemática por toda la Nave (Véase Figura 10).

4.3. TÉCNICA DE MUESTREO

Tras elegir el número de puntos de muestreo y tipo de muestreo que se debe realizar en el suelo de estudio, el siguiente paso es elegir la profundidad de cada punto de toma de muestras. Para ello, se debe analizar las técnicas de muestreo existentes, ya que cada una llega a una profundidad determinada. Estas técnicas de extracción varían mucho y su elección depende tanto de aspectos medioambientales (tipo de contaminación observada), técnicos (tipo de muestro elegido y posibilidad de realización según el emplazamiento) y económicos (cada empresa deberá sopesar los recursos que tiene para conseguir realizar un análisis óptimo de la posible contaminación). Sobre este último aspecto, en *Ford Motor Company* existe un departamento a nivel europeo que gestiona y financia todos los proyectos relacionados con la seguridad ambiental, por lo que no deben tener inconvenientes en poder realizar este análisis.

Se debe tener en cuenta que previamente a realizar todas las intrusiones en el suelo, todos los equipos que vayan a ponerse en contacto deberán ser debidamente limpiados. Es decir, tras finalizar las intrusiones en el suelo, los equipos que se hayan utilizado durante la aplicación de la técnica de muestreo elegida deberán ser lavados cuidadosamente antes de realizar el siguiente punto de toma de muestras.

De acuerdo con la Guía Metodológica para la Toma de Muestras [20], los principales sistemas para poder extraer muestras de los puntos de toma de muestras en los suelos contaminados son: calicatas, sondeos manuales, sondeos ligeros y sondeos mecánicos.

Algunos autores usan *muestreo* como sinónimo de *sondeo*, aunque en el presente TFG se ha hecho una distinción para facilitar la comprensión y definir los pasos de forma más precisa:

Sondeo: acción física de realizar una intrusión con una sonda en un suelo para extraer posteriormente una muestra.

Muestreo: todas las acciones y decisiones que deben tomarse para poder realizar la extracción de la muestra y su posterior análisis, conformando los puntos del protocolo.

A continuación, se explican las técnicas existentes para realizar intrusiones en el suelo contaminado, independientemente del uso de una sonda.

4.3.1. CALICATAS

Una calicata es un tipo de excavación mecánica realizada normalmente por máquinas retroexcavadoras o similares. Este tipo de investigaciones del terreno suelen llegar a un máximo de 5 ó 7 m de profundidad, dependiendo de la longitud de la pala de la retroexcavadora utilizada o si es extensible. Para llegar a más profundidad, existe la posibilidad de realizar bancales en el terreno para alcanzar 8 ó 10 m, aunque esta opción necesita más tiempo de operación –lo que equivale a más coste económico.

Las calicatas son útiles para extraer una gran superficie de tierra con poca inversión de tiempo y presupuesto, aunque es una técnica limitada para las capas superiores del suelo. Por esta razón, se suele utilizar como técnica complementaria a otras técnicas de muestreo; por ejemplo, para separar las zonas contaminadas para realizar un posterior sondeo o ayudar a eliminar una capa superficial extensa y más resistente.



Figura 12: Máquina retroexcavadora.

Fuente: Lance Cpl. Jose D. Lujano, Marine Corps Photos, visitado el 23/07/17

<http://www.marines.mil/Photos.aspx?igphoto=2000039993>

Licencia de reutilización de Creative Commons.

Cuando los contaminantes se encuentran en las aguas subterráneas, estas excavaciones se realizan como “zanjas de intercepción de la contaminación” [20]. Para ello, las calicatas se rellenan de materiales filtrantes para canalizar el agua subterránea a pozos de recuperación. En estos casos, la zanja debe ser de mayor longitud y el nivel freático de la zona debe ser escaso.

Por la naturaleza de esta técnica de muestreo, no es recomendada para caracterizar suelos con contaminantes volátiles, ya que las muestras contarán con poca representatividad del contaminante. También hay que tener en cuenta la estratigrafía del suelo: perfiles cambiantes, el grado de compactación de la tierra o diferentes materiales del suelo.

Esta técnica de muestreo presenta un alto riesgo debido a la inestabilidad del terreno cuando se cava una zanja: las paredes pueden colapsar repentinamente, por lo que deben

entablillarse a partir de 1,3 m de profundidad. Por ello, los técnicos de muestreo deben utilizar “muestreadores” (utensilios que permiten tomar la muestra a distancia), para evitar de todas las maneras posibles introducirse dentro de la calicata.

4.3.2. SONDEOS MANUALES

Tanto los sondeos manuales como los ligeros son los más utilizados, ya que sirven para niveles superficiales o subsuperficiales y la mayor parte de las investigaciones sobre suelos suelen llegar a una profundidad máxima de 15 m. Más concretamente, los sondeos manuales se utilizan cuando el suelo estudiado tiene poca estabilidad; es decir, cuando tienen una baja fuerza de compresión (0,5 toneladas por pie cuadrado). Este tipo de suelos están comprendidos dentro de la denominación “Tipo C” al ser suelos cohesivos (como grava) [21]. Estos sondeos no se pueden utilizar cuando el suelo es rocoso o pedregoso.

La ventaja con la que cuentan los sondeos manuales es la sencillez de la ejecución y del manejo de los equipos. Además, su aprendizaje es muy simple y el coste muy pequeño. En estas condiciones, la profundidad máxima alcanzable es 5 m, aunque las investigaciones en la Comunidad Autónoma del País Vasco especifican 1 m de profundidad, por ejemplo.

Tras determinar el punto de toma de muestras, se debe despejar la zona quitando ramas, piedras, maleza y la capa vegetal gracias a una azada, intentando que el suelo quede lo más inalterado posible. Posteriormente, se debe acoplar el vástago al mango de perforación y a la sonda. Todos los materiales deben estar perfectamente lavados para no alterar el punto de toma de muestras.

Dependiendo del tipo de suelo, grado de dureza, composición, grado de compactación y humedad, existen diferentes diseños de sondas manuales. A continuación, se describen brevemente algunas de éstas.

- Sonda de embudo:

Se conforma de un tubo de 0,9 m de longitud al cual se une un embudo donde se almacenan las muestras que se toman. Es útil para todos los suelos excepto para los de tipo arenoso seco. La muestra extraída tiene un diámetro de 2,5 cm y una longitud igual al tubo. El embudo empuja la muestra hasta el tubo, donde queda retenida.



Figura 13: Sonda de embudo. Fuente: Guía IHOBE.

- Sonda de “Edelman”:

Es de las sondas más utilizadas en todo el mundo. Está formada por un mango unido a un vástago donde hay un sacamuestras de un determinado diámetro. Existen de muchos diámetros diferentes, desde 4 a 20 cm; el más común es de 7 centímetros. La sonda suele ser de 1,27 m. Se puede utilizar en cualquier tipo de suelo, aunque su funcionamiento se optimiza si éste es húmedo y cohesivo.



Figura 14: Sonda de Edelman. Fuente: Guía IHOBE.

- Sonda manual de media caña:

Se conforma de un mango con un vástago unido a un cilindro sacamuestras, además de un refuerzo en la parte superior para ser golpeado. El sacamuestras puede tener un diámetro desde 2 a 3 cm y la sonda es de 1,45 m. Se utiliza en suelos cohesivos ya que mejora su funcionamiento cuanto más húmedo y blando es el terreno. Además, la alteración de la muestra es muy baja.

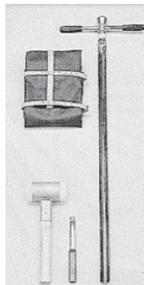


Figura 15: Sonda manual de media caña. Fuente: Guía IHOBE.

- Sonda manual “Riverside”:

Está creada por un mango que gira unido a un vástago, donde se acopla un sacamuestras tubular con el extremo partido en forma triangular por ambos lados. Los diámetros del sacamuestras pueden ser 5, 7, 8, 10 y 14 cm y la sonda es de 1,25 m. Se utiliza en suelos duros y compactos, por lo que es de gran utilidad cuando hay problemas con otras sondas. También se utiliza si el suelo cuenta con gravas finas. El grado de alteración de la muestra es medio.



Figura 16: Sonda manual "Riverside". Fuente: catálogo Eijelkamp.

- Sonda para gravas:

Esta sonda es muy similar a la "Riverside"; lo que difiere es que sus extremos partidos, además de triangulados, están curvados, por lo que crean un gancho para poder recoger más fácilmente la grava. El diámetro del sacamuestras puede ser de 7, 10 ó 14 cm. El grado de alteración de la muestra es mucho mayor que en las sondas anteriores.

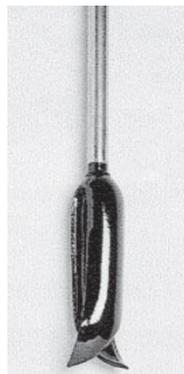


Figura 17: Sonda para gravas. Fuente: catálogo Eijelkamp.

- Sonda para suelos arenosos:

Esta sonda tiene un extremo tubular y prácticamente cerrado para poder retener los suelos que son poco cohesivos. El diámetro del sacamuestras suele ser de 7 cm. Sólo pueden ser utilizadas en suelos poco cohesivos ya que la sonda es sensible a la torsión.



Figura 18: Sonda para suelos arenosos. Fuente: catálogo Eijelkamp.

- Sonda de pistón:

Esta sonda está formada por un pistón de diámetro 4 cm aproximadamente. Se suele utilizar para suelos poco cohesivos, como fangos o arcillas ligeras. Además, se usa

como complemento de otras sondas: por ejemplo, la sonda Edelman llega a más profundidad, por lo que tras usarla se introduce la sonda de pistón para tomar muestras poco alteradas, ya que su grado de alteración es muy bajo.



Figura 19: Sonda de pistón. Fuente: catálogo Eijelkamp.

- Sonda manual helicoidal:

Se suele utilizar para obtener muestras en suelos muy densos o compactos y duros. Gracias a la forma de hélice, se consigue más penetrabilidad en el terreno. Muchas veces es útil para abrir el camino entre el suelo duro hasta llegar a una zona más blanda, donde se utiliza otra sonda para tomar la muestra, ya que la sonda helicoidal genera una alteración muy alta de la muestra. El diámetro de la hélice (que puede ser de doble espiral) suele ser de 4 cm.



Figura 20: Sonda manual helicoidal. Fuente: catálogo Eijelkamp.

4.3.3. SONDEOS LIGEROS

Como se ha comentado en los sondeos manuales, los sondeos ligeros se utilizan con mucha frecuencia debido a que la mayor parte de las investigaciones de suelos se realizan en las capas superficiales o subsuperficiales. Además, son el paso intermedio entre los sondeos manuales y los sondeos mecánicos, ya que utilizan el mismo tipo de sondas que en los manuales junto con una “fuente motriz accesoria a la manual” [20]. Por esta razón, tienen mayor coste económico que los primeros pero menor que los mecánicos. También son muy utilizados porque llegan a mayor profundidad que los manuales (hasta 10 m) y se introducen en ubicaciones donde no pueden acceder los mecánicos, por lo que son la perfecta combinación de ambas técnicas de muestreo. El inconveniente que presenta se reduce a la incomodidad de transportar los equipos, ya que son mucho más pesados y voluminosos que los utilizados en los sondeos manuales.

La fuente motriz accesoria que se suele utilizar es la corriente eléctrica o un motor de gasolina, que genera una torsión, rotopercusión o percusión en la sonda para poder acceder a más profundidad. Por esta razón, hay ciertas sondas manuales que no pueden ser utilizadas en esta técnica, como la sonda “Edelman” o “Riverside”, ya que tienen unas características que no podrían aguantar la fuerza aplicada. En este tipo de sondeos es necesaria la participación de más operarios que en los sondeos manuales y se debe prever la necesidad de una fuente energética, como corriente eléctrica, generador portátil o bidones de gasolina.

Hay que analizar la necesidad de perforar previamente la solera, por ejemplo, si es de hormigón. Para ello, se utilizará una sonda de las que se explican a continuación. Antes de perforar la solera, es necesario limpiar la zona con un cepillo metálico para quitar cualquier otra sustancia que pueda alterar la muestra. El polvo obtenido de la perforación se puede analizar también para obtener los contaminantes de la solera.

Puede ocurrir que al llegar a un estrato de material muy compactado o con escombros, la sonda “dé rechazo”, con lo que se habrá llegado a un punto muerto donde habrá que utilizar otras técnicas de perforación. Además, al estar cometida a tanto esfuerzo, la unión (entre la sonda y la fuente motriz) o “espárrago roscado” puede partirse, por lo que hay que contar con varios repuestos a la hora de llevar a cabo los sondeos, al igual que las sondas en sí mismas.

Hay que tener en cuenta que el diámetro inicial de la perforación debe ser lo más grande posible ya que, conforme se vaya sondeando, éste disminuye. Esto se realiza de esta manera para que la muestra no se contamine con material de los estratos superiores; además, así el rozamiento es menor. Al llegar a una profundidad de 2 m (límite de las barras de las sondas), se recomienda insertar unas barras macizas de 1 ó 2 m de longitud entre la sonda y la fuente motriz accesoria para llegar a más profundidad. A estas barras se las llama “varillas de extensión”. Cabe destacar que estas varillas deben unirse mediante roscas lubricadas con un material que no interfiera en los análisis; es decir, que no contamine las muestras (por ejemplo, polvo de grafito).

Tras alcanzar el estrato de la muestra, la sonda debe extraerse por dos personas mediante un “gato o extractor mecánico de tipo mordaza de bolas autoblocantes” [21] utilizando palancas. Es importante medir el nivel freático gracias a un hidronivel si éste es alcanzado durante las perforaciones.

Los tipos de sondas más utilizadas en esta técnica se explican a continuación.

- Sonda helicoidal:

Es muy similar a la sonda helicoidal manual. La diferencia reside en su punta de *widia* de mayor diámetro (de 8 cm), mayor resistencia y en su accionamiento por un taladro eléctrico que hace mover la broca helicoidal del sacamuestras. Se suele utilizar para perforar hasta 0,5 m de hormigón, para poder crear el paso necesario para otras sondas que funcionen por percusión. También se suele usar en suelos arcillosos que

no presenten demasiada resistencia al avance de la sonda. Permite sacar muestras con un grado de alteración alto.

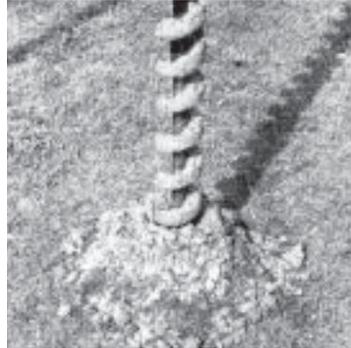


Figura 21: Sonda ligera helicoidal. Fuente: catálogo Eijelkamp.

- Sonda acanalada:

Está formada por una barra con una ranura a lo largo de ésta, de longitud 1 ó 1,5 m y de diámetro 2,5, 2,8, 3, 3,2 ó 3,4 cm. La barra conforma un martillo de percusión y su fuerza motriz depende de un motor (gasolina o eléctrico). Se puede utilizar en todos los suelos y la profundidad máxima a la que llega es de 10 m.



Figura 22: Sonda ligera acanalada. Fuente: catálogo Eijelkamp.

- Sonda acanalada reforzada:

Es muy similar a la sonda acanalada; únicamente difieren en que, en vez de tener una muesca o ranura a lo largo de la barra, ésta está totalmente hueca y cuenta con unas “ventanas” para sacar el testigo. La longitud suele ser de 1 ó 2 m y los diámetros de 3,8, 4,8, 6, 7,6 ó 10 cm. Estas sondas se utilizan en suelos fangosos, muy sueltos o con poca humedad, y las muestras que toma tienen un grado de alteración muy bajo. El único inconveniente es que las muestras se comprimen hasta un 15% de su longitud.

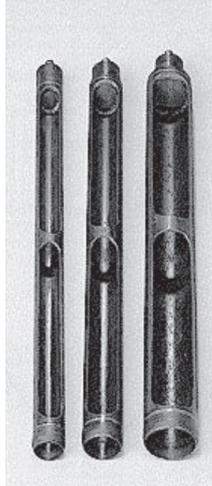


Figura 23: Sonda ligera acanalada reforzada. Fuente: catálogo Eijelkamp.

Hay que tener en cuenta que durante estos sondeos es necesaria la utilización de protección auditiva, aparte de las protecciones de pies y manos necesarias en los sondeos manuales.

4.3.4. SONDEOS MECÁNICOS

Se recurre a este tipo de sondeos cuando la toma de muestras debe realizarse a profundidades mayores de 15 m, límite que alcanzan los sondeos manuales y ligeros. Los sondeos mecánicos se llevan a cabo gracias a la utilización de equipos mecánicos de mayor envergadura que los utilizados en los sondeos descritos anteriormente. Esta técnica necesita una mayor planificación de los trabajos, personal más cualificado y mayor inversión. La logística en los sondeos mecánicos es algo esencial ya que las campañas deben estar planificadas al detalle, generando un proyecto de actuación que coordine todos los materiales necesarios, las personas involucradas y que tenga en cuenta la dilatación de los trabajos en el tiempo. Los operarios que participen deben tener formación sobre investigación geotécnica, ya que los equipos utilizados en las investigaciones de suelos contaminados tienen características muy distintas que no corresponden a los utilizados en sondeos mecánicos.

Las investigaciones realizadas sobre la funcionalidad de los diferentes equipos señalan a los de rotación con coronas de perforación como los más apropiados, seguidos de los equipos de percusión y de rotación con sondas helicoidales. Existen otros métodos de perforación, pero se usan con menos frecuencia por su alto grado de alteración en las muestras extraídas; éstos se utilizan muy comúnmente en la construcción de pozos de control.

A continuación, se explican las principales características de los equipos más utilizados en estos sondeos.

- Equipos de rotación con coronas de perforación:

Los métodos de rotación se basan en un movimiento de avance y giro del útil de corte; de esta manera, se va extrayendo la muestra. Pueden utilizar fluidos de perforación para mejorar la extracción. La técnica de rotación con coronas se utiliza para realizar un muestreo continuo. La corona es la pieza que va cortando el suelo para tomar la muestra. Dependiendo del tipo de suelo, se utilizan un tipo de coronas u otras: los diámetros varían desde 5,5 a 11,6 cm. Normalmente se utiliza la “corona de carburo de tungsteno (*widia*) en seco” [15], es decir, sin fluidos o lodos de perforación que puedan contaminar la muestra. Cuando el suelo presenta una resistencia al avance elevada, se recomienda utilizar coronas de diamante y con un flujo de agua (previamente descontaminada) para refrigerar. La muestra tomada se va introduciendo en el hueco del tubo que sale al exterior, donde se guarda para su posterior análisis.

