



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

# MEMORIA

**Alumno:** Antonio Tirado Peiró

**Tutor:** José Dueñas Molina

**Depto.:** Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos

**Octubre, 2014**

# **INDICE**

1.- INTRODUCCION.....	6
1.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL Y OBJETO DEL TFG .....	6
1.2.- JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	6
2.- UBICACIÓN.....	9
2.1.- DATOS EXACTOS DE LA UBICACIÓN .....	9
2.2.- ACCESOS .....	11
3.- DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	12
3.1.- INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN.....	12
3.2.- ESTUDIOS REALIZADOS EN LA ZONA.....	12
3.3.- DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE RESTAURACIÓN DEFINITIVO .....	17
3.3.1.- <i>Planteamiento de diferentes alternativas</i> .....	17
3.3.2.- <i>Evaluación de las diferentes alternativas y justificación de la solución adoptada</i> .....	18
3.3.3.- <i>Descripción detallada de la solución adoptada</i> .....	30
3.3.4.- <i>Superficies de aplicación</i> .....	32
4.- FASES DEL PROYECTO .....	34
4.2.- DEMOLICIÓN .....	35
4.3.- DESPEJE Y DESBROCE .....	35
4.3.1.- <i>Remoción</i> .....	36
4.3.2.- <i>Disposición de los materiales</i> .....	36
4.4.- EXCAVACIÓN Y MOVIMIENTO DE RCD Y ESCORIAS .....	37
4.4.1.- <i>Ejecución</i> .....	38
4.4.2.- <i>Taludes</i> .....	40
4.5.- DRENAJE Y TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS .....	41
4.5.1.- <i>Colocación del drenaje</i> .....	42
4.5.2.- <i>Tratamiento</i> .....	43
4.6.- ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO.....	46
4.6.1.- <i>Almacenamiento de RCD</i> .....	47
4.6.2.- <i>Almacenamiento de escorias</i> .....	49
4.7.- TERMINACIÓN Y REFINO DE SUPERFICIES .....	51
4.7.1.- <i>Condiciones generales</i> .....	51
4.7.2.- <i>Extendido de las escorias</i> .....	52

4.7.3.- <i>Recubrimiento de los RCD y escorias</i> .....	52
4.8.- LABORES DE REFORESTACIÓN .....	52
4.8.1.- <i>Elección de especies</i> .....	53
4.9.- ORGANIZACIÓN DE LA RESTAURACIÓN .....	54
4.10.- LABORES DE MANTENIMIENTO .....	55
BIBLIOGRAFÍA.....	57

## **INDICE DE FIGURAS**

Figura 1: Ubicación 1 .....	9
Figura 2: Ubicación 2 .....	10
Figura 3: Ubicación 3 .....	10
Figura 4: Extensión .....	11
Figura 5: Accesos .....	11
Figura 6: Plano antigua zona fundición .....	15
Figura 7: Colocación electrodos .....	16
Figura 8: Análisis perfil 5 .....	16
Figura 9: Análisis perfil 6 .....	17
Figura 10: Situación vertedero RCD .....	31
Figura 11: Situación vertedero escorias .....	32
Figura 12: Superficie demolición .....	32
Figura 13: Superficie escorias .....	33
Figura 14: Volúmenes escorias .....	39
Figura 15: Situación vertedero escorias 2 .....	40
Figura 16: Perfil drenaje .....	42
Figura 17: Posición y longitud drenaje lixiviados .....	42
Figura 18: Antiguo drenaje .....	43
Figura 19: Situación ciénagas de tratamiento .....	44
Figura 20: Thypa .....	45
Figura 21: Typha 2 .....	45
Figura 22: Capas base vertedero RCD .....	48
Figura 23: Capas base vertedero escorias .....	49
Figura 24: Ejemplo situación final impermeabilización .....	51
Figura 25: Terminación superficies escorias .....	51

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Caracterización geoquímica de la zona.....	13
Tabla 2: Caracterización aguas .....	14
Tabla 3: Exigencias revestimientos.....	47
Tabla 4: Propuestas especies restauración .....	54

## **1.- INTRODUCCION**

### **1.1.- Descripción General y Objeto del TFG**

En el presente apartado, explicaremos en que va a consistir nuestro Trabajo Fin de Grado, titulado **“Estudio de impacto ambiental, restauración y viabilidad técnico económica, para la instalación de un parque industrial en los terrenos de la extinta Fundición de La Cruz”**.

Plantearemos y describiremos las diferentes alternativas que barajamos para la gestión de los dos tipos de residuos que tenemos:

- Residuos inertes de construcción y demolición (RCD).
- Escorias resultantes del proceso de fundición del plomo.

Explicaremos las siguientes actuaciones generales:

- Trabajos de preparación y replanteo.
- Demolición de antiguas instalaciones y recogida de escombros.
- Colocación del sistema de drenaje.
- Acondicionamiento de dos espacios de vertidos subterráneos para la restauración, similar al de las escombreras.
- Repoblación de zonas afectadas.
- Medidas de protección ambiental.
- Acondicionamiento del terreno para la futura construcción de un parque industrial, en concreto una serie de naves para almacenamiento.

### **1.2.- Justificación del Proyecto**

La Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, tiene por objeto regular la gestión de los residuos impulsando medidas que prevengan su generación y mitiguen los impactos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente asociados a su generación y gestión, mejorando la eficiencia en el uso de los recursos. Tiene asimismo como objeto regular el régimen jurídico de los suelos contaminados.

Según el artículo 2 del Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, se entenderá por <<Residuo no peligroso>> los residuos que no están incluidos en la definición del artículo 3, de la Ley 21/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Según esa definición, se considerarán <<Residuos peligrosos>>, aquellos que figuren en la lista de residuos peligrosos, aprobada en el Real Decreto 952/1997. Si acudimos a dicha lista, las escorias (residuos de la termometalurgia del plomo), están clasificadas como residuo peligroso con el código CER 100401.

Según el artículo 2 del Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, los Residuos de Construcción y Demolición presentes en la antigua fundición de La Cruz, se clasificarán como inertes, debido a que son residuos no peligrosos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. No son solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente ni de ninguna otra manera, ni son biodegradables. Además, podrán admitirse en vertedero sin la realización previa de las pruebas de caracterización básica reguladas en el apartado 1.1.3 de dicho Real Decreto.

#### Criterios para el almacenamiento subterráneo

Para admitir residuos en emplazamientos de almacenamiento subterráneo se deberá efectuar una evaluación de la seguridad específica del emplazamiento con arreglo a lo definido en el anexo A del R.D. 1481/2001. Para el almacenamiento subterráneo de residuos peligrosos solamente podrán admitirse residuos compatibles con la evaluación de seguridad específica del emplazamiento, en este caso, no se aplicarán los criterios establecidos en el apartado 2.4.

Los residuos que puedan sufrir una transformación física, química o biológica indeseada una vez depositados no deberán eliminarse en instalaciones de almacenamiento subterráneo. Tal es el caso de los siguientes residuos:

- a) Los residuos enumerados en el apartado 3 del artículo 5 de la Directiva 1999/31/CE relativa al vertido de residuos.
- b) Los residuos y los contenedores que puedan reaccionar con el agua o con la roca huésped en las condiciones de almacenamiento, con los siguientes efectos posibles:
  - Un cambio en el volumen;

- Generación de sustancias o gases autoinflamables, tóxicos o explosivos;
  - Cualquier otra reacción que pudiera poner en peligro la seguridad de explotación o la integridad de la barrera.
- 
- c) Los residuos biodegradables.
  - d) Los residuos que desprendan un olor acre.
  - e) Los residuos que pudieran generar una mezcla de gas y aire tóxica o explosiva.
  - f) Los residuos con una estabilidad insuficiente para corresponder a las condiciones geomecánicas.
  - g) Los residuos que sean autoinflamables o susceptibles de combustión espontánea en las condiciones de almacenamiento, los productos gaseosos, los residuos volátiles y los residuos mixtos no identificados.
  - h) Los residuos que contengan o pudieran generar gérmenes patógenos de enfermedades contagiosas.

A la vista de estos condicionantes, podemos establecer, como dice el punto 2.1 sobre los criterios de admisión en los vertederos para residuos inertes, que tras una inspección visual podemos suponer que los residuos inertes estén contaminados con metales, plásticos, productos químicos; si hubiera alguna duda, tendrían que realizarse los análisis pertinentes para comprobar si superan las cantidades que aumentan el riesgo asociado al residuo en modo tal que justifique su eliminación en otras clases de vertederos.

En base a lo citado anteriormente, podemos establecer, a falta de medios y ensayos que lo abalen, que nuestros residuos peligrosos cumplen con lo propuesto para su eliminación mediante almacenamiento subterráneo.

## 2.- UBICACIÓN

### 2.1.- Datos Exactos de la Ubicación

Los terrenos de la antigua Fundición de La Cruz se localiza en la provincia de Jaén, más concretamente en el término municipal de Linares, a unos 3 Km de dicho municipio.



Figura 1: Ubicación 1

Las coordenadas UTM son:

$$X = 444.464$$

$$Y = 4.221.560$$



Figura 2: Ubicación 2



Figura 3: Ubicación 3

El recinto tendrá una extensión total de 12,65 ha.



Figura 4: Extensión

## 2.2.- Accesos

El acceso a la fundición se realiza a través de la carretera comarcal Linares-Guarromán (A-303), y 2 Km después la JV-6083.

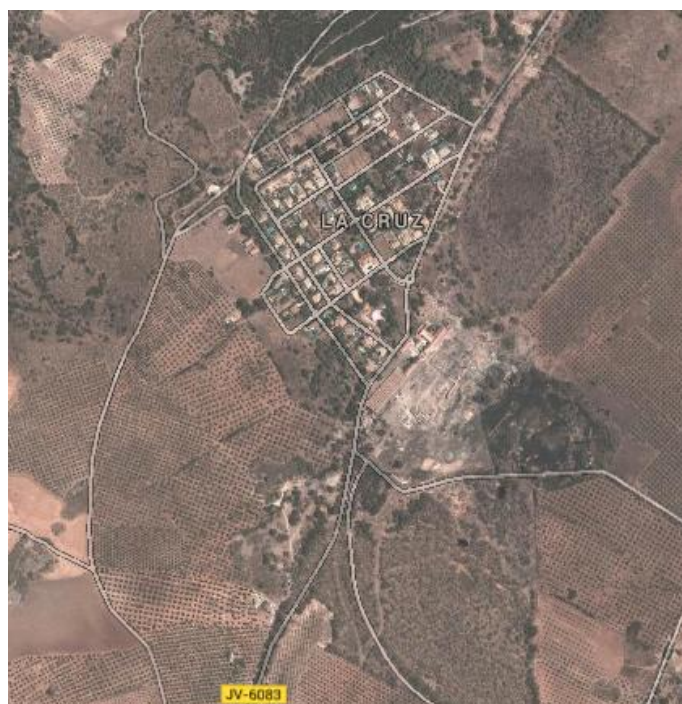


Figura 5: Accesos

### **3.- DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

#### **3.1.- Introducción y Justificación**

El plomo en sus diversas formas, es considerado como un residuo peligroso debido a los efectos nocivos que tiene sobre los organismos vivos y en especial en la salud humana. Es por ello que cualquier proceso en el que se obtenga este metal, o alguno de sus compuestos, debe contar con formas para evitar que llegue hasta sitios en los que pueda lixiviarse e incorporarse a cuerpos de agua.

Como consecuencia del proceso industrial que se realizaba en los terrenos de “La Cruz”, la fundición del plomo, se generan unos residuos, las escorias, que son sometidas a un nuevo proceso de tratamiento previo. El resto del producto residual es calificado como residuo peligroso (código CER 100401) y se encuentra acumulado en la zona sin ningún tipo de vigilancia ni gestión por parte de ningún organismo.

Es por esto por lo que se presenta Trabajo Fin de Grado sobre el “Estudio de impacto ambiental, restauración y viabilidad técnico económica, para la instalación de un parque industrial en los terrenos de la extinta Fundición de La Cruz”.

El presente proyecto de restauración tiene por objeto definir las medidas necesarias para el acondicionamiento y mejora citado terreno para la posterior construcción de un parque industrial donde se construirán naves de almacenaje.