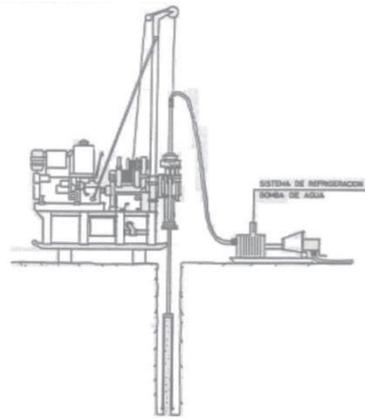


Figura 24: Esquema de equipo de rotación con coronas (IHOBE, S.A., 1996).

- Equipos de rotación con sondas helicoidales:

De igual manera que en los sondeos manuales o ligeros, las sondas con forma helicoidal pueden utilizarse de forma mecánica para aumentar la profundidad de la muestra. En este caso, la hélice es el útil de corte, que genera el avance al perforar - mientras gira- los materiales del suelo. Los diámetros existentes para esta sonda son muy variados; además, no precisa del uso de fluidos de perforación para refrigerar el suelo.

- Equipos de percusión:

Este método se ha usado tradicionalmente, pero está cada vez en mayor desuso por su bajo rendimiento y lentitud de la perforación. Se basa en el golpeo de una herramienta contra el suelo para romperlo y tritularlo; de esta manera, se perfora para tomar muestras posteriormente. La fuerza del golpeo se debe al vaivén que le transmite el cable. Los diámetros de la herramienta son muy variables (desde 20 a 60 cm), así como la morfología de los equipos. No necesita ningún equipo auxiliar (como bombas o compresores) y permite realizar perforaciones de gran diámetro.

4.4. TOMA DE MUESTRAS

Como se define en el apartado anterior *Técnica de muestreo*, el *muestreo* son todas las acciones para definir la existencia de contaminantes en un suelo. Por ello, tras elegir la forma de introducirse en el suelo (*técnica de muestreo*), se debe realizar la *toma de muestras*. Este paso es referente a la extracción física de la muestra, donde participará la técnica de muestreo elegida (sondeos o calicatas). Como se ha mencionado en el apartado anterior, algunos equipos durante los sondeos van extrayendo la muestra en sí misma, pero falta definir el orden y las precauciones que deben tenerse en cuenta antes de realizar la intrusión. Todas las recomendaciones a seguir deberán tener en cuenta la técnica de muestreo elegida, ya que, dependiendo del tipo de equipamiento, pueden cambiar algunas acciones de la toma de muestras.

De acuerdo con la Guía Metodológica para la Toma de Muestras [20], es necesario seguir unas recomendaciones para una correcta realización de la toma de muestras de un suelo con posible contaminación. A continuación, se enumeran y explican brevemente:

- A. *“La secuencia de toma de muestras debe ser desde los puntos supuestamente menos contaminados hacia los más contaminados. Esto se justifica con la hipótesis de que la contaminación sigue una distribución espacial determinada”* [20].

En el caso de este estudio, la posible filtración de contaminante va desde la parte superficial del volumen de suelo hacia abajo; es decir, la parte supuestamente más contaminada es la más cercana a la solera. Si se sigue esta recomendación, primero se debería tomar muestras más profundas y posteriormente las de la parte más superficial. La problemática existente es que, para tomar la muestra más profunda, la sonda pasa primero por el suelo más contaminado, ya que éste está en la zona más superficial. Esta situación entra en conflicto con la siguiente recomendación, ya que implicaría que la muestra más profunda se puede contaminar con la muestra superficial: la sonda puede arrastrar restos de tierra mientras se va introduciendo en la tierra más profunda.

- B. *“Debe evitarse mezclar muestras en campo. De ser necesaria su mezcla, debe realizarse en el laboratorio”* [20].

Es más importante que no se contaminen las muestras que seguir una secuencia determinada de toma de muestras. Por ello, al entrar en conflicto con la primera recomendación, es preferible obviar la recomendación sobre el orden de toma de muestras y seguir la recomendación B.

- C. *“Se debe tomar muestras de todos los niveles o estratos que, durante el muestreo, se observen muy diferenciados (...) [y] de todas aquellas capas que muestren indicios organolépticos (color, olor) de contaminación”* [20].

En este caso de estudio, se puede aplicar esta recomendación en la toma de muestras. Antes de empezar el muestreo se pueden observar estas diferencias en la capa más

superficial del suelo, como parte de la Investigación exploratoria. Conforme vayan sucediendo los sondeos, se recomienda observar el terreno para aplicar esta recomendación, como se ha comentado en *Puntos de toma de muestras*.

D. *“El tiempo de contacto entre el suelo y los equipos de muestreo debe ser el menor posible”* [20].

En el caso de los sondeos mecánicos, la utilización de las sondas requiere un tiempo mínimo para poder tomar la muestra con precisión. Este tiempo dependerá del equipo utilizado y la profundidad a la que se quiera llegar, definidos previamente en el apartado *Técnica de muestreo*.

E. *“Es recomendable eliminar de la muestra la parte de suelo que haya estado en contacto con el equipo muestreador”* [20].

Esta recomendación va ligada además a la importancia de la limpieza previa de todos los equipos, donde se incluye el *muestreador* (aparato que recoge la muestra). De esta manera, se evita toda posible contaminación de la muestra con otras sustancias que no se quieren analizar, ya que falsearía los resultados de los análisis en el laboratorio.

F. *“Cuando se tome una muestra inmediatamente por debajo de un nivel claramente contaminado, debe colocarse un tubo de revestimiento de la perforación justo por debajo de esta capa, a fin de evitar que la contaminación progrese en profundidad”* [20].

La sexta recomendación es aplicable a contaminación de aguas subterráneas, por ejemplo, cuando existe una capa contaminante de menor densidad y se quiere muestrear el agua por debajo de ésta. En el caso de contaminación de suelos, es más complicado el uso de un protector de la sonda, ya que estas sondas trituran el terreno, por lo que es más probable que se queden restos en las juntas mecanizadas.

G. *La perforación y toma de muestras de la fase sólida del suelo es una de las operaciones más peligrosas de las investigaciones de suelos contaminados, por lo que las medidas contempladas en el plan de seguridad a este respecto deben ser seguidas estrictamente”* [20].

La seguridad es un asunto que no debe perderse de vista en ninguna fase del proyecto. Como se ha mencionado anteriormente, existen algunos tipos de equipos de perforación que presentan un alto riesgo para las personas, por lo que la empresa que decida seguir el Protocolo deberá conformar un Plan de Seguridad que considere y analice el modelo de los equipos a utilizar, la profundidad, las condiciones del terreno, el tipo de contaminante, etc. En el presente TFG no se recoge dicho estudio ya que no se ha podido analizar en detalle el emplazamiento propuesto para el proyecto de análisis e impermeabilización, por lo que la empresa deberá realizar este informe si decide seguir las recomendaciones del presente Protocolo de muestreo.

EXTRACCIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras se extraen gracias a los equipos elegidos en la fase de *Técnica de muestreo*, por lo que dependiendo de qué técnica se utilice, éstas tendrán una conformación u otra. En los sondeos, normalmente se extraen las muestras en forma de testigos o detritos.

Los testigos son cilindros alargados de trozos sin alterar del suelo, es decir, tienen la misma composición y conformación del suelo muestreado: rocas intermedias, zonas de diferentes densidades, residuos contenidos en el interior, etc. Normalmente, al ser extraída de manera mecánica, el grado de alteración de la muestra es bajo o medio (dependiendo del tipo de sonda).

Los detritos son trozos mucho menores que los testigos: suelen ser pequeños o muy pequeños. Al tener menor volumen, el grado de alteración de la muestra es mucho mayor que en los testigos, ya que estos trozos se mezclan entre sí con más facilidad, poniendo en contacto zonas que de forma natural están separadas, por lo que puede haber contaminación de unas muestras a otras. A los detritos también se les llama "*cuttings*" o ripios.

Mientras se realizan los sondeos, el suelo extraído se debe depositar en una lámina de plástico; se recomienda que sea polietileno de baja densidad [20]. También se recomienda que la lámina esté cerca de la perforación para agilizar el proceso. Se debe tener la precaución de que el suelo extraído no se introduzca accidentalmente en la perforación realizada, ya que podría contaminar las muestras. Conforme se llega a la profundidad deseada, se realiza la extracción de la muestra de la sonda. La manipulación de la muestra debe ser la mínima posible y, como se ha mencionado en las recomendaciones anteriores, se debe desechar la zona de la muestra que ha estado en contacto con la sonda. En el siguiente apartado *Manejo de muestras* se entra en detalle sobre la manipulación de éstas y su envasado.

Si al finalizar el sondeo aparece contaminación, la perforación realizada debe ser rellenada con bentonita granular hasta llegar a la superficie. Si no se detecta contaminación, la perforación podrá rellenarse con el material extraído. Si la solera está hormigonada o asfaltada, el relleno se debe tapar con cemento para nivelar el suelo. De esta manera, se intenta volver al estado inicial –o lo más parecido posible– del punto de toma de muestras para realizar la actividad industrial.

Cuando sea necesario, se deberá dejar una señalización en el punto de toma de muestras. Esto puede interesar cuando sea un punto crítico de contaminación. Esta señal puede ser una estaca de madera con un identificador, donde se incluya información pertinente a las características de ese sondeo. Además, debe incluirse esta ubicación en los *lay-outs* y planos de la nave en cuestión. Otras veces, en vez de introducir una estaca en el suelo, es más cómodo realizar un levantamiento topográfico del terreno en el punto de toma de muestras. Esto dependerá del tipo de proceso productivo que se realice.

TOMA DE MUESTRAS EN LA NAVE DE VIRUTAS

Como se ha concluido en los apartados anteriores, se propone la realización de 10 sondeos mecánicos de 3 m de profundidad, son sondas de diámetro entre 101-116 mm. La elección en este apartado es el número de muestras que se debe tomar. Como no se tiene una idea clara sobre la distribución espacial en el suelo de estudio, se propone la toma de 3 muestras cada 1 m de profundidad. Se eligen 3 para observar si existe alguna desviación en los resultados y poder obtener más fiabilidad sobre la contaminación en ese punto al contrastarlos. La elección de realizar el muestreo cada 1 m de profundidad se justifica para realizar un análisis espacial de todo el volumen de suelo de la Nave de Virutas. De esta manera, se realizará una investigación del subsuelo muy detallada, que podrá servir de referencia en cualquier cuestión pertinente al suelo que aparezca en el futuro.

En este caso de estudio, no es necesario señalar el punto de toma de muestras, ya que el diseño para la futura solera incluye una arqueta de control, que se describirá en el apartado *Propuesta de impermeabilización*. Por ello, no es necesario señalarlos *in-situ*, además de que esta señalización podría interponerse en la realización de la actividad industrial al entorpecer el paso de operarios o vehículos industriales.

Como recordatorio, se indica que todas las acciones y elecciones durante el muestreo deben quedar registradas con la fecha, técnico responsable, códigos, etc.

4.5. MANEJO DE MUESTRAS

El manejo o manipulación de las muestras es un aspecto esencial a tener en cuenta en cualquier protocolo de muestreo. El manejo de muestras se define como todas las acciones que deben realizarse desde la extracción física de la muestra –mediante los sondeos- hasta su llegada al laboratorio de análisis químico. La elección de un buen método de transporte, así como las precauciones a tener en cuenta, marcan la diferencia de un análisis óptimo o fallido, ya que el control sobre el manejo de las muestras equivale a la reducción de la probabilidad de contaminación de éstas.

4.5.1. TIPO DE MUESTRA

Primeramente es necesario hacer la distinción y definir con más detalle el tipo de muestras que pueden tomarse. Como se ha mencionado en apartados anteriores, la técnica utilizada en la toma de muestras puede generar la extracción de muestras “inalteradas” o “alteradas”.

- Una muestra inalterada es aquella que cuenta con la misma distribución que el suelo muestreado; si el suelo cuenta con diferentes materiales, diferentes densidades o con cuerpos ajenos en su interior, la muestra los recoge de la misma

forma. Por ejemplo, los testigos son muestras inalteradas del terreno. Para el análisis en el laboratorio, se aísla la parte que interese. Las muestras inalteradas también se pueden obtener mediante muestreadores cilíndricos, que se clavan en el suelo, obteniendo una muestra similar a un testigo, pero de menor tamaño. La naturaleza de esta muestra se ha referido en los apartados anteriores como “grado de alteración de la muestra bajo”.

- Una muestra alterada es aquella donde diferentes zonas del suelo se han mezclado en la misma muestra, generando una contaminación de una parte a otra del terreno. Esto ocurre al utilizar sondas helicoidales donde se obtienen muestras en forma de detritos, por ejemplo. También puede darse el caso de que se busque una alta alteración de la muestra: cuando se realizan sondeos en suelos agrícolas para determinar la concentración media de cierta sustancia, por ejemplo. En estos casos, no se considera que se “está contaminando la muestra”, sino que se obtiene una muestra formada por todas las muestras, para obtener una media aproximada. Cuando se hace referencia a este tipo de muestras, se considera que el “grado de alteración” es alto. Esto se ha analizado cuando se utilizan retroexcavadoras durante la realización de calicatas, por ejemplo.

Tras la extracción del equipo de sondeo, la muestra debe ser extraída cuidadosamente de la sonda. La muestra debe ser manipulada lo menos posible: se deben utilizar unos guantes nuevos y limpios para cada muestra. Como se ha mencionado anteriormente, se deben desechar las partes de la muestra que han estado en contacto con la sonda o muestreador utilizando una espátula o paleta de material inerte. También se utiliza este instrumento para trasvasar la muestra desde la sonda al envase que servirá para el transporte al laboratorio.

4.5.2. ENVASADO DE LA MUESTRA

La correcta manipulación de las muestras se basa en tres procesos básicos: la elección del envase adecuado, la precaución de no generar pérdidas de los analitos al cambiar la muestra de recipiente y la preservación de la muestra en perfectas condiciones hasta su llegada al laboratorio homologado.

Primeramente, se debe introducir la muestra en un envase adecuado a sus características. Dependiendo del tipo de compuesto a analizar, el material del envase varía. Normalmente, se utilizan envases de boca ancha de vidrio o plástico para las muestras sólidas, también se usan bolsas de polietileno u otro polímero plástico [21]. A continuación, se exponen los materiales más utilizados en envases de muestras de suelo:

- Bolsas de papel: para metales y compuestos inorgánicos
- Bolsas de plástico: para metales y compuestos inorgánicos
- Frascos de plástico: para metales y otros (sin incluir compuestos orgánicos)

- Frascos de vidrio con tapón de plástico: para metales, compuestos orgánicos y otros
- Cajas metálicas con tapa plástica: para compuestos orgánicos y otros (sin incluir metales)
- Cajas de metal con capa plástica interna: metales, otros (sin incluir compuestos orgánicos)
- Cajas de plástico: para metales y otros (sin incluir compuestos orgánicos)
- Viales de vidrio: para compuestos orgánicos
- Camisas o lonas de plástico o de metal recubierto de plástico: para metales

El envase debe ser llenado hasta enrasar la boca, evitando en la medida de lo posible que se quede un gran volumen de aire en el interior del envase; de esta manera, se evita la degradación microbológica aerobia, oxidación de la muestra o volatilización de los compuestos contaminantes. Además, deberá ser cerrado de forma hermética. La única excepción sobre el uso de frascos es por el uso de un cromatógrafo de gases: en este caso, la muestra debe ser introducida en las bolsas plásticas "Rilsan" (definidas en el apartado *Fase de investigación: Investigación exploratoria*). Estas bolsas no deben ser llenadas totalmente, ya que se busca que la muestra sólida emita los gases que se analizarán posteriormente, por lo que hay que dejar espacio para este volumen de gases contaminantes.

Otra forma de envasado es introducir la totalidad del testigo en una *caja portatestigos*, en vez de únicamente la muestra. Esta caja, normalmente de madera, será transportada al laboratorio. En este caso, será en el laboratorio donde se elija la zona a analizar: un trozo o la totalidad de la tierra extraída. Todos los envases deben ser de primer uso, por lo que se deben desechar aquellos que no se sepa si se han utilizado, no se conozca su procedencia o que no estén en buenas condiciones. Además, deben estar protegidos por plásticos en todo momento (durante los sondeos y almacenamiento). Como forma de precaución por posibles roturas, siempre se debe tener mayor número de envases que número total de muestras a tomar.

Como se ha mencionado, todo el equipo debe estar perfectamente limpio antes de la realización del muestreo. Por ello, los envases también deben pasar por un proceso de limpieza muy controlado. Dependiendo del material del envase y del tipo de contaminante que contiene, el método y sustancias para su limpieza varían. A continuación, se describen los procedimientos de limpieza para los contaminantes que suelen ser analizados en los suelos industriales.

- Metales pesados: se suelen envasar en botes de vidrio con tapa de polietileno. La limpieza consiste en un enjuague con ácido nítrico (HNO_3) seguido de otro con agua desionizada.

- Sustancias inorgánicas (sin incluir fluoruros): se suelen envasar en botes de vidrio con tapa de polietileno también, pero sólo necesitan ser enjuagados con agua desionizada.
- Fluoruros: se usan botes de polietileno. Es necesario enjuagarlos con agua desionizada.
- Fenoles sustituidos: se envasan en frascos de vidrio, los cuales se enjuagan con agua destilada y se secan a 120°C.
- PAHs (*polycyclic aromatic hydrocarbons*, hidrocarburos aromáticos policíclicos), PCBs (*polychlorinated biphenyls*, bifenilos policlorados), pesticidas organoclorados, pesticidas organofosforados y pesticidas organonitrogenados: se envasan en vidrios opacos y deben ser enjuagados con hexano.
- Aceites minerales: se suelen envasar en frascos de vidrio y necesitan ser enjuagados con freón (derivado del metano o etano que se utiliza también como agente frigorífico).
- Compuestos orgánicos volátiles: el frasco debe ser de vidrio, con una tapa de teflón. Necesitan ser enjuagados con agua desionizada.

Es recomendable ponerse en contacto con el laboratorio homologado para consultar el tipo de envases que debe utilizarse según el tipo de muestra y contaminante a analizar. También se puede consultar el volumen de muestra necesario para obtener un análisis de alta fiabilidad. De esta manera, se pueden adecuar las muestras previamente para optimizar el proceso de análisis.

4.5.3. ETIQUETADO DEL ENVASE DE LA MUESTRA

Independientemente del tipo de envase elegido, éste debe incluir un correcto etiquetado para su diferenciación. El etiquetado debe indicar empresa, localidad, país, técnico responsable, medio muestreado, fecha y hora del muestreo, localización del punto de toma de muestras (normalmente indicado mediante números), profundidad, número de orden de la muestra (si es la primera o segunda que se toma en ese punto), conservantes utilizados y demás información que la empresa responsable considere determinante, ya que debe incluir todos los parámetros posibles para su posterior identificación. Además, es recomendable incluir una descripción en el etiquetado sobre las características del suelo en cuanto a dureza, humedad, color, olor, grado de alteración, grado de compactación... Las características registradas dependerán del tipo de análisis que vaya a realizarse posteriormente. Las etiquetas han de ser resistentes al agua y ser rellenadas con un rotulador permanente; se recomienda también escribir el código de la muestra en la superficie del envase. Las copias de todos los etiquetados conforman la "Cadena de Custodia".

Como se ha mencionado en el apartado de *Toma de muestras*, el agujero del sondeo debe rellenarse tras acabar de envasar y etiquetar las muestras. Para los detalles sobre el relleno de la perforación, revisar dicho apartado.

4.5.4. TRANSPORTE DE MUESTRAS

El siguiente paso es el transporte de las muestras hasta el laboratorio. Durante este tiempo se debe asegurar la óptima conservación de las muestras. La preservación de las muestras depende del tipo de análisis a realizar, el objetivo de la investigación y del tiempo de transporte entre el emplazamiento y el laboratorio. Normalmente, se decide preservar las muestras de forma específica. Los envases de las muestras se introducen en recipientes de mayor tamaño. Este almacenamiento suele consistir en mantener las muestras congeladas/refrigeradas (en neveras) o en recipientes isotermos, para aislar las muestras de la temperatura exterior y evitar su posible degradación, así como preservarlas de la luz solar. Muchas veces se utilizan aditivos o conservantes para garantizar la estabilidad química hasta que lleguen al laboratorio. De ser necesario, el envasado deberá contar con distinta presión a la atmosférica.

Cuando las muestras tienen una gran concentración de contaminación, la preservación no es esencial. En cambio, si la contaminación encontrada está en algunas trazas aisladas, la preservación tiene un papel fundamental, ya que pequeños cambios en la concentración pueden provocar unos resultados analíticos muy diferentes [21]. Estos recipientes isotermos (o neveras, de ser necesaria la refrigeración) no deben ser llenados totalmente, para evitar roturas por el peso generado debido a la acumulación de los envases de las muestras. También hay que tener en cuenta que, si los envases son de vidrio, podrían chocar entre ellos si tienen demasiada holgura. Por ello, se suele introducir en estos recipientes virutas o bolas de poliuretano, gomaespuma, papel, cartón o algún material que proteja los envases de muestras. Hay que tener en cuenta que los recipientes deben estar bien cerrados para evitar que, durante el traslado de las muestras al laboratorio, se abran. Normalmente se incluyen etiquetas de "FRÁGIL" en la superficie para que las personas que vayan a manejarlo tengan más precaución.

El tipo de vehículo, sus características, así como la hora de recogida, se debe planificar previamente, ya que el tiempo de transporte hasta el laboratorio debe ser el mínimo posible. Así, las propiedades de la muestra permanecerán inalteradas [22]. Dependiendo del tipo de contaminante que se quiera analizar, los tiempos máximos de transporte varían; estos tiempos indican los días que la muestra -perfectamente preservada- mantiene sus características físicas, químicas y biológicas iniciales.

Los tiempos de preservación de los contaminantes que más se suelen analizar en los muestreos de suelo son:

- 1 día para compuestos orgánicos volátiles
- 4 días para hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs), cianuros y aceites minerales

- 10 días para plaguicidas organoclorados, policlorobifenilos (PCBs) e hidrocarburos organohalogenados extraíbles (EOX)

El vehículo debe cumplir la legislación vigente sobre la clasificación, tipo de envase y etiquetado de sustancias peligrosas. Es recomendable que se analice el aire en el interior del transporte ya que un cambio en la composición podría afectar negativamente a las muestras. Para COVs, también se suele introducir una muestra de agua ultrapura que acompañará a las muestras durante su preservación y transporte; de esta manera, cualquier variación que se observe en el agua se deberá considerar en los análisis de las muestras de suelo.

Además, en los recipientes que contienen los envases con las muestras se introduce una copia de la “Cadena de Custodia” en la parte interior. Esta documentación es de vital importancia a nivel legal, ya que indica qué personas han tenido acceso a las muestras (es decir, podrían haberlas manipulado), en qué momento y qué empresas han sido responsables de su manejo. Por ley, este documento debe ser firmado cada vez que las muestras cambien de custodia, ya que únicamente debe tener acceso a éstas personal autorizado. En este caso, las muestras cambiarán dos veces de custodia: una desde la Nave de Virutas al camión transporte y otra del camión transporte al laboratorio. Este documento actúa además como un justificante sobre la correcta y legal realización de los procedimientos durante el manejo de las muestras. Los resultados de los análisis pueden implicar la necesidad de una acción legal y la “Cadena de Custodia” proporciona la información necesaria sobre todos los responsables implicados en el proyecto.

Antes de transportar las muestras al laboratorio se debe comprobar que los equipos necesarios para los análisis, así como el personal técnico, están operativos para la recepción de las muestras.

El laboratorio donde se trasladan las muestras para ser analizadas debe cumplir la Norma de Calidad UNE-EN ISO/IEC 17025:2005 de *Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración* (en inglés “*Conformity assessment. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*”), que debe ser leída junto con UNE-EN ISO/IEC 17025:2005 ERRATUM:2006. “*Esta norma es la versión en español de la Norma Europea EN ISO/IEC 17025 de mayo de 2005, que incluye la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005. (...) En esta Norma, se establecen los requisitos generales para la realización de ensayos o calibraciones, incluido el muestreo. (...) Si los laboratorios de ensayo y calibración cumplen los requisitos de esta Norma Internacional, actuarán bajo un sistema de gestión de la calidad para sus actividades de ensayo y calibración que también cumplirá los principios de la Norma ISO 9001.*” [23]. Esto es debido a que la Norma UNE-EN ISO/IEC 17025 se basa en las Norma 9001, incluyendo varios requisitos técnicos sobre la calibración y ensayos.

MANEJO DE MUESTRAS EN LA NAVE DE VIRUTAS

Como las sustancias contaminantes a analizar son compuestos orgánicos volátiles, es recomendable tomar muestras inalteradas, ya que la manipulación de la muestra puede generar una pérdida de volátiles. Por ello, se confirma que se recomienda extraer testigos de suelo de manera continua; es decir, realizar un levantamiento del registro litológico. Estos testigos se introducirán directamente en una caja portatestigos tras ser extraídos de la sonda, para evitar la manipulación innecesaria. La caja portatestigos debe evitar la exposición a la luz solar de las muestras y estar refrigerada a 4°C (temperatura máxima); por ello, se introducirá en una nevera para conseguir estas condiciones. Para asegurar estas condiciones, en las neveras se introducirán termómetros para saber la temperatura máxima y mínima que se alcanza durante el transporte. Asimismo, se introducirá una muestra de agua ultrapura en cada recipiente (neveras) transportado.

La caja portatestigos (envase de muestras) debe ser etiquetada correctamente con los datos especificados anteriormente. Dentro de la nevera que porta la caja deben depositarse los documentos de la “Cadena de Custodia”, los cuales han de ser firmados cada vez que cambie de emplazamiento y transporte.

El etiquetado, como se ha mencionado, debe seguir un código. Se recomienda utilizar como primer dígito la ubicación del punto de toma de muestras, que como se menciona en el apartado *Punto de toma de muestras*, debe estar registrado en el *lay-out* de la Nave de Virutas. La segunda cifra es recomendable que especifique la profundidad a la que se ha tomado la muestra: “1” si es a 1 m, “2” si es a 2 m y así sucesivamente. Para acabar de clasificar correctamente la muestra, se debe especificar el orden de muestra según orden alfabético: por ejemplo, la primera muestra tomada en el PDM 5 a 2 m de profundidad tendría como código “5-2-A”; la segunda “5-2-B” y así sucesivamente. Esta distinción es para no confundir las muestras, ya que el orden de toma de muestras realmente no aporta información importante. En el caso de estudio, se recomienda realizar 3 tomas de muestras (A, B, C) para poder comparar los resultados y obtener un valor fiable.

Cuando los testigos estén en su envase, se transportarán al laboratorio homologado según la Norma UNE-EN ISO/IEC 17025, donde serán fotografiados y troceados para obtener la zona del testigo que se quiera analizar (“submuestra”); todo bajo el control del laboratorio. Los laboratorios que cumplen esta Norma con los que tiene un convenio la empresa Ford Motor Company son *ALcontrol Laboratories* o *Analytico*.

Este transporte se realizará mediante un camión transporte de sondeos, que consta de una zona adaptada para la correcta sujeción de las cajas de portatestigos, así como con el justificante de cumplimiento de las comprobaciones técnicas.

Es recomendable que las submuestras se tomen mediante un “cilindro de acero inoxidable de extremos abiertos” [21] para introducirlo en el testigo evitando las zonas que hayan sido expuestas al aire. Tras introducir la submuestra se pueden sellar los extremos del cilindro de acero, ser introducida en un frasco de vidrio con tapa de teflón (PTFE) o en viales de vidrio específicamente diseñados para los COVs, que son adaptables

al instrumento de medida (en este caso, a la sonda que genera el testigo); de esta manera, se evita pérdidas debido a la manipulación. También se ha demostrado [21] que, si se introduce la muestra en un volumen de metanol conocido, se reducen las pérdidas de volátiles.

4.6. ANÁLISIS DE MUESTRAS

Como se ha mencionado en el apartado anterior, el laboratorio homologado donde se realizan los análisis de los muestreos debe cumplir la Norma UNE-EN ISO/IEC 17025 del 2005, con un extracto añadido en el 2006. En el presente apartado se amplía la información sobre los posibles contaminantes de un suelo industrial y su clasificación. También se explican los diferentes equipos que existen para realizar un análisis u otro según el tipo de contaminante del suelo.

Como se ha comentado al inicio del Protocolo de muestreo en la *Fase de Investigación: Investigación exploratoria*, se hace uso de ciertos equipos auxiliares que ayudan a determinar la existencia de contaminación. Gracias a los resultados de esos equipos y del informe redactado en esa fase sobre las observaciones del terreno, se realiza el diseño de todo el proceso del análisis químico que debe llevarse a cabo en el laboratorio.

4.6.1. CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

El primer paso en la Fase de investigación ha sido la determinación de los posibles contaminantes que puede haber en el suelo según el uso que ha tenido, el emplazamiento y demás información. Puede ocurrir que la información recopilada sea insuficiente para hacer un primer diseño del análisis químico o que durante esa fase se haya obtenido información suficiente para realizar la estrategia a seguir según las características del suelo y su contaminación. En cada caso, los pasos a seguir son distintos, por lo que se realiza una distinción.

SI LA INFORMACIÓN RECOGIDA ES INSUFICIENTE

El programa de análisis químicos debe ser lo suficientemente amplio para poder tener una alta probabilidad a la hora de detectar cualquier tipo de contaminante. En estos casos, el tipo de análisis está predefinido e incluye el estudio de parámetros globales e individuales: los primeros hacen referencia a saber de la existencia de cierto tipo de sustancias, los segundos determinan exactamente qué sustancia(s) hay en la muestra. Por ejemplo, globalmente se puede detectar la existencia de COVs gracias a un PID e individualmente se puede saber que hay cierta concentración de benceno utilizando un cromatógrafo de gases.

En el caso de los COVs se determina tanto analizando el suelo como el agua subterránea. Una característica que determina si es necesario analizar el agua subterránea o el suelo es el nivel freático: si el nivel freático es muy alto (profundo) se analiza el suelo en vez del

agua subterránea. Asimismo, hay que tener en cuenta que si algún análisis previo concluye que la concentración de cierto contaminante es mayor que la referencia [Anexo I], se debe continuar el análisis en el laboratorio para cuantificar las sustancias individuales.

En los casos de recoger insuficiente información, se deberá hacer análisis para buscar la presencia de las siguientes sustancias [23]:

Tabla 1: Sustancias a determinar cuando no se tiene información previa.

Fuente: *Guía para el Análisis Químico, IHOBE, 1996.*

Profundidad entre 0 – 0,5 m	Profundidad entre 0,5 – 2 m	Agua subterránea
Metales pesados: arsénico, cadmio, cobalto, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc.		
Compuestos organohalogenados extraíbles (EOX)		
Aceite mineral		pH
Contenido en arcilla		Conductividad eléctrica específica
Contenido en materia orgánica		Índice de fenoles
Hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs)	Hidrocarburos aromáticos volátiles e hidrocarburos halogenados volátiles	

Si las sustancias contaminantes son exclusivamente compuestos orgánicos, no es necesario calcular la cantidad de arcilla de las muestras.

SI LA INFORMACIÓN RECOGIDA ES SUFICIENTE

La otra posibilidad que se puede dar en la *Fase de investigación* que repercute en el Análisis de las muestras es que la información de la *Investigación exploratoria y detallada* haya generado una imagen clara del problema presente. En este caso, las conclusiones de los informes aseguran la existencia de contaminación, clasificando el suelo de estudio definitivamente como “suelo sospechoso” [23]. Por ello, los análisis que se realizan en el laboratorio dependen de los resultados de estos informes, así como de las observaciones organolépticas realizadas *in-situ*.

Basar la elección de los análisis químicos en el estudio histórico genera buenos resultados; por el contrario, la utilización de la información sobre las observaciones sensoriales debe tratarse con cautela. Esta información proporciona gran ayuda para optimizar la elección de los puntos de toma de muestras, así como de la naturaleza de los contaminantes, pero tiene ciertos inconvenientes que deben tenerse en cuenta:

- La información es subjetiva
- El olfato se satura rápidamente, dando información errónea
- Las sustancias inhaladas pueden ser un riesgo para la salud
- La matriz del suelo (los diferentes materiales) influyen en el análisis visual

Dependiendo del tipo de sector industrial, se tienen tabulados los contaminantes más comunes que se vierten al suelo. De acuerdo con la Guía metodológica de Análisis Químicos de IHOBE (1996), los contaminantes más comunes son los indicados en la Figura 26.

Sector industrial	Tipos de actividad industrial	Contaminantes más probables
Química	Fabricación de ácidos/bases Fabricación de tintes Fabricación de fertilizantes y pesticidas Fabricación de productos farmacéuticos Fabricación de pintura Tratamiento de la madera	Ácidos; bases; metales; disolventes (e.g. tolueno, benceno); fenoles, compuestos orgánicos específicos
Petroquímica	Refinerías de petróleo Patios de tanques Depósitos de almacenamiento de combustibles Destilerías de alquitrán	Hidrocarburos; fenoles; ácidos; bases y asbestos
Producción y transformación de metales	Primera producción de hierro Fabricación de acero Fundiciones Anodizado y galvanizado Construcción y desguace de barcos Chatarrerías	Metales; especialmente Fe, Cu, Ni, Cr, Zn, Cd y Pb; asbestos
Transporte	Garajes, fábricas de vehículos y talleres de mantenimiento Cocheras del ferrocarril	Combustibles; hidrocarburos; asbestos
Energía	Fábricas de gas Estaciones eléctricas	Combustibles (ej. carbón y polvo de coque); fenoles; cianuros; compuestos de azufre; asbestos
Extracción de minerales	Minas	Metales (e.g. Cu, Zn, Pb); gases (ej. metano); lixiviados
Otros	Puertos, muelles y embarcaderos Curtidurías Fábricas de caucho	Metales; compuestos orgánicos; metano; sustancias tóxicas, inflamables o explosivas

Figura 26: Contaminantes según el sector industrial.
Fuente: Guía metodológica de Análisis Químicos de IHOBE (1996)

Se debe destacar que esta información es totalmente orientativa, ya que puede darse un caso específico de contaminación por otro tipo de sustancia.

Dependiendo del tipo de contaminante que se quiera analizar, se deberá realizar un diseño del protocolo de análisis diferente. A pesar de ello, las muestras de suelo deben ser tratadas previamente a los análisis químicos, paso que se explica a continuación.

4.6.2. ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRAS

De acuerdo con la Norma ISO 11464, los pretratamientos a los que deben someterse las muestras antes de los análisis físico-químicos se basan en los procesos de secado, trituración, molienda y tamizado.

El secado puede realizarse al aire o en estufa (temperatura máxima de 40°C). En ambos casos, la muestra debe extenderse en una capa de 15 mm de espesor sobre un

portamuestras que no absorba humedad ni que contamine la muestra. El tiempo de secado en estufa depende de la cantidad de humedad de la muestra, que cambia según el tipo de suelo [24]:

- Arenoso → 24 horas
- Arcilloso → 48 horas
- Con materia orgánica fresca (raíces, etc.) → de 72 a 96 horas

La trituración se basa en separar piedras y materiales extraños de la muestra y posteriormente triturar todo el material mediante un molino, mortero, martillo de madera u otro triturador.

La molienda se utiliza para reducir al máximo el tamaño de partículas de las muestras. No se aplica para calcular algunos de los parámetros físico-químicos, porque puede afectar al resultado.

El tamizado se realiza a 2 mm mediante rejilla, de forma manual o con un agitador mecánico. Las trazas mayores de 2 mm se volverán a triturar y se tamizarán posteriormente.

4.6.3. TIPOS Y MÉTODOS DE ANÁLISIS QUÍMICO EN LABORATORIO

Tras el acondicionamiento de la muestra, se debe realizar el análisis químico para obtener la concentración de los diferentes contaminantes. La primera distinción de los métodos de análisis es entre parámetros de amplio espectro o compuestos específicos. Como se ha mencionado anteriormente, en el primer caso se obtiene información de parámetros globales; es decir, el tipo de “familia de contaminante” (por ejemplo, COVs). Estos análisis se realizan en la *Fase de investigación*, para acotar las zonas contaminadas y poder optimizar los sondeos, por lo que no generan unos resultados fáciles de valorar debido a que es una aproximación de la contaminación existente. En el segundo caso, las muestras son llevadas a un laboratorio donde se determina con exactitud la concentración de cada compuesto perteneciente a la familia de contaminantes. Este tipo de análisis son los que determinan los resultados finales del Protocolo de muestreo.

Para el análisis de gases (directos o provenientes de una muestra sólida o líquida) se pueden utilizar equipos que los analicen directamente o pueden ser absorbidos por otros sólidos o líquidos inertes mediante torres de absorción. Este último método puede introducir variaciones de los resultados ya que normalmente la recuperación de los componentes en las torres es incompleta.

Para el análisis de muestras sólidas de suelo existe una gran variedad de normativas para aplicar. Cada una de ellas está especificada para un tipo de sustancia o de parámetro a medir. Éstas se enumeran en el Anexo IV.

Muchas de las normativas mencionadas hacen uso de los equipos descritos en la *Fase de investigación*, así como de otros equipos necesarios. Por ejemplo, hay varias normativas referentes a COVs (Anexo IV), donde se utiliza el detector de fotoionización y el cromatógrafo de gases:

- EPA 5030 para COVs, purga y trampa.
- EPA 8021A para la determinación de compuestos halogenados volátiles por cromatografía de gases con detectores de fotoionización y conductividad electrolítica en serie: técnica de columna capilar.
- EPA 8260A para la determinación de compuestos orgánicos volátiles por cromatografía de gases/espectrometría de masas (GC/MS): técnica de columna capilar.