#### **3.2.- Estudios realizados en la zona**

Gracias al estudio sobre la Caracterización de los suelos del distrito Linares-La Carolina mediante métodos geofísicos y geomecánicos realizado por J. Martínez, J. Rey, M.C. Hidalgo y J. Benavente, podemos tener una idea de la composición de los suelos del terreno objeto del proyecto, así como de las aguas superficiales contaminadas por el lixiviado procedente de las escorias.

La Fundición La Cruz está compuesta por escorias producidas por los procesos metalúrgicos de la fundición del plomo. La superficie tiene un área de 4,7 ha y un material acumulado de 1.345.000 m<sup>3</sup>.

Geológicamente, la estructura del material subterráneo, se encuentra directamente asociada a materiales del triásico. Se detectó la erosión de la superficie debido al agua y al viento, junto con deslizamientos de tierras locales, taludes excavados, exudación y lixiviados a pie del depósito.

Se llevó a cabo una caracterización geoquímica de los diferentes deshechos de fundición que se acumulaban en la zona. De este modo, fue tomada una muestra de 20 cm de la superficie, y otra muestra a una profundidad de 1 m utilizando un tornillo sin fin.

	Mining dams				Guidelines for maximum allowed concentrations					
	Cañada I	Aguisgrana (20 cm)	Aguisgrana (100 cm)	La Cruz smelter	Maximum allowed (a)		Compulsory treatment (a)		R.D.1310/1990 (b)	
pH	8,3	7,8	7,6	6,4	pH < 7	pH > 7	pH < 7	pH > 7	pH < 7	pH > 7
Electrical Conductivity (µS/cm)	140	1197	2,3	106						
Cr	9	56	71	45	< 100		> 450		100	150
Ni	20	28	28	42	< 40	< 50	> 200	> 300	30	112
Cu	419	49	34	4235	< 50	< 100	> 300	> 500	50	210
Zn	190	3314	2669	51280	< 200	< 300	> 600	> 1000	150	450
Cd	1,7	11,8	8,8	31,4	< 2	< 3	> 7	> 10	1	3
Pb	19913	8650	1274	22891	< 100	< 200	> 300	> 500	50	300
Co	10,9	24	15,9	106	< 20	< 50	50 - 100	150 - 300		
As	43	118	48	302	< 20		> 50			
Se	0	0	0	0	< 2		> 10			
Mo	2,1	1	0,8	220	< 10		> 200			
Sn	9	3	3	384	< 20		> 150			
Tl	1	0,9	0,9	0,7	< 1		> 5			
In	0,5	0,6	0,5	6,6						
Mn	2913	1368	1269	2658						
Y	30	10	10	27						
Bi	2,7	1,1	0,8	1,5						
Th	9	13	15	9						
U	3,4	2,3	2,2	14						
Be	2,1	2,4	3,1	3,3						
Sc	4,5	7,7	9,7	4,3						
V	25	70	82	104						
Sb	50	19	6,9	191						
Ba	3702	1529	820	14852						
Au	0,1	0,1	0,1	0,2						

The guidelines for the maximal allowed concentrations of trace elements (in mg/kg) are also included

<sup>a</sup> Government of Junta de Andalucía allowable levels and compulsory treatments in agricultural soil

<sup>b</sup> Government of Spain allowable levels in agricultural soil

Tabla 1: Caracterización geoquímica de la zona

La temperatura y conductividad eléctrica (CE) y el pH se determinaron in situ (tabla). Para la medición de la temperatura y el pH, se utilizó un medidor portátil Hach Lange HQ20. Para la medición de la CE se usó un WTWLF92 con cambio automático compensador de temperaturas.

Muestra	T° (°C)	Cond.	pH	Cationes (mg/l)				Aniones (mg/l)				Elementos metálicos (? g/l)					
				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Al	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Granito fracturado	20,7	397	6,9	37	10	27	2	11	10	142	26	134	11	140	10	35	126
Aguas superficiales	27,7	730	7,7	90	26	41	6	35	135	216	8	182	5	260	525	100	158
Cuatenario	20,4	828	7,8	114	20	33	2	38	194	226	57	56	14	68	5	5	295
Colector Minas	21,1	875	8,2	117	42	47	3	50	251	242	6	141	10	98	10	5	130
Sector I	20,8	701	7,9	102	23	37	3	37	165	221	17	44	31	56	12	19	235
Sector II	23,1	###	7,5	152	35	72	5	62	374	335	3	87	51	294	###	58	240
Lixiviados fundición	22,2	###	9,4	40	13	###	206	127	###	###	151	-	300	400	180	208	380

Tabla 2: Caracterización aguas

Las muestras de agua que se recogieron para el análisis de los componentes principales (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2+</sup> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y trazas de elementos (As, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn) se almacenaron en un congelador hasta que llegaron al laboratorio. En las muestras para el análisis del metal, el agua se filtró utilizando un filtro de 0,45 µm y fueron preservadas por la adición de un ácido nítrico de un pH menos de 2,5. Los análisis fueron realizados por el Instituto del Agua y el CSI de la Universidad de Granada.

Para la caracterización geofísica, se utilizó la técnica ERI, una técnica geofísica no destructiva que analiza los materiales en el subsuelo en base a su comportamiento eléctrico y distingue los entre ellos mediante la medición de su resistividad eléctrica aparente.

El método ERI se basa en la colocación de un número de electrodos a lo largo de una serie de perfiles con una determinada distancia entre ellos. Esta distancia depende del grado de resolución, profundidad y objetivos del estudio, de tal manera que cuanto más cerca es la distancia entre electrodos, mayor será la resolución, y cuanto más distancia, mayor es la profundidad analizada. En este estudio se utilizó un espaciamiento de entre 2 y 3 metros entre electrodos para asegurar que se podría llegar a la profundidad deseada para el estudio de la escoria.

### Resultados obtenidos

La escoria de la fundición La Cruz tiene un pH ligeramente ácido (6,4), una conductividad eléctrica de 106 µS/cm y unas grandes concentraciones de metales como se ha podido observar en la tabla, por ejemplo, valores de Co (106 mg/kg), Cu (4.235 mg/kg), Zn (52.280 mg/kg), As (302 mg/kg), Mo (220 mg/kg), Cd (31,4 mg/kg), Sn (384 mg/kg) y Pb (22.891 mg/kg) son mucho mayores de los permitidos por ley (Tabla), Las

concentración de Mn (2.658 mg/kg), Sb (191 mg/kg), Ba (14.852 mg/kg), Th (9 mg/kg) y U (14 mg/kg) también destacan.