Si fuese necesario analizar otros compuestos no indicados en el Anexo IV, se recomienda recurrir a la normativa ISO si es posible. Si no existiese normativa específica, se puede recurrir a otros estándares y protocolos, mientras éstos hayan sido validados.

En el presente Protocolo de muestreo se ha descrito con detalle el funcionamiento del detector de fotoionización ya que es de gran ayuda en el análisis previo del suelo, por lo que a continuación se explica el cromatógrafo de gases.

CROMATÓGRAFO DE GASES (GC)

Como se menciona durante la explicación del PID, un cromatógrafo de gases puede utilizarse de forma individual o conjunta con otro equipo, como los PID o FID. Su funcionamiento se basa en la separación de los compuestos de una mezcla de gases. Para ello, emplea una “fase móvil”: un gas inerte (helio o nitrógeno) que porta la muestra a través de una columna. En esta columna se encuentra la “fase estacionaria”, que puede estar formada por un líquido no volátil o por un sólido absorbente. La separación de los compuestos se realiza gracias a la interacción de cada sustancia con la fase estacionaria, ya que cada una reacciona de una manera distinta, por lo que tarda un tiempo muy determinado en salir de la columna. A este tiempo se le llama “tiempo de retención”, por lo que sirve de parámetro distintivo para diferenciar los diferentes compuestos. Por ello, para la utilización de este método es necesario tener o crear un gran rango de patrones conocidos; es decir, el analito debe ser similar a su representación bibliográfica.

La calibración de un GC es muy importante: deberá realizarse con 4-bromofluorobenceno cuando se quieran analizar COVs y con dodecafluorotriphenilfosfina cuando se busquen compuestos orgánicos semivolátiles. La pendiente (m) de la curva de calibrado debe determinarse según la ecuación:

$$LDM = K \cdot \frac{S_B}{m}$$

donde,

- Para $K = 3$, LDM es el límite de detección del método

- Para $K = 10$, LDM es el límite de cuantificación del método
- SB es la limitación estándar del nivel medio de ruido

Para realizar una correcta calibración, los analitos presentes en el “background” deben eliminarse. Éstos son los iones remanentes que permanecen en el equipo tras la realización de los análisis. Es importante eliminarlos ya que generan distorsiones espectrales que pueden falsear los resultados obtenidos de los análisis [23].

Cuando se finalice en análisis, se debe redactar un “informe cuantitativo de los cromatogramas”. Éste debe incluir los siguientes datos:

- Tiempo de retención del analito
- Cantidad inyectada
- Área y/o altura de cada pico
- Cantidad de analito inyectada
- Día y hora de la inyección

El objetivo de conocer este equipo es la posibilidad de utilizarlo conjuntamente con un PID. De esta manera, se abarca un gran rango de sustancias que pueden ser especificadas y reconocidas, generando una gran ventaja a los análisis cuando no se tiene un objetivo claro de búsqueda: cuando la información recogida es insuficiente, al unir ambos equipos se optimiza el tiempo en descubrir qué contaminantes están contenidos en las muestras de suelo.

Los inconvenientes del GC es que tiene un coste elevado, no es portátil y necesita de personal experto en su utilización.

Los ensayos realizados utilizando un GC se denominan “ensayos *HeadSpace*” y la técnica, cuando combina su uso con un PID o FID, es llamada por algunos autores “*Static HeadSpace Analysis (HAS)*” [25].

ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE LA NAVE DE VIRUTAS

En el caso de estudio del presente TFG, la información recogida en la *Fase de investigación no es suficiente*, por lo que se propone la realización de un análisis químico completo. Además, se busca trasladar las muestras al laboratorio para poder realizar un análisis químico de compuestos específicos, ya que en la *Fase de investigación* se ha hecho un análisis del que se deduce que, de existir contaminación, deben ser COVs debido a la proximidad a la Planta de Motores. Cuando las muestras tomadas lleguen al laboratorio, se realizarán ensayos con el detector por fotoionización conectado a un cromatógrafo de gases; de esta manera, se podrán especificar los diferentes compuestos contenidos en las muestras. A este método se le denomina *Static HeadSpace Analysis (HAS)* y –como se ha mencionado- consiste en realizar una valoración cualitativa de los COVs.

Como no se tiene toda la información deseada, en el laboratorio también se realizarán análisis para otro tipo de contaminantes. Entre estos se propone el análisis de:

- Materia seca y bifenilos policlorados (PCB) según los análisis especificados en la Decisión 2003/33/CE sobre residuos para vertederos
- Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) gracias a indicaciones de la norma NEN 5731
- Hidrocarburos de cadenas desde 10 a 40 carbonos, con la utilización de GC
- Halógenos procedentes de compuestos organohalogenados (EOX) no volátiles extraíbles en acetona y éter de petróleo, según la norma NEN 5735
- Análisis de As, Ba, Cd, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Zn, cloruro, fluoruro, sulfato, índice fenol y COD, según la norma UNE-EN 12457-1

4.7. INFORME TÉCNICO

Tras la realización de todos los análisis químicos (incluyendo los análisis de los blancos ambientales del emplazamiento, de los transportes y de los recipientes que guardan los envases con las muestras), el/la responsable de laboratorio debe redactar un informe firmado, que incluya los siguientes ítems:

- Descripción de las tareas realizadas y sus resultados
- Descripción del estado ambiental de la zona (focos y causas de la afección)
- Delineación y cuantificación del alcance de la afección para poder determinar el volumen de tierras a excavar durante la fase de desmantelamiento (demolición y excavación) y el destino final de gestión de las mismas
- Plan de Actuaciones sobre el destino final de gestión de las tierras extraídas

Este informe será enviado de vuelta a la empresa que demanda el análisis químico, con lo que ésta debe tomar la decisión sobre el plan de actuación dependiendo de los resultados descritos en el informe técnico.

4.8. ELIMINACIÓN DE TIERRAS CONTAMINADAS

Cuando se obtienen los datos de los resultados de los análisis químicos, la empresa tiene constancia de si hay contaminación y qué distribución tiene. Por ello, de existir contaminación, se debe realizar una imagen en 3D del volumen de suelo, donde se determinará la zona contaminada. Para especificar el volumen final contaminado, se debe ir haciendo muestreos de tierra cada 20 cm de profundidad en la misma localización elegida para los PDM, tomando 2 muestras en cada punto y llevándolas al laboratorio. Se sigue el mismo procedimiento que las muestras tomadas durante el Análisis de muestras. Cuando se encuentren muestras libres de contaminación en un mismo plano, se considerará que el suelo ya no está contaminado.

Previamente a la impermeabilización de la solera para prevenir la contaminación, el volumen de tierra contaminado debe ser saneado mediante alguna de las técnicas de remediación o saneamiento mencionadas en el apartado 2.3.2 *Técnicas de saneamiento* o debe ser eliminado del emplazamiento y gestionado como residuo. En el caso de estudio del presente TFG, si existiese contaminación por taladrina, la tierra contaminada se debería gestionar como residuo peligroso.

Tras eliminar el volumen de tierra contaminado o tras haber saneado ese volumen, se debe realizar un sondeo de la tierra remanente, supuestamente limpia. De esta manera, se puede asegurar que no existe contaminación; es decir, que el volumen extraído es la totalidad de la tierra contaminada o, en el caso de aplicar una técnica de remediación, que el volumen extraído ya está totalmente saneado

En el caso de estudio del presente TFG, como se ha propuesto la realización de 10 sondeos en la *Toma de muestras*, para los sondeos de tierra remanente se proponen 8, siguiendo la misma metodología descrita en el apartado citado.

4.9. DIAGRAMA DE FLUJO: PASOS DEL PROTOCOLO DE MUESTREO

A continuación, se expone un resumen de los pasos a seguir en el protocolo de muestreo diseñado en forma de diagrama de flujo.

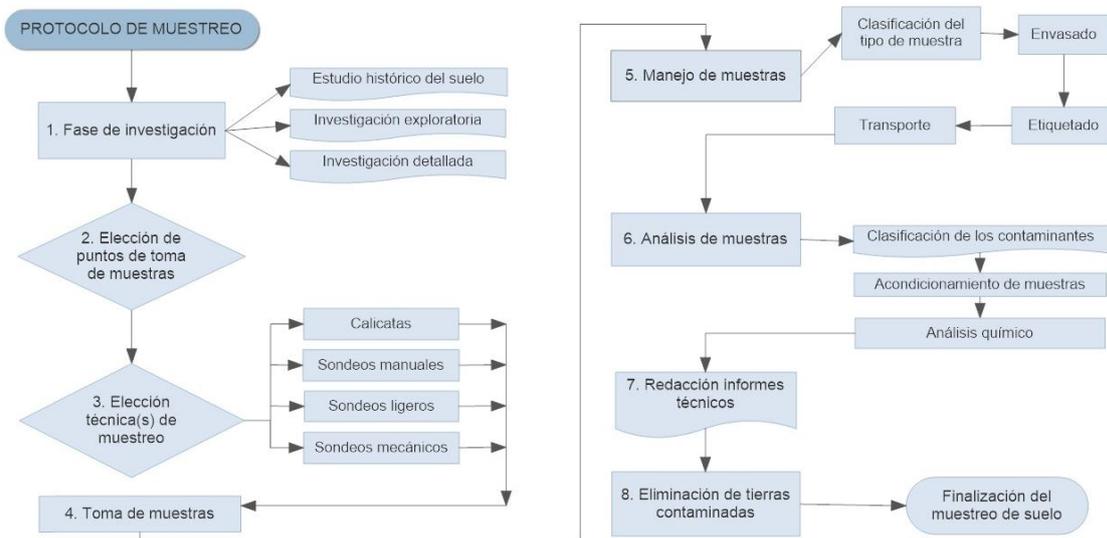


Figura 27: Diagrama de flujo “Pasos del protocolo de muestreo”. Ampliación en Anexo VII.
Fuente: Elaboración propia.

5. PROPUESTA DE IMPERMEABILIZACIÓN

Con toda la información descrita en los apartados anteriores, se observa que la prevención de la contaminación es un requisito imprescindible en cualquier actividad industrial. En el presente apartado se realiza el estudio de una propuesta de impermeabilización del suelo de la futura nave de manejo de telas filtrantes, virutas y lodos de la Planta de Motores de la factoría automovilística Ford en Almussafes. La función de esta nave está descrita en el apartado 3. *Localización del estudio*.

5.1. NECESIDAD DE IMPERMEABILIZAR

De acuerdo con la legislación estatal vigente, se observa la necesidad de impermeabilizar los suelos industriales si en ellos se realiza una actividad potencialmente contaminante, como lo es el almacenamiento y escurrido de las telas, virutas y lodos provenientes de la filtración de las taladrinas utilizadas en los procesos de mecanizado de piezas.

De acuerdo con 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 se confirma que, como se ha mencionado, el almacenamiento de telas, virutas y lodos es una actividad potencialmente contaminante.

Además, según se indica en el **Real Decreto 379/2001**, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias, las zonas de almacenamiento de sustancias combustibles –como lo es el aceite escurrido en la Nave de Viruta- deben estar totalmente impermeabilizadas. Además, se indica la necesidad del uso de cubetos y las características que deben cumplir.

También cabe destacar que en la **Ley 22/2011**, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados se deja libertad a las Comunidades Autónomas sobre la manera de tomar muestras, tipo de análisis (ya que dependerá de qué tipo de contaminantes puedan haberse vertido) y la impermeabilización necesaria para prevenir la contaminación del suelo: únicamente se especifica la necesidad de impermeabilizar el suelo, pero no se indica de qué manera concreta.

Sobre la gestión de los residuos generados al finalizar la actividad industrial - esto es, tras acabar de escurrirse, los residuos generados son: taladrina escurrida, telas, virutas y lodos- se debe considerar la aplicación de las indicaciones del **Real Decreto 679/2006**, de 2 de junio, por el que se regula la gestión de los aceites industriales usados y de la **ORDEN MAM/304/2002**, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. De acuerdo con esta Orden, si existe

posibilidad de valorizar los residuos, es de obligado cumplimiento hacerlo. Por ello, éstos deben ser llevados a una planta de valorización energética.

El acondicionamiento de la Nave, mediante la demolición de la solera para crear una nueva impermeable, genera otro tipo de residuos, por lo que se deberá aplicar las indicaciones del **Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición**. Estas indicaciones se aplicarán puntualmente en esta fase del acondicionamiento de la Nave, no durante el desarrollo de su actividad industrial.

En el caso de que los resultados de los análisis llevados a cabo en el laboratorio (en la fase de aplicación del Protocolo de muestreo) den positivo en PCBs (bifenilos policlorados), siguiendo los análisis especificados en la **Decisión 2003/33/CE sobre residuos para vertederos**, se debe tener en cuenta el **Real Decreto 1378/1999, de 27 de agosto, por el que se establecen medidas para la eliminación y gestión de los policlorobifenilos, policloroterfenilos y aparatos que los contengan** para la gestión de las tierras contaminadas.

En ningún caso se permitiría la *“disposición de residuos sobre suelos no pavimentados, debiendo depositarse en todo momento en contenedores o recipientes adecuados a cada tipología de residuo”* [26]. Para las taladrinas escurridas, por ejemplo, este tipo de contenedores son los cubetos de contención, como se indica en el citado **Real Decreto 379/2001**. Éstos se describirán con detalle en el apartado *Área de telas*. En la prevención de la contaminación de suelo se debe considerar también la posibilidad de que ocurran vertidos o derrames accidentales: éstos serán recogidos mediante unas canalizaciones y dirigidos a diferentes pocetas, de las cuales serán llevados a una Planta de valorización energética, de acuerdo con la **ORDEN MAM/304/2002**.

Además, en la Autorización Ambiental Integrada (Nº 100/AAI/CV) para Ford España S.L, en la resolución aprobada el 19 de junio de 2015 para una factoría de fabricación de vehículos a motor ubicada en el polígono industrial de Almussafes (ANEXO II), se indica lo siguiente:

“El almacenamiento temporal de residuos peligrosos se realizará segregado por tipo de residuo, debiendo estar convenientemente señalizado. Deberá realizarse en lugar techado, disponiendo de suelo impermeable, así como de sistemas de contención y recogida de derrames accidentales. Para el almacenamiento de residuos de naturaleza líquida, o que sean susceptibles de generar vertidos, se contará con cubetos o recipientes de contención o recogida de derrames accidentales apropiados (...)”

Por esta razón, se debe crear un proyecto de una nueva nave que incluya todas las modificaciones sustanciales de la nueva resolución de la AAI y poder optimizar el proceso de escurrido gracias al traslado de las telas, lodos y virutas a este nuevo emplazamiento. De esta manera, se almacenan durante más tiempo en un lugar con más espacio, lo que

abarata la contrata con la empresa gestora de residuos, ya que la frecuencia de recogida será menor.

5.2. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

A continuación, se expone la propuesta para el proyecto sobre la impermeabilización del suelo de la *Nave de manejo de telas, lodos y virutas* de la Planta de Motores (VEP) de la factoría Ford de Almussafes. Este proyecto tiene como finalidad el acondicionamiento de la Nave para una nueva actividad industrial: el almacenamiento y escurrido de telas, lodos y virutas.

Como se explica en el apartado *2.3 Contexto práctico: saneamiento y prevención*, es necesario asegurarse de que el suelo está saneado o no contaminado antes de realizar un proyecto de prevención de futura contaminación. Por ello, en la primera fase del acondicionamiento se incluye la aplicación del protocolo descrito en el apartado *4. Protocolo de muestreo*: ya que en la última etapa del protocolo se asegura un correcto saneamiento. La aplicación del Protocolo de muestreo descrito debe asegurar el cumplimiento de la legislación vigente.

El proyecto de impermeabilización se divide en diferentes trabajos acotados y definidos por las áreas de la Nave, explicadas en el apartado *3. Localización del estudio*. Cuando la Planta de Motores lleve a cabo el proyecto, los proveedores deberán presentar sus ofertas siguiendo el mismo esquema que se describe a continuación. De esta manera, se agilizará la comparación de las ofertas y la persona responsable del proyecto tomará una decisión más rápidamente.

El apartado primero y más importante es el acondicionamiento del suelo; es decir, la creación de la solera impermeable en sí misma. El resto de apartados de la propuesta describen la creación de las diferentes áreas dentro de la nave (telas, lodos y virutas) y sus canalizaciones, cubetos, pocetas y demás elementos necesarios para su acondicionamiento. Por último, se incluyen otras áreas que no son necesarias para el desarrollo de la actividad industrial, pero mejoran la comodidad de los trabajadores, así como la utilidad de la Nave.

Durante el presente apartado (*5.2. Descripción de la propuesta*) se explica con detalle los apartados que lo conforman, mencionados anteriormente: acondicionamiento del suelo, área de telas, área de virutas, área de lodos y mejoras. Además, se incluye un último subapartado con la distribución en planta final, así como una breve explicación de cada elemento representado.

5.2.1. ACONDICIONAMIENTO DEL SUELO

Previamente a la realización de las obras para impermeabilizar el suelo, se debe asegurar que el suelo no está contaminado. Como se ha comentado en la introducción del presente apartado, el técnico especializado en contaminación de suelos deberá aplicar el Protocolo de muestreo descrito en el apartado 4 del presente TFG en la *Nave de manejo de telas, lodos y virutas*. Si tras los primeros análisis de la Fase de investigación del Protocolo de muestreo no aparece contaminación, no es necesario continuar con el Protocolo y se empezarán las obras. Pero si aparece contaminación, se deberá aplicar la totalidad del Protocolo de muestreo hasta asegurar que el suelo está saneado (etapa correspondiente a la última fase del Protocolo de muestreo).

ELIMINACIÓN DE MUROS:

Primeramente, se deben eliminar los muros de protección (o barreras) de los laterales Este y Oeste de la Nave, descritos en el apartado 3. *Localización del estudio*.

DEMOLICIÓN Y EXCAVACIÓN DE LA SOLERA:

A continuación, se debe realizar la demolición de la solera existente. De existir contaminación, este paso equivale al último punto del Protocolo de muestreo, donde se eliminan los centímetros de suelo contaminados. Como no se ha podido obtener los resultados reales de la aplicación del Protocolo de muestreo ni de ningún análisis similar, para el estudio del presente TFG se considerará una profundidad de demolición de 1 m. En el caso real de aplicación, esta profundidad deberá corresponder a la profundidad donde se haya encontrado contaminación. Para la demolición se utiliza una retroexcavadora, un peón con martillo mecánico y un oficial de primera, ambos de albañilería.