En la fundición se utilizaron 2 perfiles con 80 electrodos cada uno. En total unos 158 m de longitud con 2 metros de espaciamento entre electrodos. El perfil 5, se colocó con una dirección NE-SO, sobre las mismas escorias para estudiar la tipología de estos residuos de fundición y su contacto con el sustrato. El perfil 6, con dirección SO-NE, fue situado dentro de las antiguas instalaciones de la fundición, con el objetivo de estudiar posibles acumulaciones de los residuos industriales y zonas preferenciales de los lixiviados de circulación.

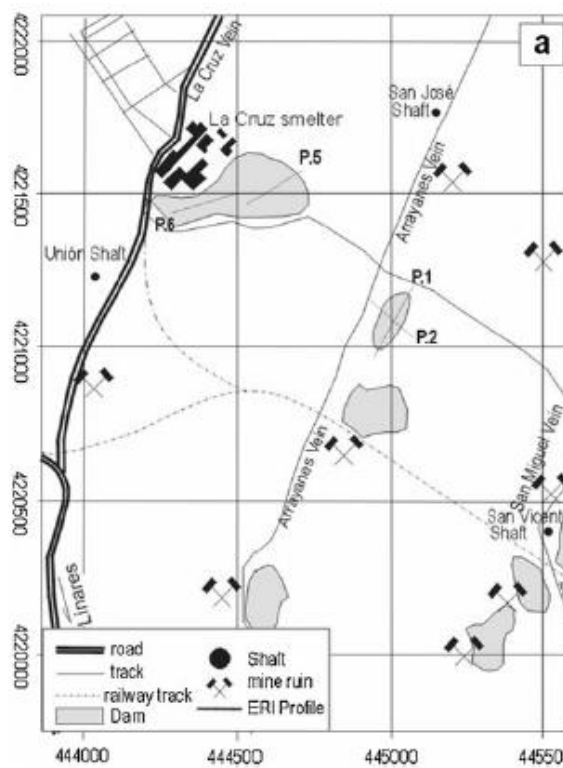


Figura 6: Plano antigua zona fundición



Figura 7: Colocación electrodos

Por consiguiente, en el perfil 5, la escoria está bien definida por su alta resistividad eléctrica (valores superiores a 1500  $\Omega\text{m}$ ). La escoria se encuentra con arcillas de baja resistividad (entre 10 y 50  $\Omega\text{m}$ ) y un alto grado de humedad. El subyacente granítico tiene resistividades entre 500 y 1500  $\Omega\text{m}$ .

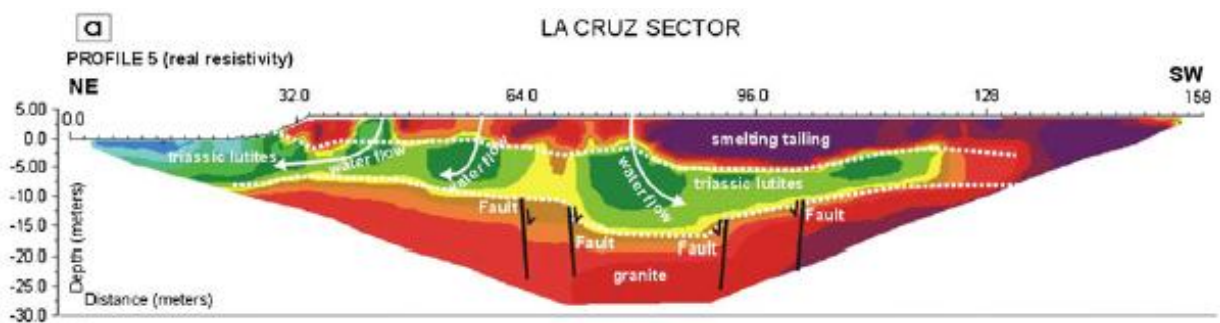


Figura 8: Análisis perfil 5

Como se observaron lixiviados en el perímetro de la fábrica, se realizó otro perfil dentro de las antiguas instalaciones de la fábrica (perfil 6). En algunos de los antiguos cimientos de la estructura de la fábrica se detectaron altas resistividades (1000 a 1500  $\Omega\text{m}$ ). Entre el punto 102 m y el extremo del perfil, hay escoria de fundición con resistividades superiores a 1000  $\Omega\text{m}$  y un espesor de 5 m.

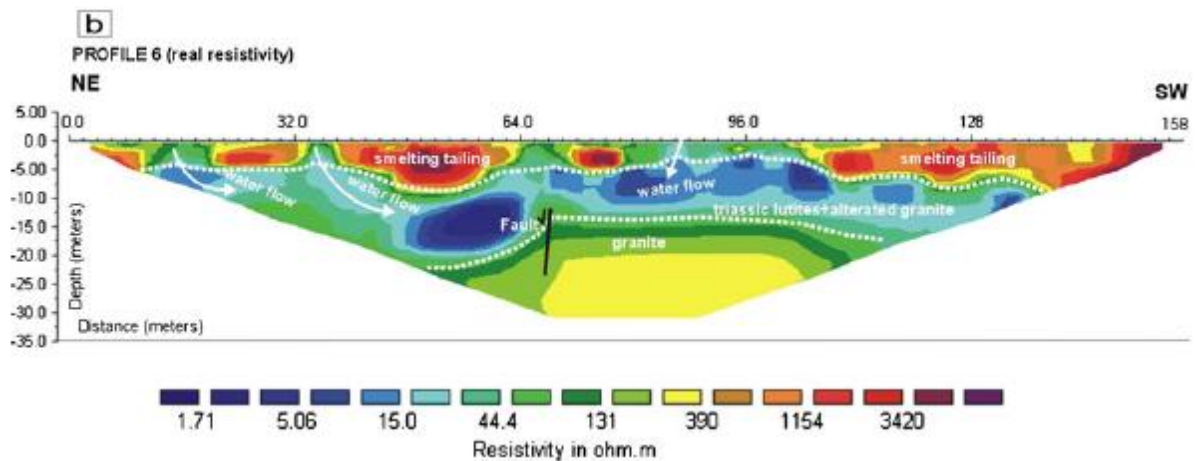


Figura 9: Análisis perfil 6

### 3.3.- Descripción del programa de restauración definitivo

Las acciones encaminadas a minimizar los efectos producidos por la contaminación y los residuos inertes de construcción y demolición, así como las acciones de proyecto y restauración del medio, se deberán tener en cuenta en el programa de restauración.

#### 3.3.1.- Planteamiento de diferentes alternativas

Según el Artículo 8 de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, las administraciones competentes aplicarán para conseguir el mejor resultado ambiental global, la jerarquía de residuos por el siguiente orden de prioridad:

- a) Prevención;
- b) Preparación para la reutilización;
- c) Reciclado;
- d) Otro tipo de valorización, incluida la energética;
- e) Eliminación.

Debido a que los residuos, tanto RCD y escorias, son un problema existente desde hace décadas, en nuestro proyecto de restauración, se valoraron estas tres alternativas:

- Reutilización de los residuos inertes.

- Reciclaje de los residuos inertes.
- Eliminación de los residuos inertes.

### 3.3.2.- *Evaluación de las diferentes alternativas y justificación de la solución adoptada*

Planteadas las diferentes alternativas de restauración, se ha de proceder a la valoración de cada una de ellas y en función de la viabilidad económica y técnica, debe decidirse cuál es la solución que se considera más adecuada.

#### **REUTILIZACIÓN**

De entre las alternativas de tratamiento de los residuos que se generan en las obras de construcción, la opción más deseable es, sin duda, la reutilización de los productos obtenidos en nuevas construcciones.

La ventaja de esta opción es la de impedir la contaminación debido a que a través de este mecanismo desaparece el residuo, reconvirtiendo las tareas de demolición o desmontado de edificaciones existentes y la recogida de restos en las unidades de obra nuevas, formando parte de un nuevo proceso de producción con los materiales que van a ser reutilizados.

Las opciones de reutilización son las siguientes:

- Reutilización directa en la propia obra.
- Reutilización en otras obras.

La reutilización directa en la propia obra implicaría dos fases:

- Selección previa del material desmontado.
- Limpieza previa del mismo.

Una vez seleccionado y limpio, el residuo se encuentra en perfecto estado para ser reutilizado. Con esta alternativa, los productos originales no son alterados en su forma ni en sus propiedades.

La reutilización en otras obras es una alternativa igual que la anterior desde el punto de vista productivo, con la diferencia de que es necesario transportar los materiales a las obras de destino.

Sin embargo, desde un punto de vista económico la situación es muy diferente, llegando a presentar incluso inconvenientes, ya que en este caso, la decisión sobre el nuevo destino de los materiales que van a ser reutilizados, está vinculada a la existencia de mercados donde se vendan y compren los productos obtenidos como residuo de otras obras.

Estos se denominan mercados secundarios y aunque la situación difiere mucho de unos lugares a otros, son en general escasos, encontrándose a lo sumo, mercados para el acero, la madera y algunos productos específicos como pueden ser las tejas.

El presente proyecto solamente se encarga de la excavación, restauración y acondicionamiento del terreno, por lo que no se contemplará ninguna acción en la que la reutilización pueda estar presente.

### **RECICLAJE**

Esta opción consiste en la reconversión de los residuos en nuevas materias primas que puedan ser utilizadas en la fabricación de nuevos productos para ser empleados en nuevas obras.

Con respecto a la reutilización, presenta diferencias, ya que los productos originales son alterados en su forma original y en sus propiedades, por tanto se trata de reutilizar después de transformar el residuo en otros productos.

Las cantidades de RCD generadas, especialmente, en las últimas décadas, hacen necesario plantear una gestión tendente hacia el reciclaje, evitando el relleno y vertido directo.

A nivel europeo, uno de los factores que más han influido en la potenciación del reciclaje de los RCD, ha sido el incremento del costo del vertido y/o su prohibición como medio de internalización de costos ambientales, en algunos países.

La fracción del residuo que en estos momentos es objeto de especial atención como material a ser reciclado, son los denominados escombros en el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición, ya que representan alrededor del 75-80% del total de los RCD.

Sin embargo, debido al gran volumen que representan el total de los RCD, las fracciones minoritarias como la madera y el plástico alcanzan en los países más avanzados en la gestión de este tipo de residuos, una importante relevancia.

Es decir, el reciclaje de los RCD como áridos ha impulsado a su vez el reciclaje de otros materiales contenidos en los residuos básicos de construcción y demolición, tales como la madera, los metales, los plásticos etc.

De manera general, en una planta de reciclaje que reciba los residuos mezclados exentos de componentes peligrosos, la fracción de material denominada "mezcla de RCD" es generalmente cribada manualmente incluso antes de que se haya pasado por un tamiz y por un separador magnético.

Esto es seguido de una separación manual con objeto de eliminar los plásticos, madera, papel y otros residuos no metálicos.

La "mezcla de los RCD" es entonces sometida a un machaqueo y a una separación magnética antes de ser pasada por un separador de aire que elimina la fracción ligera (pequeñas piezas de papel, plásticos que se escapan de la primera clasificación).

Algunos centros de reciclaje disponen también de plantas de procesado de madera y de compostaje. Para el caso de una planta que reciba la fracción limpia de ladrillos, tejas, hormigón armado y sin armar, la fracción de ladrillos rotos, restos de hormigón armado y sin armar son cribados para eliminar la fracción que presente tamaños comprendidos entre 0-45 mm (divididos a su vez en dos subfracciones 0-4 y 4-45 mm).

La fracción que presenta tamaños de partícula  $>45$  mm es conducida a una machacadora. El material resultante del machaqueo se envía a separador magnético con

objeto de eliminar los metales férricos antes de ser cribados en fracciones comprendidas entre 0-45 y >45 mm.

La fracción que presenta tamaños de partícula superiores a 45 mm es almacenada para ser nuevamente sometida a un machaqueo y la fracción comprendida entre 0-45 mm es separada nuevamente mediante un cribado en subfracciones de 0-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm, 16-32 mm y 32-45 mm. Estas subfracciones en algunos casos son recombinadas nuevamente en función de la demanda del mercado.