Como se ha mencionado, es necesario que un técnico especialista en suelos esté presente durante el proyecto. Éste determinará la necesidad de ampliar la profundidad de excavación *in-situ*, mientras se vaya sucediendo la extracción de los sondeos. De acuerdo con los estándares de Ford Motor Company, el técnico especialista debe estar validado por el Departamento de Medioambiente de VEP y por la *Environmental Quality Office* (EQO) de Ford Europa.

TRANSPORTE A VERTEDERO:

El volumen de tierras extraídas debe ser trasladado al vertedero. Si no se ha obtenido contaminación, el vertedero de destino debe ser de residuos inertes [27]; si aparece contaminación por aceites, el vertedero debe ser de residuos peligrosos. En este último caso, los escombros de la demolición de los muros se enviarán a un vertedero de residuos inertes igualmente. En ambos casos, se utiliza un camión para el transporte.

FOSO CIEGO LATERAL SUR:

El lateral Sur de la Nave es el acceso a la misma, da a una carretera interna de la factoría además de ser el límite del techado de la Nave (*canopy*). Por esta razón, se propone la creación de un foso ciego de frente abierto a lo largo de todo el acceso como forma de seguridad en caso de derrame o vertido accidental. La nueva solera debe contar con diferentes pendientes en cada zona, para dirigir los derrames a los canales; por ello, se proyecta la creación de una pendiente hacia este foso para prevenir que los aceites derramados en la Nave salgan hacia la carretera y puedan provocar contaminación del suelo (al ser una zona no impermeabilizada) o un accidente.

Se propone que el foso sea ciego para facilitar el control de cualquier derrame de forma visual. Para cumplir su función de control, debe estar siempre vacío: si ocurre un derrame o llueve, se debe vaciar el foso mediante una bomba. Para su creación se debe excavar un volumen de 1 m x 1 m x 15 m y nivelar el fondo. Posteriormente se realizará el hormigonado del suelo y paredes. El hormigonado debe estar impermeabilizado para evitar la filtración de los posibles derrames recogidos en el foso a la tierra de alrededor. Además, se debe incluir una rejilla en la parte superior del foso para evitar caídas, ya que será un área de paso, tanto de operarios como de vehículos industriales (véase Figura 28).

CANALES DE CONTROL Y ARQUETA DE REGISTRO:

Se propone la creación de dos canales en los laterales Este y Oeste para el control de la impermeabilización; de esta manera, en caso de existir fuga de algún fluido hacia el suelo, se podrá chequear. Para ello, se instalará en ambos canales una tubería de material permeable (llamado “tubo dren”) de 200 mm aproximadamente. Cada tubería estará dirigida hacia una arqueta de registro, donde se observará la presencia del fluido cuando ocurra una filtración. Para que se pueda observar, dos de las capas impermeabilizantes (HL-15 y Plástico PVC, explicado a continuación) deben tener cierta pendiente hacia los canales donde se encuentran las tuberías dren (Figuras 28 y 29).



Figura 28: *Lay-out* de la Nave de Virutas, donde se indica el foso ciego en rojo y los canales de control con sus arquetas de registro en verde.

Fuente: Departamento de Ingeniería de Planta de VEP, Ford Spain S.I.

RELLENO DE ZAHORRA:

Para crear una solera totalmente impermeable es necesario el relleno de diferentes materiales en un orden determinado, creando estratos que eviten la infiltración. Estas capas impermeables pueden rellenarse directamente sobre el suelo si éste no presenta contaminación. En el presente TFG, se toma como supuesto que hay contaminación, para explicar cómo se deben distribuir los materiales. Por ello, el primer relleno es equivalente a la tierra saneada, por lo que podría rellenarse también con ésta. Por su precio, se decide realizar este relleno con zahorra artificial de alta calidad de granulometría de 25 mm (ZA-25). Esta capa debe ser de unos 20-30 cm de espesor, excepto en las zonas donde vayan a estar los canales de control, donde será menor.

RELLENO DE HORMIGÓN DE LIMPIEZA:

La segunda capa tiene como objetivo nivelar el terreno y generar una base más rígida, por lo que se debe usar hormigón de limpieza (HL-150/C/TM). Esta capa protegerá el suelo, pero no asegura la total impermeabilidad, ya que no es su función. Este tipo de hormigón tiene una densidad de 150 kg/m³, por lo que es el ideal para un uso no estructural [28]. Esta capa debe ser de unos 10 cm de espesor, excepto en las zonas donde vayan a estar los canales de control, donde será menor.

ADICIÓN DE LÁMINA DE PVC:

Se incluye en toda la solera una capa de policloruro de vinilo (PVC) de mínimo 2 mm de espesor, que evitará la filtración de cualquier tipo de fluido hacia el hormigón de limpieza. Se podría utilizar otro plástico, pero el PVC tiene unas propiedades tales que lo sitúan como mejor opción: alta resistencia, alta rigidez, alta dureza mecánica, impermeabilidad a gases y líquidos, mínima absorción de agua y resistente a la acción de hongos, bacterias, roedores e insectos [29].

CANALES PERIMETRALES DE CONTROL:

Los canales excavados para introducir la tubería *dren* deberán incluir, encima de las capas descritas, una base para apoyar y rellenar los alrededores de la tubería. Se recomienda utilizar grava común. Las especificaciones de la tubería se describen en el párrafo *Canales de control*.

RELLENO DE HORMIGÓN POLÍMERO:

La capa de mayor impermeabilización la proporciona el hormigón polímero con carga de polímero del 30% (HA-30), ya que sustituye el ligante de cemento del hormigón convencional por un ligante totalmente polimérico con propiedades impermeabilizantes. Un 30% de polímero asegura las propiedades impermeabilizantes (*Gamski, 1976; Bares, 1972 y Czarnecki, 1984*), por lo que no es necesario uno de mayor carga de polímero, ya que cuanto más carga se encarece el precio. El espesor necesario es 20 cm sobre el PVC o sobre la grava en la parte de los canales de control. De esta manera, si el hormigón polímero tiene alguna falla, se detectará en las arquetas de registro.

CAPA DE PINTURA IMPERMEABLE:

Para crear la capa impermeabilizante superficial, se propone la creación de una capa fina mediante resinas epoxi. Primero se aplica una imprimación de epoxi en el hormigón polímero y, tras su secado, dos capas de epoxi impermeabilizante, ya que es resistente a aceites y taladrinas. También se realiza un sellado de todas las juntas de la solera utilizando este producto.

A continuación se muestra un esquema de las capas descritas (véase Figura 28).

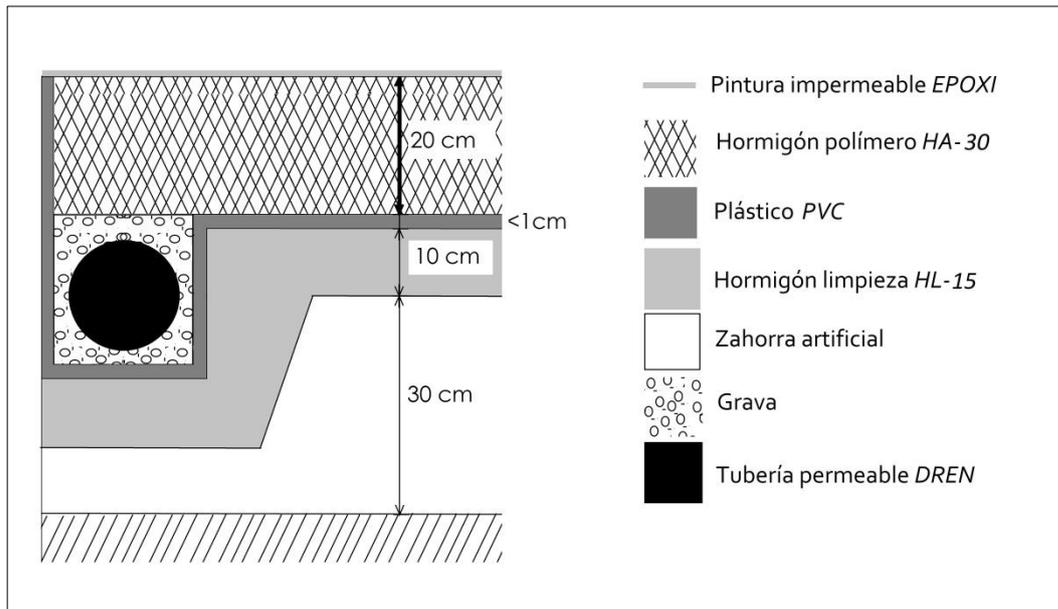


Figura 29: Vista transversal de la futura solera impermeable y de los canales de control.
Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. ÁREA DE TELAS

Como se menciona brevemente en el apartado 3. *Localización del estudio*, las telas filtrantes resultantes de los sistemas de taladrina son rollos de 1,5 m aproximadamente, empapados de taladrina y lodos, que deben ser acumulados en jaulas para su escurrido. Estas jaulas deben poder aguantar el peso de las telas y permitir su máxima aireación. La VEP utiliza actualmente 10 jaulas de hierro, de dimensiones 2,5 m x 1,5 m y una altura de 1,5 m, cada una. Cuando está totalmente llena de telas, cada jaula pesa alrededor de 1,5 toneladas. Para optimizar el espacio, se colocarán en columnas de dos jaulas.

De acuerdo con el **Real Decreto 379/2001**, de 6 de abril, por el que se aprueba el *Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias*, estas jaulas deben reposar sobre unos cubetos de contención, ya que cumplen la función de almacén; además, si la taladrina escurrida se recoge en cubetos en vez de dejarla caer en la solera impermeabilizada, hay menos probabilidad de contaminar el suelo por debajo de ella [26].

Para este tipo de utilización, los cubetos deben llevar registros para vaciado de líquido (nunca un desagüe con válvula) e ir pintados con pintura resistente a taladrinas y aceites. Por esta razón, se propone el modelo "Techn. Zeichnung CW" de BAUER SÜDLOHN, ya que cumple las características.



Figura 30: Cubeto de contención con apertura para succión en esquina.

Fuente: Catálogo BAUER SÜDLOHN.

El área de escurrido de telas debe tener una canaleta perimetral superficial por si hubiese un vertido accidental. Esta canaleta rodeará los cubetos donde descansan las jaulas y debe abocar su contenido a una poceta de aguas aceitosas. A esta poceta se la denomina *Poceta A* en el presente TFG. Ésta debe contar con doble piel para prevenir filtrados al suelo; es decir, se instalará un revestimiento de acero en el hueco impermeabilizado para la poceta y se colocará un segundo revestimiento interno, apoyado con unos tacos de acero para que mantenga una distancia de aproximadamente 2 cm con el revestimiento primero. De esta manera, si existiese alguna filtración por el revestimiento interno, se observaría agua aceitosa o taladrina en el hueco entre ambos revestimientos, por lo que se extraería el dañado para arreglarlo o cambiarlo sin que el aceite pase al suelo. La poceta debe contar con una bomba para el envío de la taladrina a su tratamiento y una válvula antirretorno para que su contenido no vuelva a las canaletas.

5.2.3. ÁREA DE LODOS

Los lodos que se extraen de los sistemas de taladrina se almacenan en dos contenedores, ya que, si se almacenan en otro tipo de recipiente, el movimiento de los lodos a un camión transporte sería mucho más costoso en tiempo y rentabilidad, por ser los residuos de mayor peso y con mayor dificultad de manejo. De esta manera, se colocan dos contenedores inclinados hacia una bandeja de acero colocada sobre la solera impermeable. Esta bandeja dirige la taladrina escurrida desde los contenedores a una canaleta impermeabilizada que se dirige a la *Poceta B*. Esta poceta tendrá las mismas características que la poceta A. Los contenedores deben estar dirigidos hacia el lateral Sur de la Nave, ya que es el acceso más cómodo para el movimiento de camiones y contenedores. Para mayor comodidad y duración de la solera impermeable, en los laterales y en el centro de la bandeja de acero se deben instalar unas guías para el soporte de cada contenedor. De esta manera, estarán siempre en la misma posición (por lo que la

taladrina caerá en la bandeja) y no desgastarán la pintura epoxi de la solera. Estas guías pueden ser de acero también.

5.2.1. ÁREA DE VIRUTAS

Las virutas se almacenan en tolvas de hierro, recubiertas de pintura impermeabilizante y resistente a aceites. Las tolvas tienen unas dimensiones de 1,5 m x 1,5 m cada una, cuentan con la parte superior descubierta para el secado de las virutas, así como con un orificio inferior para el escurrido de la taladrina. En la parte inferior de las tolvas debe haber un canal de recogida de fluidos que esté conectado con una canaleta interna para el traslado de la taladrina escurrida hacia una poceta. El canal de recogida debe tener doble piel y un sistema de registro para detección de filtraciones o fugas de la primera piel.

La VEP cuenta con 12 tolvas, por lo que se propone crear dos filas y dividir la carga de desagüe entre las dos pocetas mencionadas: de la tolva 1 a la 6, escurrirán taladrina en la poceta A y de la tolva 7 a la 12 en la poceta B. Como se ha mencionado, la canaleta del área de telar debe comunicar con el canal de las tolvas 1-6 y la canaleta de la bandeja de escurrido del área de lodos debe comunicar con la poceta B. Para más detalle, véase la Figura 30. Además, al estar divididas en dos filas, se facilitan los accesos para la brigada contra incendios en caso de necesidad.

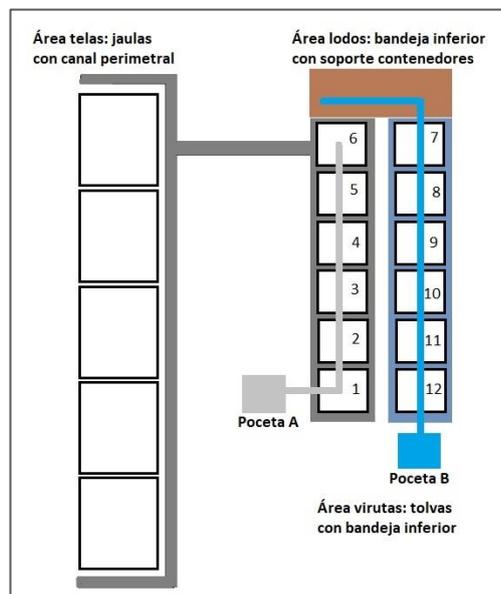


Figura 31: Esquema de la distribución de jaulas y tolvas, así como las canalizaciones y pocetas de áreas de telas, lodos y virutas. Dimensiones aproximadas.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. MEJORAS

En el presente proyecto se propone una serie de mejoras para la Nave que garantizarán mayor comodidad en los puestos de trabajo que se desarrollan en ella, como son un aseo

para empleados y una fuente de agua potable. Esta decisión se basa en la aplicación de la Orden de 9 de marzo del 1971 por la que se aprueba la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el trabajo, donde se especifica la necesidad de abastecimiento de agua potable (*Artículo 39. Abastecimiento de agua*), así como de la presencia de retretes (*Artículo 40. Retretes*). También se propone la instalación de un lavadero para piezas en uno de los laterales.

Para el aseo es necesaria la construcción de una caseta de hormigón, con sistema de ventilación y con espacio para una pila y un váter. En la citada orden, se indica que “se instalarán con separación por sexos cuando se empleen más de diez trabajadores” [30], por lo que en el caso de estudio no será necesario hacer separación, ya que al mismo tiempo hay alrededor de 4 ó 5 trabajadores. Los suelos y paredes serán continuos, lisos, pintados con pintura impermeable y enlucidos en tonos claros. Se debe facilitar la limpieza con desinfectantes o antisépticos [30]. Además, es necesaria una acometida eléctrica cercana para instalar una bombilla en el techo, así como una toma de agua caliente sanitaria. La ubicación del aseo dependerá de la proximidad de las tomas mencionadas. La fuente se recomienda instalarla cercana al aseo, donde se encuentre una toma de agua caliente sanitaria (agua potable).

El lavadero de piezas debe tener en la parte inferior un cubeto de doble piel con registro de fugas en la primera piel y con una rejilla (o *tramex*) pisable, para controlar visualmente si se acumula agua. El cubeto debe tener un desagüe hacia una poceta de aguas residuales. Se debe tener en cuenta que el lavadero necesita un polipasto móvil para elevar las piezas, por lo que requiere una acometida eléctrica cercana. Debe contar con muros propios de protección, así como una manguera de agua industrial. Se recomienda indicar mediante un cartel que, tras la limpieza de la pieza, se deben limpiar los muros del lavadero para mantener su higiene. Además, se debe instalar una verja con candado para tener un registro de quién hace uso del lavadero y así asegurar una mayor higiene y uso responsable. La mejor ubicación para el lavadero es en la esquina Noroeste, donde finaliza la fila de jaulas. Se puede poner el acceso al lavadero desde la parte exterior de la Nave para evitar el paso de las piezas entre las áreas de escurrido.

5.2.3. LAY-OUT FINAL

La presente propuesta de impermeabilización se ha conformado mediante la contrastación de la información recogida de los proveedores habituales de Ford España así como con los informes de Ingeniería de Medio Ambiente y de Ingeniería Civil del Departamento de Ingeniería de Planta de *Valencia Engine Plant* de Ford Almussafes. Es una primera propuesta para un futuro proyecto de VEP, por lo que se ha pedido la distribución en planta o *lay-out* de los elementos básicos al *Ingeniero de Lay-out* del citado departamento. A continuación, se muestra un extracto de dicho *lay-out* (véase Figura 31), donde se indican las áreas mencionadas.

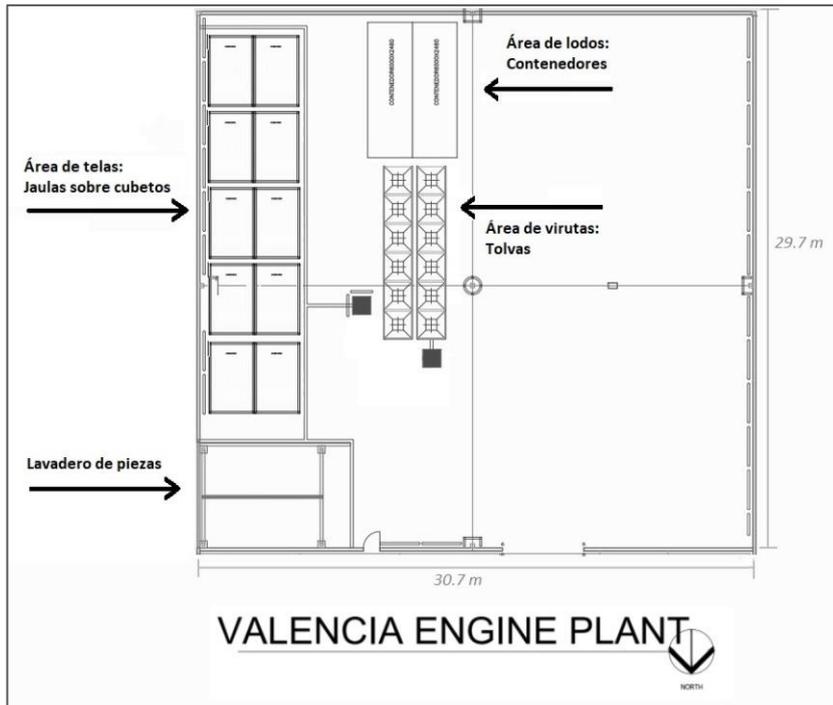


Figura 32: Extracto modificado del *lay-out* futuro cedido por VEP.
Fuente: Departamento de Ingeniería de Planta, VEP, Ford España S.L (2017)

Como se puede observar en la Figura 31, la futura actividad industrial no va a necesitar la totalidad de la superficie de la Nave, por lo que una mitad se quedará como espacio disponible para una ampliación de la misma actividad industrial o para otras actividades.