La fracción que sale de la machacadora (0-45 mm) en lugar de ser clasificada en fracciones, tal y como se acaba de describir, puede ser sometida a un clasificador de aire, seguido de un lavado, una separación magnética y finalmente una nueva clasificación mediante tamizado.

Además del reciclado en plantas centralizadas, es muy común en la el uso de plantas móviles para la producción de áridos secundarios a partir de áridos demolidos in situ.

Estas plantas no son más que una de las partes de que constan los procesos más completos de las plantas centralizadas, básicamente el machaqueo y la criba del material triturado.

A continuación presentamos una serie de RCD, gran parte de los cuáles, podrían ser potencialmente reciclables:

### **1. Residuos de aluminio**

CER: 170402

Se encuentra en su mayor parte en productos de cerrajería y carpintería metálica. Tiene una capacidad de reciclado elevada, debiéndose efectuar previamente su separación de los productos férricos. Además existe una gran demanda de este producto gracias a la importancia de su industria de transformación y la amplia gama de productos en los que se utiliza. Sin embargo, debe primar su reutilización en la misma obra o en otras.

### **2. Residuos de cobre**

CER: 17 04 01

Se genera fundamentalmente en la ejecución de cubiertas de cobre e instalaciones (tuberías de fontanería y cableado eléctrico).

Tiene grandes posibilidades de reciclado por su gran durabilidad, su demanda y su bajo coste frente al cobre de origen natural.

Si se efectúa su recogida selectiva y se puede considerar puro, su fundición y tratamiento son fáciles, mientras que las aleaciones cobre-chatarra necesitan un proceso para eliminar las impurezas.

### **3. Residuos de latón o bronce**

CER: 170401

Suelen ser latas con que se suministran las pinturas o como elementos de carpintería y cerrajería (pomos, herrajes).

Al igual que el resto de metales: aceros, aluminios, cobres, etc, la alternativa es el reciclado o valorización como chatarra.

### **4. Residuos de acero**

CER: 17 04 05

Se originan fundamentalmente en la colocación de armaduras metálicas en estructuras, y como residuos de envases de latas en los que se suministran pinturas, disolventes, etcétera.

En el caso de los residuos provenientes de las estructuras de hormigón armado, son de fácil separación mediante métodos electromagnéticos o correcto almacenamiento en un contenedor durante la obra, teniendo gran posibilidad de reutilización en la misma o en otras edificaciones en caso de tener una calidad óptima. En caso contrario, se puede valorizar como chatarra.

En el caso de las latas en los que queda inevitablemente restos de pinturas, es conveniente primero agotar el resto de pintura en la obra y también, no mezcladas con otros residuos por su carácter de peligrosidad, recogéndolas en un contenedor específico.

## **5. Residuos de hierro**

CER: 17 04 05

Debido a su durabilidad, se pueden reutilizar en la misma obra o en otras, e igualmente, se pueden valorizar en plantas de reciclado o como chatarra, previa separación electromagnética o recogida y almacenamiento selectivos.

## **6. Residuos de plomo**

CER: 17 04 03

Principalmente se encuentra en tuberías y cubiertas. Tiene buena aceptación en las empresas de recuperación para su reciclaje y recuperación. Sin embargo no se debe depositar su almacenado en vertederos por sus lixiviados contaminantes.

## **7. Residuos de asfalto sin alquitrán**

CER: 17 03 02

En construcción se originan fundamentalmente en la colocación de sistemas de impermeabilización de cubiertas y muros de sótanos. Se pueden reciclar como asfalto o como masa de relleno en la propia obra o fuera de ella, en una central, mediante procesos en frío o en caliente.

Se ha de efectuar una recogida selectiva eficiente que no deteriore el material. Para ello, es necesario efectuar un pretratamiento de separación de otros materiales adheridos en la zona de contacto, fundamentalmente restos de aislamientos térmicos (fibra de vidrio, poliestirenos...) o capas separadores (geotextiles, morteros...). Posteriormente se ha de efectuar un triturado para conseguir un tamaño uniforme para su utilización en otras mezclas.

## **8. Residuos de áridos y piedras naturales**

CER: 17 05 04

Se originan fundamentalmente en la fabricación de hormigones en obra. Para reducir su consumo se aconseja utilizar hormigón triturado o mezclas bituminosas de firmes recicladas.

Se podría reutilizar como material de cobertura y relleno para modificar orografías en la obra donde se generan o en otras colindantes. Como última opción, se dispondrían en contenedores junto con otros residuos inertes similares, como las tierras, para transportarlas y depositarlas en vertederos de obras.

## **9. Residuos de piedras, mármoles y pizarras**

CER: 17 05 03

Las pizarras se encuentran en cubiertas, aplacados y pavimentos. Su reutilización en el caso de las cubiertas es más factible si el sistema de anclaje es mediante ganchos. Se deben reutilizar no obstante, si tienen calidad suficiente o en el proceso de fabricación de piedras artificiales.

Las piedras y mármoles fundamentalmente se encuentran en pavimentos y aplacados. Estos pueden incorporarse a la fabricación de gravas o piedras artificiales. En cualquier caso, como material inerte puede emplearse en rellenos.

## **10. Residuos de cerámica**

CER: 17 01 03

Forma parte como componente principal de productos muy utilizados en las paredes de fachada y particiones interiores, fundamentalmente ladrillos, baldosas, y tejas. Por tanto suponen una fracción de los RCD considerable.

Es muy usual el recorte de estas piezas o el hacer rozas para facilitar el paso de las instalaciones, por lo que se aconseja acondicionar un espacio para su almacenaje con el fin de ser reutilizados en la misma obra o en otras.

Si no es viable su reciclado se pueden almacenar como escombros o restos de obra junto a otros RCD inertes (áridos, tierras,...) pudiéndose depositar en vertederos controlados de tierras y escombros. Si son de gres, este también puede ser reciclado, aunque el proceso es más complicado dada su diversidad y su pequeña cantidad.

Así, en última instancia, se puede utilizar como material de relleno o de almacenamiento en vertederos de escombros controlados. Los residuos de porcelana, se pueden emplear como relleno de obras y carreteras o para la fabricación de hormigón reciclado previo triturado.