Sobre la distribución de los cubetos, en el Anexo I del Real Decreto 379/2001 se indica que no deben colocarse en más de dos filas, para dejar acceso a la brigada contra incendios. Por ello, se decide distribuir los cubetos en una única fila y las tolvas en dos. De esta manera, el acceso contra incendios es el pasillo central entre tolvas y jaulas, la parte vacía de la Nave y desde el exterior de la Nave, ya que la única fachada es un muro de 2 m de altura, dejando mucho espacio libre hasta el *canopy* o techado.

5.3. PROGRAMA DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO

Todos los equipos e instalaciones comienzan a fallar en algún momento. Por ello, se debe tener un *Programa de inspección y mantenimiento* que ayude a mantener al día la información sobre el estado de estos elementos. De esta manera, se puede controlar, ralentizar o evitar su deterioro. Como se ha explicado en la descripción de la propuesta de impermeabilización, ésta se ha diseñado considerando necesaria una inspección frecuente de los sistemas de recogida y control. Por ello, se debe incluir en la rutina de trabajos del equipo de mantenimiento preventivo de VEP.

Los ítems de control y mantenimiento son los siguientes:

- Arqueta de registro: observar visualmente si aparece algún tipo de fluido, que no tiene porqué ser necesariamente taladrina. Si aparece algún fluido, es indicativo de que hay una falla en las capas impermeabilizantes de la solera, por lo que se debe abrir un proyecto para su búsqueda.
- Lavadero, Poceta A y B: observar mediante un tornillo de registro la presencia de algún fluido ente la doble piel de las pocetas.
- Cubetos y tolvas: inspeccionar las juntas de los mismos para asegurar la estanqueidad.
- Jaulas: inspeccionar el estado de los soportes, barreras y demás barras que conformen las jaulas para asegurar su estabilidad.
- Apertura de registro para succión de los cubetos de contención de las jaulas: se deberá succionar la taladrina escurrida que ha quedado retenida en el interior del cubeto.

Para llevar a cabo este control, se propone la utilización de unas fichas a rellenar por el técnico responsable del mismo. Esta ficha se muestra en la Tabla 2, donde el estado el estado de los equipos e instalaciones se cataloga como: 1: Perfecto; 2: Mejorable; 3: Mediocre; 4: Malo

Tabla 2: Programa de inspección y mantenimiento. Fuente: *Elaboración propia.*

PROGRAMA DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO NAVE DE MANEJO DE TELAS FILTRANTES, LODOS Y VIRUTAS					
Fecha:					
Turno:	Estado				Comentarios
Jefe equipo:	1	2	3	4	
Arqueta de registro Este					
Arqueta de registro Oeste					
Doble piel lavadero					
Doble piel poceta A					
Doble piel poceta B					
Jaulas					
Juntas cubetos					
Juntas tolvas 1-6					
Juntas tolvas 7-12					
Succión cubeto 1					
Succión cubeto 2					
Succión cubeto 3					
Succión cubeto 4					
Succión cubeto 5					
Comentarios generales:					

5.4. PROTOCOLO DE ACTUACIÓN EN CASO DE DERRAME

Es necesaria la existencia de un protocolo de actuación que especifique los pasos a seguir para la recogida y la gestión de las sustancias derramadas. El equipo responsable de la aplicación del *Protocolo de actuación en caso de derrame* es el equipo de mantenimiento preventivo que aplica el *Programa de inspección y mantenimiento* de forma rutinaria. Pueden ocurrir dos tipos de situaciones que deban ser controladas: lluvias que impidan realizar la función de control y derrames de taladrinas o aguas aceitosas en algún punto de la solera. Los derrames se deben caracterizar de la forma más rápida para determinar su importancia; es decir, dependiendo del volumen derramado y ubicación, se deben realizar unos pasos u otros.

Durante las actuaciones en caso de derrame, se debe tener en cuenta la utilización de los siguientes equipos de protección individual.

- Botas de seguridad
- Mono de trabajo
- Guantes

En todos los casos, cualquier trabajador que observe unos de los casos descritos (agua de lluvia o cualquier tipo de derrame), debe avisar al equipo de mantenimiento preventivo. A continuación, se exponen las acciones a realizar en cada caso mencionado.

LLUVIAS

Cuando ocurra una jornada de lluvias, el equipo de mantenimiento preventivo debe observar si el foso ciego del lateral Norte se ha llenado de agua. En caso positivo, se debe proceder al achique de ésta mediante una bomba.

DERRAMES

- A. Delimitar el fluido gracias a un cordón/absorbente tubular o arena absorbente.
- B. Observar la importancia del derrame:
 - Importancia baja: menos de 1 litro de fluido derramado
 - Importancia alta: más de 1 litro de fluido derramado
- C. Observar la ubicación del derrame:
 - A menos de 1 m de una canaleta, canal, foso o poceta (recordatorio: la solera tiene diferentes pendientes para dirigir los fluidos hacia los desagües)
 - A más de 1 m de una canaleta, canal, foso o poceta
- D. Aplicar el protocolo de actuación (*uno de los cuatro puntos siguientes*):
 - Derrame de importancia baja a menos de 1 m:
 - a) Recoger con fregona, dirigiendo el derrame hacia el desagüe más cercano.
 - b) Verter el agua resultante en el mismo canal.
 - Derrame de importancia alta a menos de 1 m:
 - a) Dirigir el derrame mediante agua a presión hacia el desagüe más cercano.
 - Derrame de importancia baja a más de 1 m:

- a) Verter polímero absorbente de tipo solidificador y encapsulador sobre todo el derrame.
- b) Recoger el sólido con ayuda de una pala.
- c) Verter el sólido en una funda para recolectar desechos de derrames.
- Derrame de importancia alta a más de 1 m:
 - a) Cubrir el derrame con rollos de tela absorbente, indicados para derrames superiores a 1 m².
 - b) Recoger el rollo absorbente en contenedor, indicado en caso de derrames extensos.
- E. Recoger el absorbente tubular o arena.
- F. Asegurar la correcta eliminación del derrame.
- G. Gestionar, si hay, los residuos generados como residuos peligrosos.
- H. Comenzar el plan de arreglo de la fuga.

6. CONCLUSIONES

Tras la descripción de las formas de prevención y saneamiento, la creación del protocolo de muestreo a seguir para determinar la existencia de contaminación y la propuesta del proyecto de prevención de futura contaminación mediante la impermeabilización de la solera, se recogen las siguientes conclusiones del presente TFG.

CONTAMINACIÓN DE SUELO

- La contaminación del suelo no es tan visible como otro tipo de emisiones, pero sus consecuencias son igual de perjudiciales ya que afecta directamente a la salud humana, así como a la supervivencia de otras especies, mediante la contaminación de cultivos y aguas subterráneas.
- Durante la búsqueda de información se ha observado una gran falta de estandarización de protocolos de prevención, saneamiento y de actuación en caso de accidentes, por lo que se observa la necesidad de su creación, desde el ámbito administrativo, a nivel estatal, así como autonómico. Cabe destacar además la gran generalización sobre la contaminación del suelo desde el punto de vista legislativo, dejando a interpretación libre aspectos como la prevención de la contaminación. De esta manera, se obliga a recurrir a normas nacionales e internacionales, que no son de obligado cumplimiento.
- Por todo ello, la concienciación sobre la contaminación de suelo no debe estar tan poco divulgada ni estudiada.

PROTOCOLO DE MUESTREO Y PROYECTO DE IMPERMEABILIZACIÓN

- Durante la creación del protocolo de muestreo se ha observado infinidad de posibilidades a la hora de realizar los pasos para la determinación de la contaminación. En el presente TFG se ha realizado una propuesta que reúne los pasos considerados por la autora como esenciales; es decir, considerados los mínimos y aceptando cualquier modificación del protocolo mientras sólo sea añadir más pasos. Como se menciona con la contaminación de suelos, no existe ningún estándar en la legislación española, por lo que deja a las industrias libertad para realizar los análisis mínimos, considerados insuficientes por la autora de este TFG.
- En la aplicación del protocolo de muestreo y en el proyecto de impermeabilización es necesaria la participación de un técnico de contaminación de suelos. Esta formación se ofrece en la educación española como formación muy específica, por lo que no se considera funcional que los profesionales de ingeniería química, que tienen competencias y atribuciones sobre medio ambiente, no obtengan estos conocimientos con sus estudios de Grado, reduciendo su formación sobre medio ambiente a tratamiento de aguas residuales, contaminación atmosférica y vertederos controlados.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Juan Luis Omeñaca. (2015). La historia de Ford en España: de Cádiz a Almussafes. 21/03/17, de Valencia News. Sitio web: <http://valencianews.es/motor/la-historia-de-ford-en-espana-de-cadiz-a-almussafes/>
- [2] Groover, M.P. (1997). Fundamentos de Manufactura Moderna, Materiales, Procesos y Sistemas. México: Prentice Hall Hispanoamérica, S.A.
- [3] Higuera, P. (2003). Minería y suelo (II). La contaminación del suelo. Hidropres, 46.
- [4] Redacción Oxfam Intermón. (2017). Cinco causas de la contaminación de la Tierra. 25/06/2017, de Blog Oxfam Intermón. Sitio web: <http://blog.oxfamintermon.org/cinco-causas-de-la-contaminacion-de-la-tierra/>
- [5] Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- [6] Consejería de Medio Ambiente (1998). Manuales de minimización de residuos peligrosos. Actividades que generan taladrinas agotadas. Castilla y León: Junta Castilla y León.
- [7] Guía Técnica de Identificación de Medidas Preventivas contra la Contaminación de Suelo. IHOBE, S.A. Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco, 2009.
- [8] Ortiz Bernad, Irene. Sanz García, Juana. Dorado Valiño, Miriam. Villar Fernández, Susana. (2006). Informe de vigilancia tecnológica: técnicas de recuperación de suelos contaminados. 13/06/2017, de Fundación para el Conocimiento [www.madrimasd.org](http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt6_tecnicas_recuperacion_suelos_contaminados.pdf). Sitio web: https://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt6_tecnicas_recuperacion_suelos_contaminados.pdf
- [9] Guía Técnica de Prevención de la Contaminación del suelo en Instalaciones Industriales. Plan Regional de Actuaciones en materia de suelos contaminados de la Comunidad de Madrid (2006 – 2016). DIRECCIÓN GENERAL DEL MEDIO AMBIENTE. Comunidad de Madrid.
- [10] Higuera, P. (2003). Restauración y remediación: Suelos y aguas subterráneas. Hidropres, 38: 38-48.
- [11] Guía Técnica de Aplicación del Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales expuesto en el Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

- [12] Guía Técnica sobre Señalización de Seguridad y Salud en el Trabajo expuesta en el Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad e higiene en el trabajo.
- [13] Redacción Ambientum. (2003). Taladrinas Agotadas. 21/03/17, de Revista Ambientum Edición “Suelos y Residuos” Sitio web: http://www.ambientum.com/revista/2004_07/TALADRINAS%20imprimir.htm
- [14] Anexo II al Real Decreto 199/2006, de 10 de octubre, sobre alcance y contenido de las investigaciones de la calidad del suelo.
- [15] Clasificación Nacional de Actividades Económica (CNAE) - 93 Rev.1: Clasificación Nacional de Actividades Económicas.
- [16] Anexo I 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.
- [17] Disposición 17776 de la Ley 1/2005, de 4 de febrero, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo.
- [18] Redacción Olympus. (2017). Catálogo. Analizador XRF portátil para los estudios de impacto ambiental.. 04/09/2017, de OLYMPUS Sitio web: <http://www.olympus-ims.com/es/xrf-xrd/delta-handheld/delta-env/>
- [19] Redacción Emgrisa. (2017). Valoración de Riesgos Ambientales. 23/07/17, de Emgrisa. Sitio web: <http://www.emgrisa.es/publicaciones/que-es-una-valoracion-de-riesgos-ambientales/>
- [20] Guía Metodológica para la Toma de Muestras, informe de la Investigación de la contaminación del suelo. IHOBE, S.A. Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco, 1998.
- [21] Guía Metodológica de Análisis Químico, informe de la Investigación de la contaminación del suelo. IHOBE, S.A. Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco, 1998.
- [22] Sabroso González, M.C. Pastor Eixarch, A. (2004). Guía sobre Suelos Contaminados. 22/06/17, de CEPYME Aragón junto con el Gobierno de Aragón. Sitio web: http://www.conectapyme.com/files/medio/guia_suelos_contaminados.pdf
- [23] Norma de Calidad UNE-EN ISO/IEC 17025:2005 de Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración. (*Conformity assessment. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*).

- [24] Norma ISO 11464 de Calidad del suelo. Pretratamiento de muestras de suelo para el análisis fisicoquímico (*Soil quality. Pretreatment of samples for physico-chemical analysis*)
- [25] Kolb, B. Ettre, L.S. (2000). A Technical Guide for Static Headspace Analysis Using GC. 22/07/17, de Restek. Sitio web: <http://www.restek.com/pdfs/59895B.pdf>
- [26] Autorización Ambiental Integrada (2009) de Soportes Metálicos Tubulares S.L, emitida por la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio de la Dirección General de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid, con número de Expediente ACIC - AAI-2.013/03. Unidad Administrativa: Área de Control Integrado de la Contaminación.
- [27] Revisión del Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana (PIRCV) del 2015 de la Conselleria de Infraestructures, Territori i Medi Ambient de la Generalitat Valenciana.
- [28] Rodríguez Val, J. (2011). Estructuras de la Edificación: Hormigón estructural. Alicante: Club Universitario. 258 páginas.
- [29] Industrias JQ. (2017). Datos técnicos PVC. 29/07/17, de Catálogo Industrias JQ. Sitio web: <http://www.jq.com.ar/imagenes/productos/pvc/pvcprop/propiedades.htm>
- [30] Orden de 9 de marzo del 1971 por la que se aprueba la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el trabajo.

Proyecto de acondicionamiento de una nave para el manejo de virutas, telas filtrantes y lodos
provenientes del mecanizado de piezas en una empresa del sector de la automoción

PRESUPUESTO

1. PRESENTACIÓN DEL PRESUPUESTO

El presente TFG describe la realización de diferentes trabajos de aplicabilidad real; por ello, es necesario crear un presupuesto que especifique el coste de todas las actividades descritas. Este presupuesto se considera un caso ejemplo sobre las actividades industriales descritas, en ningún caso es el presupuesto final u oficial de estas actividades.

A continuación, se muestra el Cuadro de precios descompuestos y las Mediciones, dividido en dos capítulos: Protocolo de muestreo y Proyecto de impermeabilización. Los cálculos de los rendimientos están en el Anexo V.

Cuadro de precios descompuestos					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio	Importe
CAPÍTULO 1: PROTOCOLO DE MUESTREO					
UO 01	m	Toma de muestras de suelo: sondeos y gestión de tierras			€/m
01.01	m	Ejecución sondeo con recuperación de testigo continuo, disposición en cajas portatestigos y fotografiado. Incluye retroexcavadora y operarios	1	1.214,75	1.214,75 €
01.02	h	Supervisión técnico especializado en la ejecución de los sondeos, con análisis in-situ, incluye dietas y desplazamiento	0,5	15,7	7,85 €
01.03	dia	Transporte, implantación y retirada de obra del cambi6n de sondeos	0,032	60,9	1,95 €
01.04	m3	Eliminaci6n de residuos peligrosos mediante dep6sito en vertedero	0,7	115,43	80,80 €
01.05	%	Costes directos complementarios	2,00%	1.305,35 €	26,11 €
				Subtotal por m:	1.331,46 €
<i>MIL TRESCIENTOS TEINTA Y UNO CON CUARENTA Y SEIS</i>					
UO 02	ud	Análisis de muestras en laboratorio			€/ud
02.01	ud	Fenoles en suelo	1	470	470,00 €
02.02	ud	Organoclorados en suelos	1	200	200,00 €
02.03	ud	PAHs en suelos	1	250	250,00 €
02.04	ud	Hidrocarburos totales por IR	1	370	370,00 €
02.05	ud	Barrido orgánicos en suelo	1	400	400,00 €
02.06	ud	PCBs en suelo	1	200	200,00 €
02.07	ud	COVs en suelo	1	120	120,00 €
02.08	ud	Hidrocarburos halogenados en suelo	1	470	470,00 €
02.09	%	Costes directos complementarios	2,00%	2.480,00 €	49,60 €
				Subtotal por unidad (muestra):	2.529,60 €
<i>DOS MIL QUINIENTOS VEINTINUEVE CON SESENTA</i>					
UO 03	ud	Informes técnicos			€/ud
03.01	ud	Diseño del Protocolo de muestreo, incluyendo la fase de investigación in-situ y estudio histórico para el emplazamiento. Incluye ingeniero técnico especializado en suelos contaminados	1	457,5	457,50 €
03.02	ud	Redacci6n del informe técnico de resultados del laboratorio, con el Plan de Actuaciones en funci6n de los resultados obtenidos. Incluye dos copias en papel y dos copias en formato digital	1	92	92,00 €
03.03	ud	Gesti6n administrativa de los documentos de control y seguimiento de los residuos gestionados y documentaci6n complementaria necesaria para entrada a vertedero de residuos peligrosos	1	12,27	12,27 €
03.04	%	Costes directos complementarios	2,00%	561,77 €	11,24 €
				Subtotal por m2:	573,01 €
<i>QUINIENTOS SETENTA Y TRES CON CERO UNO</i>					

Proyecto de acondicionamiento de una nave para el manejo de virutas, telas filtrantes y lodos provenientes del mecanizado de piezas en una empresa del sector de la automoción

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio	Importe
CAPÍTULO 2: PROYECTO DE IMPERMEABILIZACIÓN					
UO 01	m2	Acondicionamiento del suelo			€/m2
01.01	m2	Demolición solera hormigón actual mediante medios mecánicos. Incluye peón y martillo hidráulico	1	16,5	16,50 €
01.02	m3	Excavación de tierra mediante medios mecánicos. Incluye peón y retroexcavadora	0,313	4	1,25 €
01.03	t	Relleno 20 cm con zahorra artificial ZA-30	2,2	9,47	20,83 €
01.04	m3	Relleno 10 cm de homrgión de limpieza HL-15	1	66	66,00 €
01.05	m2	Lámina PVC de 2 mm	1	5,2	5,20 €
01.06	m3	Relleno de hormigón polímero HA-30	1	180	180,00 €
01.07	ud	Capa pintura epoxi. Incluye imprimado y dos capas sobre la solera y sellado de juntas e impermeabilización foso ciego	0,091	188,76	17,18 €
01.08	h	Oficial 1ª aplicador de productos impermeabilizantes, durante 3 días a jornada completa	0,0263	17,24	0,45 €
01.09	m3	Excavación y nivelado dos canales de control	0,0027	12,35	0,03 €
01.10	m	Tubo dren de 200 mm. Dos unidades	0,483	31,86	15,39 €
01.11	m3	Grava	0,0011	32,03	0,04 €
01.12	ud	Arquetas de registro	0,0022	63,75	0,14 €
01.13	m3	Excavación y nivelado foso ciego. Incluye tramex	0,0326	15,2	0,50 €
01.14	%	Costes directos complementarios	2,00%	323,51 €	6,47 €
				Subtotal por m2:	329,98 €
<i>TRESCIENTOS VEINTINUEVE CON NOVENTA Y OCHO</i>					
UO 02	ud	Área de telas			€/ud
02.01	m	Excavación canaletas de recogida con rejilla. Incluye peón de albañilería y equipamiento	16	454	7.264,00 €
02.02	ud	Compra de 5 cubetos de contención modelo CW3 de <i>Bauer Südlohn</i> . Incluye traslado e instalación	5	4466,2	22.331,00 €
02.03	%	Costes directos complementarios	2,00%	29.595,00 €	591,90 €
				Subtotal por unidad:	30.186,90 €
<i>TEINTA MIL CIENTO OCHENTA Y SEIS CON NOVENTA</i>					
UO 03	ud	Área de lodos			€/ud
03.01	m	Excavación canaletas de recogida con rejilla. Incluye peón de albañilería, equipamiento y materiales	3	454	1.362,00 €
03.02	ud	Instalación posicionadores para contenedores con patines y topes, incluye peón, material y equipamiento	4	2438,5	9.754,00 €
03.03	ud	Instalación bandeja de acero de 3,5x1,5 m. Incluye peón, material y equipamiento	1	3500	3.500,00 €
03.04	%	Costes directos complementarios	2,00%	14.616,00 €	292,32 €
				Subtotal por unidad:	14.908,32 €
<i>CATORCE MIL NOVECIENTOS OCHO CON TREINTA Y DOS</i>					
UO 04	ud	Área de virutas			€/ud
04.01	m	Excavación canaletas de recogida con rejilla. Incluye peón de albañilería, equipamiento y materiales	20	454	9.080,00 €
04.02	ud	Fabricación de poceta. Incluye peón de albañilería, equipamiento y materiales	2	15167	30.334,00 €
04.03	%	Costes directos complementarios	2,00%	39.414,00 €	788,28 €
				Subtotal por unidad:	40.202,28 €
<i>CUARENTA MIL DOSCIENTOS DOS CON VEINTIOCHO</i>					
UO 05	ud	Lavadero de piezas			€/ud
05.01	m2	Creación de foso de recogida: cubeto de doble piel de acero, con tornillo de registro, tubería de aguas residuales, válvula antirretorno. Incluye la creación de dos muros de 4m de altura. Se incluye la mano de obra, equipos y materiales	6	3286,2	19.717,20 €
05.02	ud	Equipamiento lavadero: incluye acometida de agua industrial, de aire comprimido y eléctrica (protegida contra el agua) de 220 y 380 V. Lavaojos y ducha de emergencia. Alumbrado. Puerta con cierre con candado. Reubicación de polipasto.	1	18632	18.632,00 €
05.03	%	Costes directos complementarios	2,00%	38.349,20 €	766,98 €
				Subtotal por unidad:	39.116,18 €
<i>TEINTA Y NUEVE MIL CIENTO DIECISEIS CON DIECIOCHO</i>					

Continuación Capítulo 2→

Proyecto de acondicionamiento de una nave para el manejo de virutas, telas filtrantes y lodos provenientes del mecanizado de piezas en una empresa del sector de la automoción

UO 06	ud	Aseo y fuente	€/ud		
06.01	ud	Fuente de agua potable, incluye acometida eléctrica, de agua, creación de desagüe. Se incluye mano de obra, materiales y equipamiento	1	4036	4.036,00 €
06.02	ud	Creación de muros enlosados, techo pintado, instalación eléctrica, desagües, acometida de agua caliente sanitaria. Compra e instalación de retrete y pila, con grifería incluida. Con puerta y ventilador en lateral. Incluye materiales, equipos, peon de albañilería, peón de fontanería, instalador eléctrico	1	23000	23.000,00 €
06.03	%	Costes directos complementarios	2,00%	27.036,00 €	540,72 €
Subtotal por unidad:					27.576,72 €
<small>VEINTISIETE MIL QUINIENTOS SETENTA Y SEIS CON SETENTA Y DOS</small>					

A continuación, se muestran las mediciones para cada unidad de obra descrita en el Cuadro de precios descompuestos:

Mediciones							
Código	Descripción unidad de obra	uds	longitud	latitud	altura	Precio	Importe
			m	m	m		
Capítulo 1: Protocolo de muestreo							116.404,81 €
UO 01	Toma de muestras de suelo: sondeos y gestión de tierras	10			3	1331,46	39.943,80 €
UO 02	Análisis de muestras en laboratorio	30				2529,6	75.888,00 €
UO 03	Informes técnicos	1				573,01	573,01 €
Capítulo 2: Proyecto de impermeabilización							452.861,57 €
UO 01	Acondicionamiento del suelo	1	30,7	29,7		329,98	300.871,16 €
UO 02	Área de telas	1				30186,9	30.186,90 €
UO 03	Área de lodos	1				14908,32	14.908,32 €
UO 04	Área de virutas	1				40202,28	40.202,28 €
UO 05	Lavadero	1				39116,18	39.116,18 €
UO 06	Aseo y fuente	1				27576,72	27.576,72 €

CONSULTAS PARA LA REALIZACIÓN DEL PRESUPUESTO:

Tanto los precios como los rendimientos que no están calculados en el Anexo V se han obtenido de la base de datos de *CYPE Ingenieros S.A.*: Generador de precios de la construcción. España. CYPE Ingenieros, S.A., con sitio web: <http://www.generadordeprecios.info/>

También se ha utilizado la base de datos *Preoc*, con sitio web: <http://www.preoc.es/>

Para los salarios se han tomado como referencia los indicados por la *Confederación del Metal*, ya que recoge gran información en las "Tablas salariales de la industria, la tecnología y los servicios del metal de Valencia" con sitio web: <http://www.femeval.es/>

Los precios de los análisis de laboratorio se han obtenido mediante conversación telefónica con el responsable técnico del Laboratorio de Cromatografía del *Museo Nacional de Ciencias Naturales*, uno de los centros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Y para la pintura epoxi se ha tomado como referencia el precio de *Seton*, para la zahorra artificial, la *Cantera Perea*, y para la lámina de PVC, *Yona Impermeabilizaciones S.L.*

Para la información sobre la gestión de tierras, véase Anexo VI. Además, se han efectuado consultas a los proveedores de Ford España: *Moncobra* e *Itercon*.

2. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

La suma del total de ambos capítulos conforma el Presupuesto de Ejecución Material (PEM). Éste sirve de referencia para el cálculo de los Gastos generales y del Beneficio industrial; es decir, éstos son porcentajes del PEM, que sumados junto con el PEM crean el Presupuesto de inversión. Sobre éste último se aplica el *impuesto sobre el valor agregado* (I.V.A.).

Por ello, el Presupuesto total, llamado Presupuesto de Ejecución por Contrata, incluye el Presupuesto de inversión y la cantidad total de impuesto a pagar.

Se considera un 13% de Gastos generales, un 6% de Beneficio industrial y un 21% de I.V.A.

Total de Capítulo 1: Protocolo de muestreo	116.404,81 €
Total de Capítulo 2: Proyecto de impermeabilización	452.861,57 €
Total de Presupuesto de Ejecución Material:	569.266,38 €
Gastos generales:	74.004,63 €
Beneficio industrial:	34.155,98 €
Total de Presupuesto de inversión:	677.426,99 €
I.V.A.:	142.259,67 €
Total de Presupuesto de Ejecución por Contrata:	819.686,66 €

El presupuesto total asciende a **OCHOCIENTOS DIECINUEVE MIL SEISCIENTOS OCHENTA Y SEIS EUROS CON SESENTA Y SEIS CÉNTIMOS.**

Proyecto de acondicionamiento de una nave para el manejo de virutas, telas filtrantes y lodos
provenientes del mecanizado de piezas en una empresa del sector de la automoción

ANEXOS

ANEXO I: Anexo III de la Ley 4/2015, de 25 de junio, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo.



- Actividades que no disponen de instalaciones subterráneas de sustancias peligrosas o de otras sustancias que puedan causar contaminación del suelo o las aguas subterráneas
- Actividades que no cumplen con las condiciones del apartado 3.2 del Real Decreto 9/2005 ⁽¹⁾.

B) Actividades con potencial contaminante medio: aquellas actividades que, ajustándose a las condiciones del apartado 3.2 del Real Decreto 9/2005, cumplen el resto de requisitos establecidos para las actividades con potencial contaminante bajo o, de incumplir el requisito relativo a las instalaciones subterráneas, pueden acreditar el carácter auxiliar de las mismas y que estas han sido objeto de un correcto mantenimiento conforme a la normativa de seguridad industrial, sin detección de incidencia alguna que pudiera suponer una acción contaminante.

C) Actividades con potencial contaminante alto: el resto de actividades e instalaciones potencialmente contaminantes del suelo.

⁽¹⁾ Producir, manejar o almacenar más de 10 toneladas por año de una o varias de las sustancias incluidas en el Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, y almacenar combustible para uso propio según el Real Decreto 1523/1999, de 1 de octubre, por el que se modifica el Reglamento de instalaciones petrolíferas, aprobado por el Real Decreto 2085/1994, de 20 de octubre, y las instrucciones técnicas complementarias MIIP03, aprobada por el Real Decreto 1427/1997, de 15 de septiembre, y MI-IP04, aprobada por el Real Decreto 2201/1995, de 28 de diciembre, con un consumo anual medio superior a 300.000 litros y con un volumen total de almacenamiento igual o superior a 50.000 litros.

ANEXO III A LA LEY 4/2015, DE 25 DE JUNIO

Valores indicativos de evaluación A

Contaminantes (metales)	VIE-A
Arsénico.....	23
Bario.....	80 + 2,5L
Cadmio.....	0,8
Cobalto.....	6 + 0,5L
Cobre.....	10 + 0,5L
Cromo total.....	25 + L
Mercurio.....	0,3
Molibdeno.....	0,6 + 0,018L
Níquel.....	12 + L
Plomo.....	16 + 0,7L + 2,1H
Zinc.....	50 + 2L

H: Contenido en materia orgánica.

L: Contenido en arcilla.

Nota: Los valores se dan en miligramos por Kg (ppm).

Valores indicativos de evaluación B

Para la protección de la salud humana

Contaminantes	Industrial	Parque público (1)	Urbano	Área de juego infantil (2)	Otros usos
Metales pesados:					
Arsénico.....	200	30	30	30	30
Cadmio.....	50	25	8	5	5
Cobre.....	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)

Contaminantes	Industrial	Parque público (1)	Urbano	Área de juego infantil (2)	Otros usos
Cromo(total).....	550	400	200	90	200
Cromo (VI).....	15	10	8	8	8
Mercurio.....	40	15	4	4	4
Molibdeno.....	750	250	75	75	75
Níquel.....	800	500	150	110	110
Plomo.....	1000	450	150	120	120
Zinc.....	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)
Otros compuestos inorgánicos:					
Cianuros.....	25	5	5	5	5
Compuestos orgánicos volátiles:					
Benceno.....	10	5	1	0,2	0,1
Etilbenceno.....	100	20	4	2	2
Tolueno.....	200	40	8	4	3
Xilenos.....	200	40	8	4	4
Fenol.....	25	25	25	2,5	2,5
Hidrocarburos aromáticos policíclicos:					
Antraceno.....	700	500	100	70	45
Benzo(a)pireno.....	2	2	0,2	0,2	0,02
Fluoranteno.....	80	60	50	8	8
Naftaleno.....	10	10	8	3	1
Acenafteno.....	100		60		6
Benzo(a)antraceno.....	20		2		0,2
Fluoreno.....	100		50		5
Pireno.....	100		60		6
Benzo(b)fluoranteno.....	20		2		0,2
Benzo(k)fluoranteno.....	100		20		2
Criseno.....	100		100		20
Dibenzo(a,h)antraceno.....	3		0,3		0,03
Indeno(1,2,3-cd)pireno.....	30		3		0,3
Disolventes clorados:					
1,1-dicloroetano.....	100		70		7
1,1,2,2-Tetracloroetano.....	3		0,3		0,03
1,1,2-Tricloroetano.....	10		1		0,1
1,2-Dicloroetano.....	5		0,5		0,05
1,2-Diclorobenceno.....	100		70		7
1,2-Dicloropropano.....	4		0,5		0,05
1,3-Dicloropropano.....	7		0,7		0,07
2-Clorofenol.....	100		10		1
2,4,5-Triclorofenol.....	100		100		10
2,4,6-Triclorofenol.....	90		9		0,9
2,4-Diclorofenol.....	10		1		0,1
1,2,4-Triclorobenceno.....	90		9		0,9
1,4-Diclorobenceno.....	40		4		0,4
Cloroformo.....	5		3		0,7
Clorobenceno.....	35		10		1
Pentaclorofenol.....	1		0,1		0,01
Tricloroetileno.....	70		7		0,7
1,1-Dicloroetileno.....	1		0,1		0,01
Diclorometano 60.....	60		6		0,6

Contaminantes	Industrial	Parque público (1)	Urbano	Área de juego infantil (2)	Otros usos
Tetracloroetileno.....	10		1		0,1
Tetracloruro de carbono.....	1		0,5		0,05
Hexaclorobenceno.....	1		0,1		0,01
Hexaclorobutadieno.....	10		1		0,1
Hexacloroetano.....	9		0,9		0,09
Pesticidas:					
Aldrin.....	1		0,1		0,01
Clordano.....	1		0,1		0,01
Dieldrin.....	1		0,1		0,01
Endrin.....	1		0,1		0,01
Alfa-HCH.....	1	1	0,1	0,1	0,01
Beta-HCH.....	1	0,1	0,1	0,01	0,01
Gamma-HCH.....	1	0,1	0,1	0,1	0,01
p,p'-DDE.....	60		6		0,6
p,p'-DDT.....	20		2		0,2
p,p'-DDD.....	70		7		0,7
Endosulfan.....	60		6		0,6
Otros:					
Acetona.....	100		10		1
p-Cloroanilina.....	30		3		0,3
Estireno.....	100		100		20
Cloruro de vinilo.....	1		0,1		0,01
Heptacloro epóxido.....	1		0,1		0,01
Cresol.....	100		40		4
PCB.....	0,8	0,8	0,08	0,08	0,01

(1) Para el cálculo de los valores indicativos de evaluación B para uso «parque público» se han considerado las siguientes vías de exposición relevantes: inhalación de partículas de suelo, inhalación de vapores del suelo en el exterior, ingestión de suelo y contacto dérmico con el suelo.

(2) Para el cálculo de los valores indicativos de evaluación B para uso «área de juego infantil» se han considerado las siguientes vías de exposición relevantes: inhalación de partículas de suelo, inhalación de vapores del suelo en el exterior, ingestión de suelo y contacto dérmico con el suelo.

(3) El valor límite derivado es del orden de decenas de g/kg.

Nota: Los valores se dan en miligramos por Kg (ppm).

Valores indicativos de evaluación B para la protección de los ecosistemas

Contaminantes	Organismos del suelo	Organismos acuáticos	Vertebrados terrestres
Compuestos aromáticos:			
Benceno.....	1	0,20	0,11
Etilbenceno.....		0,08	4,6
Tolueno.....	0,3	0,24	13,5
Xileno.....		0,07	
Fenoles (total):			
Fenol.....	0,27	0,03	23,7
Compuestos policíclicos aromáticos:			
Acenafeno.....		0,02	4,85
Antraceno.....		0,01*	22,0
Benzo(a)antraceno.....	3,8	0,01	
Benzo(a)pireno.....	0,15	0,01*	

cve: BOE-A-2015-8272
 Verificable en <http://www.boe.es>

Proyecto de acondicionamiento de una nave para el manejo de virutas, telas filtrantes y lodos provenientes del mecanizado de piezas en una empresa del sector de la automoción

Contaminantes	Organismos del suelo	Organismos acuáticos	Vertebrados terrestres
Benzo(ghi)perileno.....			
Benzo(k)fluoranteno.....			
Criseno.....			
Fenantreno.....			
Fluoranteno.....	1	0,03	1,96
Fluoreno.....	0,22	0,02	2,84
Indeno(1,2,3-cd)pireno.....			
Naftaleno.....	0,1	0,05	0,06
Pireno.....		0,01*	1,20
Hidrocarburos clorados:			
Cloroformo.....		0,01	0,01
Tetracloruro de carbono.....		0,12	
1,1-Dicloroetano.....		0,06	4,18
1,2-Dicloroetano.....		0,16	0,24
1,1,2-Tricloroetano.....		0,16	0,30
1,1,2,2-Tetracloroetano.....		0,02	0,04
Hexacloroetano.....		0,03	0,03
Tricloroetileno.....		0,21	0,45
Tetracloroetileno.....	0,01*	0,06	0,15
1,2-Dicloropropano.....	4,24	0,07	0,43
1,3-Dicloropropeno.....		0,01*	0,58
Hexaclorobutadieno.....		0,01*	
Clorobenceno.....	1	0,03	7,66
1,2-Diclorobenceno.....		0,11	3,15
1,4-Diclorobenceno.....	0,10	0,16	0,53
1,2,4-Triclorobenceno.....	0,05	0,79	0,94
Hexaclorobenceno.....	5,7	0,01	0,01*
2-Clorofenol.....	0,04	0,01*	0,12
2,4-Diclorofenol.....	0,2	0,06	0,02
2,4,5-Triclorofenol.....	0,05	0,09	3,3
2,4,6-Triclorofenol.....	0,4	0,012	0,03
Pentaclorofenoles (total).....	0,02	0,01*	0,01*
Pesticidas:			
Aldrin.....	0,01*	0,01	0,01*
Carbofurano.....			
Clordano.....	0,04	0,01*	0,01*
Dieldrin.....	0,13	0,01*	0,01*
Endosulfan.....	0,01	0,01*	0,04
Endrin.....		0,01*	0,01*
a-HCH.....		0,25	0,05
b-HCH.....		0,38	0,01*
c-HCH.....	0,01*	0,01*	0,23
p,p'-DDE.....	0,14	0,01*	0,01*
p,p'-DDT.....		0,01	0,01*
Otros compuestos clorados:			
PCBs.....			
Dioxinas.....			
Otros compuestos orgánicos:			
Aceite mineral.....			
Acetona.....		0,54	6,71

cve: BOC-A-2015-8272
 Verificable en <http://www.boe.es>

Contaminantes	Organismos del suelo	Organismos acuáticos	Vertebrados terrestres
p-cloroanilina.....	0,14	0,01*	0,09
1,4-Dioxano.....	1,45	13,9	
Estireno.....	0,68	0,25	100 (**)
Nonilfenol.....	0,34	0,031	0,78
Pentabromo difenil éter.....	0,32	5,18	0,01*
Octabromo difenil éter.....		0,51	0,24
Decabromofenil éter.....		2,66	59,7
Compuestos inorgánicos:			
Fluoruros.....	11	0,29	3,7

* Límite inferior de detección.