## **11. Residuos de hormigón**

CER: 17 01 01

Es el material predominante en las cimentaciones y estructuras. Se puede reciclar como árido para hormigón nuevo, pero para ello, necesita estar limpio de residuos de albañilería así como de maderas, metales y plásticos.

También se puede emplear en la modificación del paisaje en el que se forman zonas ajardinadas o en obras civiles disponiéndose como sub-bases de carreteras o relleno de terraplenes.

En función del tipo de obra y el uso posterior del residuo, el tratamiento de trituración será diferente. Por otra parte, el polvo producido en la extracción de piedras puede utilizarse como agregante y conseguir un aspecto pétreo en la fabricación de morteros monocapas, por ejemplo.

También se podría reciclar en elementos de hormigón prefabricados, como vigas, pilares, viguetas, paneles, losas alveolares, tuberías o piezas de mobiliario urbano.

En última instancia se podrían depositar en cubas junto a otros escombros inertes y llevarlos a un vertedero de tierras y escombros.

## **12. Residuos de yeso/escayola**

CER: 17 01 00

Se suelen generar en la fase de revestimientos: guarnecidos y enlucidos. Debe evitarse revestir con yeso elementos de hormigón (pilares, muros, viguetas...) ya que su contenido en sulfato inutiliza a éstos como componentes de un nuevo hormigón. Se deben almacenar en vertederos de escombros.

## **13. Residuos de amianto**

CER: 17 06 05

A pesar de estar prohibido su uso en el sector de la construcción, aún se encuentra formando parte de aislamientos térmicos, en tuberías de calefacción o en

cubiertas. Su manipulación debe estar regulada por un plan de trabajo aprobado por la autoridad laboral competente debido a que es un producto cancerígeno.

Se debe depositar en sacos con doble capa de polipropileno para su evacuación a un gestor autorizado y posterior traslado a vertedero de residuos especiales.

#### **14. Residuos de madera**

CER: 17 02 01

Principalmente proceden de actividades de encofrado, embalaje y transporte de materiales (palés) o restos de carpinterías deterioradas.

En el caso de que lleven algún tratamiento químico han de gestionarse como un residuo especial (CER. 17 02 04).

Se han de eliminar los elementos metálicos (puntillas principalmente) y es conveniente rechazar las infectadas por insectos para garantizar la calidad del residuo. Tiene diferentes posibilidades de valorización, desde la reutilización, hasta el aprovechamiento energético por combustión controlada.

La reutilización del residuo de madera es posible en aquellas maderas duras de calidad y se puede emplear en la fabricación de andamios, vallas y palés. Las maderas blandas, en cambio, se trituran y pueden formar parte del relleno de tableros de viruta aglomerada.

#### **15. Residuos de P.V.C.**

CER: 17 02 03

Se originan en la instalación de tuberías, láminas de impermeabilización de cubiertas y carpinterías.

En general, se ha de almacenar en contenedores especiales para su traslado a gestores autorizados.

Su reciclado es dificultoso, y normalmente se destina a la fabricación de revestimientos de suelos de industrias y garajes y para proteger el cableado eléctrico. Si no se pudiera gestionar así, se debe depositar en vertederos especiales.

## **16. Residuos de policarbonato, polietileno, poliestireno, poliuretano...**

CER: 17 02 03

Se suelen generar en forma de residuos de envases en la construcción de obras de nueva planta. Por tanto en los derribos y obras de demolición apenas se generan. Los plásticos de embalajes se pueden reciclar fácilmente.

Como se suelen generar en el lugar de acopio y suministro de productos, el propio proveedor del material puede recogerlos y reutilizarlos.

Sin embargo existen otros plásticos cuyo reciclado es muy complejo, existiendo como posibilidad última la valorización energética y el vertedero de sobrantes especiales.

En general, los plásticos de construcción no son reciclados por estar muy degradados y contaminados. Por ello sería conveniente disponer en obra una cuba específica para poder retirar estos y hacer más viable su valorización.

## **17. Residuos de vidrio**

CER: 17 02 02

En obra de nueva planta apenas se genera, si acaso rotura de lunas o moldeados por una manipulación incorrecta.

En cualquier caso podría segregarse en un contenedor de vidrio con destino a un gestor final, donde los residuos y restos pueden ser reciclados por fusión simple, lo que requiere un almacenamiento selectivo previo.

## **18. Residuos de caucho**

CER: 16 01 99

En el sector de la construcción no se suele generar este residuo, salvo en algunos productos sellantes, como material de impermeabilización (láminas de EPDM, termopolímero de elastómero propileno dieno monómero) como pavimentos ligeros, etc.).

Se pueden recuperar en plantas de reciclaje como neumáticos, parachoques de automóviles, aislantes del calor y del ruido, etc.

Fundamentalmente se suelen recuperar en el proceso de fabricación de firmes de carreteras.

### **19. Residuos de fibras minerales**

CER: 17 06 04

Son principalmente la fibra de vidrio que se utiliza en accesorios y tuberías de saneamientos, calderería y como aislante.

Las fibras son irritantes para la piel, ojos y mucosas por lo que deben tomarse precauciones al colocarlas y manipularlas.

Se puede efectuar su recogida y almacenamiento selectivos para trasladarlos posteriormente a un gestor de residuos autorizado.

### **20. Zinc**

CER: 14 04 04

Es un metal considerado como peligroso, por lo que se debe efectuar su almacenamiento selectivo y gestión por parte de un gestor autorizado.

Finalmente, respecto al reciclaje, pese a la existencia de plantas recicladoras y el potencial de diferentes residuos para ser reciclados, es importante señalar que el reciclaje de los RCD presenta ciertos inconvenientes como son:

Frente a la reutilización de RCD, el reciclaje requiere de la instalación de industrias de características muy singulares, que sean capaces de reconvertir los residuos en materias primas para la fabricación de otros productos diferentes.

Para esto es necesario realizar fuertes inversiones con escasa rentabilidad económica inicial.

- El nivel de desarrollo de los procesos es bajo.
- El reciclaje viene determinado por las fuerzas del mercado, siendo necesario intervenir a nivel estatal con medidas legales y económicas para regularlo.
- La separación selectiva post demolición puede resultar muy dificultosa, siendo necesario por tanto, una planificación previa de demoliciones selectivas.