** En aplicación del criterio de reducción.

Nota: Los valores se dan en miligramos por Kg (ppm).

ANEXO II: Extracto de la modificación sustancial de la autorización No 100/AAI/CV en 2015

AUTORIZACIÓN N° 100/AAI/CV. Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural

RESOLUCIÓN de 9 de septiembre 2015, de la Dirección General de Calidad Ambiental, por la que se da publicidad a las autorizaciones ambientales integradas y sus modificaciones otorgadas por la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural. [2015/7645]

Resolución de la Dirección General de Calidad Ambiental, de 19 de junio de 2015, por la que se modifica sustancialmente la autorización ambiental integrada otorgada a la empresa Ford España, SL, para una industria de fabricación de vehículos a motor, ubicado en el polígono industrial de Almussafes, s/n, Factoría Ford España, 46440, Almussafes (Valencia), con NIMA 4600013888, e inscrita en el Registro de Instalaciones de la Comunitat Valenciana con el número 100/AAI/CV.

una actividad diferente a la actual o cambiara el uso del suelo, y también a lo contenido en el artículo 8 del mismo Real decreto, referido a la publicidad registral.

Los productos químicos (materias primas y/o auxiliares, etc.) que se encuentren en fase líquida, deberán disponer de sistemas que garanticen la recogida de posibles derrames. Los sistemas de contención (cubetos de retención, arquetas de seguridad, etc.) no podrán albergar ningún otro líquido, ni ningún elemento que disminuya su capacidad, de manera que quede disponible su capacidad total de retención ante un eventual derrame.

En ningún caso se acumularán sustancias peligrosas de ningún tipo, en áreas no pavimentadas que no estén acondicionadas para tal fin.

El titular contará con un programa de inspección y mantenimiento documentado que asegure la impermeabilización y estanqueidad del pavimento en las siguientes áreas:

- Zona de almacenamiento de productos químicos y/o aceites (nuevos y usados).
- Zonas de almacenamiento de residuos peligrosos.

Las operaciones de mantenimiento de este programa quedarán registradas en el Libro de Registro de Mantenimiento creado al efecto. Dicho programa de inspección y mantenimiento deberá quedar definido y redactado en el plazo máximo de tres meses y permanecer en la instalación a disposición para inspección oficial.

Se redactarán protocolos de actuación en case de posibles derrames de sustancias químicas o residuos peligrosos en la instalación, debiendo quedar definidos y redactados en el plazo máximo de tres meses y permanecer en la instalación a disposición para inspección oficial.

6.- Residuos.

Teniendo en cuenta la estimación de residuos incluida en el Proyecto Básico de Autorización Ambiental Integrada, y en su condición de productor de residuos, el titular de la actividad queda sometido a los preceptos de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de Residuos y Suelos Contaminados y de la Ley 10/2000, de 12 de diciembre, de Residuos de la Comunidad Valenciana, y de las normas de desarrollo reglamentario que resulten aplicables.

Constituyen obligaciones del productor relativas a la gestión de los residuos propios generados en el ejercicio de su actividad las establecidas en el artículo 17 de la Ley 22/2011.

Asimismo, son obligaciones del productor relativas al almacenamiento, mezcla, envasado y etiquetado de residuos las previstas en el artículo 18 de la Ley. En todo caso:

- ✓ El almacenamiento temporal de residuos peligrosos se realizará segregado por tipo de residuos, debiendo estar convenientemente señalizado. Deberá realizarse en lugar techado, disponiendo de suelo impermeable, así como de sistemas de contención y recogida de derrames accidentales.
- ✓ Para el almacenamiento de residuos de naturaleza líquida, o que sean susceptibles de generar vertidos, se contará con cubetos o recipientes de

contención o recogida de derrames accidentales apropiados con capacidad para retener como mínimo el volumen del envase de mayor tamaño o el 10% del volumen total almacenado (la mayor de ambas cantidades). Los cubetos deberán ser individuales para aquellos residuos que, por su naturaleza y/o composición, su mezcla suponga un aumento de su peligrosidad o dificultad para su correcta gestión.

- ✓ Para la recogida de posibles fugas o derrames accidentales de líquidos, tanto de residuos como de materias primas, la instalación deberá disponer de material absorbente no inflamable en cantidad suficiente para tal fin. El absorbente así utilizado se gestionará como residuo peligroso o no peligroso, según corresponda a la naturaleza del líquido recogido.

La responsabilidad del productor de residuos, cuando no realice el tratamiento por sí mismo, concluye cuando los entregue a un negociante para su tratamiento, o a una empresa o entidad de tratamiento autorizada siempre que la entrega se acredite documentalmente y se realice cumpliendo los requisitos legalmente establecidos. A este respecto deberá disponer de los correspondientes documentos de aceptación originales y vigentes de todos los residuos generados en el desarrollo de su actividad, emitidos por gestores autorizados.

El Número de Identificación Medio Ambiental (N.I.M.A.) asignado a la instalación deberá ser utilizado necesariamente en todas sus relaciones administrativas con el órgano ambiental competente en materia de residuos y en sus obligaciones documentales de acuerdo con la normativa aplicable en materia de residuos.

Los productores de residuos peligrosos están obligados a elaborar y remitir a la Comunidad Autónoma un estudio de minimización, comprometiéndose a reducir la producción de sus residuos, quedando exentos de esta obligación los pequeños productores de residuos peligrosos que se definan como tales reglamentariamente. Dicho estudio se elaborará cada cuatro y se presentará ante el órgano ambiental competente o ante aquel que tenga encomendada la gestión del mismo.

De conformidad con el artículo 40 de la Ley 22/2011, dispondrán de un archivo físico o telemático donde se recoja por orden cronológico la cantidad, naturaleza, origen, destino y método de tratamiento de los residuos. En dicho archivo se incorporará la información contenida en la acreditación documental de las operaciones de producción, la cual se guardará durante, al menos, tres años. Dicho archivo cronológico estará a disposición de las autoridades competentes a efectos de inspección y control.

Los requisitos establecidos en la legislación vigente en materia de envases y residuos de envases, y de manera especial lo establecido en el Real decreto 782/1998, de 30 de abril, por el que se desarrolla el Reglamento para el desarrollo de la Ley 11/1997, de Envases y Residuos de Envases, no quedan derogados por la Ley 16/2002, por lo que la concesión de la autorización ambiental integrada no exime de su cumplimiento.

ANEXO III: Extracto del Anexo II del Decreto 199/2006, de 10 de octubre sobre el alcance y contenido de las investigaciones de la calidad del suelo.

A) Requerimientos comunes a las fases de investigación exploratoria y detallada.

A.I.– Elementos previos al inicio de la toma de muestras.

Con carácter previo al inicio de las labores de muestreo, y haciendo uso de toda la información disponible en cada fase de investigación, será necesario desarrollar los siguientes elementos, cada uno de los cuales deberán ser debidamente documentado:

a) Una hipótesis sobre las sustancias contaminantes presentes en el emplazamiento y sobre su distribución espacial. El diseño o planificación de muestreo en el marco de una investigación de calidad del suelo se apoyará en la hipótesis de distribución espacial de las sustancias contaminantes en los diferentes medios. Los medios que pueden ser afectados por una contaminación del suelo y que, en consecuencia y si se sospecha que éste es el caso, deberán ser muestreados en la fase de investigación más apropiada son los siguientes:

- Suelo y polvo.
- Aguas superficiales.
- Agua del suelo (zona no saturada) y aguas subterráneas.
- Fases líquidas no acuosas (por ejemplo, hidrocarburos).
- Aire (del suelo y de la atmósfera general del emplazamiento).
- Vegetación y fauna (incluyendo especies de aprovechamiento agrícola y ganadero).
- Población humana (sangre, orina, cabello, dientes, etc).

La hipótesis será formulada a partir de los resultados de la fase previa de investigación (estudio histórico, descripción del medio físico y visita de campo en la investigación exploratoria y datos de ésta en la investigación detallada), tomando en consideración los diferentes condicionantes existentes (de tipo físico, técnico, operativo, etc.) y los objetivos particulares de la campaña a ejecutar. La hipótesis sobre las sustancias contaminantes presentes en el emplazamiento y la distribución espacial de éstas se plasmará en un modelo conceptual preliminar es decir, un esquema del emplazamiento y su entorno que incluya de forma cualitativa los posibles focos de contaminación y su naturaleza, así como las potenciales rutas de exposición y/o dispersión para cada uno de los receptores identificados.

b) Un plan de trabajo: previamente a la ejecución de cualquiera de las fases de toma de muestras, se deberá elaborar un plan de trabajo en el que se incluirán, como mínimo, los siguientes extremos:

- El objetivo del programa de muestreo y análisis.
- Un mapa del área a investigar a escala adecuada.
- Los medios a muestrear de acuerdo al modelo conceptual preliminar de riesgos.

- El número previsto de etapas de muestreo.
- La localización aproximada de los puntos de muestreo en un plano a escala adecuada.
- El número de puntos de muestreo.
- La profundidad de muestreo prevista en cada punto.
- El número de muestras a tomar a priori por punto de muestreo.
- El tamaño de la muestra.
- Las técnicas requeridas para la ejecución de los puntos de muestreo y la toma de muestras.
- El protocolo de limpieza del instrumental de perforación y muestreo.
- Los parámetros físico-químicos a determinar en las muestras.
- La indicación de la necesidad de realizar análisis y ensayos in situ y la descripción de las metodologías para la realización de los ensayos.

ANEXO IV: Normativas sobre el procedimiento de análisis según sustancia especificada.

- ISO 11465 para Calidad del suelo. Determinación del peso seco y del contenido de agua en masa-Método gravimétrico.
- ISO 10390 para Calidad del suelo. Determinación del pH.
- ISO/DIS 11277 para Calidad del suelo. Determinación de la distribución del tamaño de partícula en suelo-Método de tamizado y sedimentación.
- ISO 11466 para Calidad del suelo. Determinación de elementos traza solubles en agua regia.
- ISO/CD 11047 para Calidad del suelo. Determinación de metales pesados por espectrometría de absorción atómica de llama y sin llama
- NEN 5760 para Suelo. Determinación del contenido de arsénico por espectrometría de absorción atómica (técnica de generador de hidruros) tras digestión con ácido nítrico y ácido clorhídrico.
- NEN 5764 para Suelo. Determinación del contenido de mercurio en suelos por espectrometría de absorción atómica en vaso de digestión de PTFE a 140C y presión.
- NEN 5734 para Suelo. Determinación por cromatografía de gases del contenido de pesticidas organoclorados y policlorobifenilos en suelos.
- NEN 5733 para Suelo. Determinación del contenido de aceite mineral en suelo mediante espectrofotometría infrarroja y cromatografía de gases.
- NEN 5731 para Suelo. Determinación de la concentración de diez hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) mediante cromatografía líquida de alta presión.
- NEN 5735 para Suelo. Determinación del contenido de halógenos procedentes de compuestos organohalogenados (EOX) no volátiles extraíbles en acetona y éter de petróleo.
- UNE-EN 12457-1 para la Caracterización de residuos. Lixiviación.
- EPA 5030 para COVS, Purga y trampa.
- EPA 8021A para Determinación de compuestos halogenados volátiles por cromatografía de gases con detectores de fotoionización y conductividad electrolítica en serie: técnica de columna capilar.
- EPA 8260A para Determinación de compuestos orgánicos volátiles por cromatografía de gases/espectrometría de masas (GC/MS): técnica de columna capilar.

ANEXO V: Cálculo de rendimientos del presupuesto

Supervisión del técnico durante sondeos: se considera que un técnico sólo puede supervisar un máximo de 2 metros de sondeo durante 1 hora, ya que debe ir realizando análisis mediante el PID (procedimiento descrito en la Memoria): 0,5 h/m.

Camión de sondeos: se considera la realización de 5 sondeos diarios, lo que equivale a 15 m de testigo obtenido. Teniendo en cuenta que el diámetro del testigo es 200 mm, se considera que el volumen total extraído (de los 30 m de testigo) es 0,9424 m³. Como se ha mencionado que se considera la extracción de 30 m de testigos en 2 días: 0,9424 m³/2 días = 0,4712 m³/día. Como un camión de transporte tiene de forma genérica un rendimiento de 0,069 h/m³, se calcula que el camión que se utilizará durante los sondeos tendrá un rendimiento de: 0,032 h/día.

$$Volumen\ total\ sondeos = 30\ m \cdot \pi \frac{0,2^2}{2} m^2 = 0,9424\ m^3$$

$$Rend = 0,069 \frac{h}{m^3} \cdot \frac{0,9424\ m^3}{2\ días} = 0,032\ h/día$$

Gestión de residuos peligrosos (testigos): la densidad de la tierra de estudio se considera la indicada como valor límite en la gestión de residuos peligrosos, 0,7 t/m³, de acuerdo con la bibliografía.

Retroexcavadora durante excavación mediante medios mecánicos: 0,313 h/m³, de acuerdo con la bibliografía.

Zahorra artificial: densidad 2,2 t/m³, de acuerdo con la bibliografía.

Pintura epoxi: Los botes de pintura epoxi encontrados en catálogo tienen una capacidad de 5,5 litros y cuestan 156€; además, se sabe gracias al proveedor que 1 litro sirve para pintar 6 m² de una capa, por lo que con 1 bote (o 1 unidad) se pintan 33 m²:

$$Botes\ necesarios\ para\ 1\ capa = \frac{1\ unidad}{5,5\ litros} \cdot \frac{1\ litro}{6\ m^2} \cdot 912\ m^2 = 27,6 \approx 28$$

$$Botes\ necesarios\ para\ 3\ capas = 82,9 \approx 83\ unidades$$

$$Botes\ necesarios\ por\ metro\ cuadrado = \frac{83\ ud}{912\ m^2} = 0,091 \frac{ud}{m^2}$$

Oficial 1ª aplicador de productos impermeabilizantes: para aplicar la pintura epoxi es necesario tres días, ya que se van a realizar tres capas y se deben dejar secar. Para obtener el rendimiento del oficial por metro cuadrado pintado se considera que trabaja 8 horas diarias durante 3 días pintando la superficie total de la solera, ya que el precio se considera en €/hora:

$$\text{Tiempo en pintar cada 3 capas de metro cuadrado} = \frac{8 \frac{h}{\text{día}} \cdot 3 \text{ días}}{912 \text{ m}^2} = 0,0263 \frac{h}{\text{m}^2}$$

Excavación de canales de control: el rendimiento debe ser m^3 de canal por m^2 de la Nave, para saber a cuanto sale por superficie, ya que el precio es €/ m^3 . Por ello, se tiene que mostrar que son 2 canales de longitud de la Nave (30,7 m) y de sección 0,2 m x 0,2 m (diámetro del tubo dren: 200 mm):

$$\text{Rendimiento canal control} = 2 \cdot \frac{0,2^2 \cdot 30,7 \text{ m}^3}{912 \text{ m}^2} = 0,027 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2}$$

Tubo dren de hormigón permeable: el precio del tubo va por metro lineal, por lo que se tienen que obtener los metros de tubo por metro cuadrado de superficie total para que la unidad de obra tenga unidades coherentes. Se utilizarán dos tubos de la misma longitud que la Nave:

$$\text{Rendimiento tubos dren} = 2 \cdot \frac{30,7 \text{ m}}{912 \text{ m}^2} = 0,483 \frac{\text{m}}{\text{m}^2}$$

Grava: para el relleno de las esquinas libres de los canales de control se utiliza grava común. El precio de la grava va por tonelada y se vende en sacos de mínimo 1 tonelada (que aproximadamente ocupa 1 m^3). Por ello, en el proyecto hará falta la compra de 1 saco de 1 m^3 . Esto hace que el rendimiento, en vez de considerarlo como su densidad, se considere como los m^3 que se comprarán (1 m^3) respecto a los metros cuadrados de superficie total.

$$\text{Rendimiento saco grava} = \frac{1 \text{ saco } (1 \text{ m}^3)}{912 \text{ m}^2} = 0,0011 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2}$$

Arquetas de registro: el rendimiento indica qué cantidad del total de las arquetas (2 unidades) se paga por cada metro cuadrado total.

$$\text{Rendimiento arquetas} = \frac{2 \text{ ud}}{912 \text{ m}^2} = 0,0022 \frac{\text{ud}}{\text{m}^2}$$

Excavación del foso: indica los metros cúbicos de foso por los metros cuadrados de superficie total.

$$\text{Rendimiento foso} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 29,7 \text{ m}^3}{912 \text{ m}^2} = 0,0326 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2}$$

ANEXO VI: Anexo IV del Boletín Oficial de Aragón. Tarifas del servicio público de eliminación de residuos peligrosos.



ANEXO IV

Tarifas del servicio público de eliminación de residuos peligrosos

Epígrafe	Tarifa (IVA excluido)
1. Eliminación de residuos peligrosos mediante depósito en vertedero con densidades superiores a 0,7 t/m ³	115,43 €/Tm
2. Eliminación de residuos peligrosos mediante depósito en vertedero con densidades superiores a 0,4 t/m ³ e iguales o inferiores a 0,7 t/m ³	182,92 €/Tm
3. Eliminación de residuos peligrosos mediante depósito en vertedero con densidades superiores a 0,2 t/m ³ , e iguales o inferiores a 0,4 t/m ³	220,38 €/Tm
4. Eliminación de residuos peligrosos mediante depósito en vertedero con densidades iguales o inferiores a 0,2 t/m ³	405,95 €/Tm
5. Recepción y manipulación de residuos presentados en envases tipo 1	8,06 €/envase
6. Recepción y manipulación de residuos presentados en envases tipo 2	16,13 €/ envase
7. Gestión administrativa de los documentos de control y seguimiento de los residuos gestionados y documentación complementaria necesaria	12,27 €/Ud

Anexo VII: Ampliación del diagrama de flujo del protocolo de muestreo.