- Los precios de los áridos secundarios derivados de los RCD pueden resultar positivos o negativos dependiendo de las circunstancias.
- El sector no ha desarrollado suficientemente estándares para sus productos a nivel europeo, aunque el producto reciclado es de suficiente calidad para un buen número de usos.
- Los consumidores no están motivados para utilizar el material reciclado, en general, debido a problemas de imagen y a veces por la calidad inferior del producto

En el presupuesto, únicamente contemplaremos el reciclado del acero recogido durante el proceso de demolición. El posible precio del traslado de los RCD hacia una empresa donde se lleve a cabo su reciclaje elevaría mucho el presupuesto.

Problemas como el traslado de los RCD hasta plantas de reutilización a relativa distancia, y el precio de los áridos derivados, hacen que descartemos también esta opción.

### **ELIMINACION**

Como última alternativa al destino final de los RCD, debe ser la eliminación en vertedero. De todas las opciones, ésta es la que representa mayor impacto, máxime cuando los residuos no se encuentran clasificados. Además, el vertido cuando es controlado, es una alternativa que sólo proporciona gastos, por lo que debe ser el último recurso en el tratamiento integral de los residuos.

Pueden distinguirse pues, dos tipos de vertidos:

- a) Los vertidos controlados que evitan los efectos contaminantes.

Estos se realizan en depósitos habilitados al efecto, de modo que se garantice lo siguiente:

- Impermeabilidad del suelo.
- Alejamiento de corrientes subterráneas de agua.
- Recogida y tratamiento de los lixiviados antes de ser vertidos a los cauces naturales.
- Enterramiento y cubrición regular de las basuras.

- Evacuación correcta del metano producido por la fermentación de las basuras, para evitar que se produzcan incendios o explosiones.
- b) Los vertidos incontrolados que no los evitan y que ocasionan los siguientes problemas:
- No existe control de la cantidad ni de la calidad de los residuos vertidos.
  - No se realizan separaciones de RCD por lo que se pierden materiales muy aprovechables.
  - Se produce un amontonamiento de residuos que llega a ser muy voluminoso y sirve de refugio para roedores y otro tipo de animales.
  - Se emiten olores desagradables y humos debido a que se prende fuego a los residuos para recuperar los metales.
  - Degradación del paisaje.

Por último, la gestión de la fracción final de RCD resultante mediante su eliminación en vertedero subterráneo de residuos inertes, es, según la información técnica manejada, la única disponible a día de hoy en condiciones económicamente viables.

Aunque en este punto sólo hemos tratado los residuos de construcción y demolición, la única alternativa posible para la gestión de los volúmenes de escorias es también el almacenamiento subterráneo, con el traslado a otro vertedero al aire libre, sólo estaríamos llevando el problema a otro lugar, por lo que el método citado anteriormente es el idóneo.

Según el Anexo I, de la Ley 22/2011, de residuos y suelos contaminados, la operación de eliminación se codificará como D1 (depósito sobre el suelo o en su interior).

### *3.3.3.- Descripción detallada de la solución adoptada*

La solución final adoptada tanto para los residuos de construcción y demolición, como para las escorias del proceso de fundición es su eliminación mediante almacenamiento subterráneo, con el posterior recubrimiento de tierra adecuada para repoblar la zona, en aspecto similar al de las escombreras.

La disposición del primer depósito subterráneo, de RCD, tendrá la localización dentro del recinto que podemos observar en la imagen y en los planos correspondientes. Tendrá  $1.118 \text{ m}^2$  de superficie y 2 m de profundidad, capaz de albergar los  $1.581 \text{ m}^3$  de RCD, donde se instalará un acabado como el de la Figura 21 del apartado 4.6 para impermeabilizar la zona. Posteriormente se recubrirá la zona con tierra adecuada para poder repoblar la zona con especies vegetales autóctonas.



Figura 10: Situación vertedero RCD

La disposición del segundo depósito subterráneo, de escorias de plomo, tendrá la localización dentro del recinto que podemos observar en la imagen y planos correspondientes. Tendrá  $17.756 \text{ m}^2$  de superficie, con el acabado como el de la Figura 22. Será capaz de albergar los  $112.070,25 \text{ m}^3$  de volumen contabilizado de escorias y posteriormente se recubrirá con geotextil y tierra adecuada para la repoblación con especies vegetales autóctonas, similar al de las escombreras.



Figura 11: Situación vertedero escorias

La descripción de las características serán de ambos vertederos será objeto del apartado 4.6 del presente documento.

#### 3.3.4.- Superficies de aplicación

El recinto donde se desarrollará nuestro proyecto contará con 12,65 ha, de las cuales 2,28 ha serán donde se realice la demolición de los residuos inertes de construcción y demolición (RCD), además posteriormente se desbrozará la zona. El vertedero subterráneo donde irán estos inertes tendrá la extensión de 1.118 m<sup>2</sup>, donde se depositarán los RCD y se cubrirán con terreno adecuado para la restauración.



Figura 12: Superficie demolición

Aunque el área donde se sitúan las escorias tiene una extensión de 4,7 ha, éstas se localizan en varios volúmenes de aproximadamente 4-5 metros de altitud, como se mostrará posteriormente en los planos. El vertedero subterráneo donde se depositarán tendrá una superficie de 17.760 m<sup>2</sup>, donde quedarán enterradas las escorias y posteriormente se cubrirán con materiales adecuados para la restauración.



Figura 13: Superficie escorias

## **4.- FASES DEL PROYECTO**

### **4.1.- Replanteo**

Los trabajos de replanteo son todos aquellos que tienen lugar en la fase de planificación y comienzo de una actividad y que se desarrollan en campo para verificar y adaptar la definición geométrica del proyecto a la realidad de los espacios disponibles.

Antes del comienzo de las obras, la constructora realizará el replanteo general sobre el terreno, el cual comprenderá la determinación de los principales elementos incluidos en los planos de replanteo y nivelación; asimismo, se definirán los puntos fijos de nivel y las alineaciones necesarias para que con auxilio de los planos pueda la constructora ejecutar debidamente las obras.

Una vez ejecutado el replanteo, la Dirección de Obra dará su aprobación al mismo, redactando un Acta de replanteo que firmará junto con la constructora, siendo obligación de ésta la custodia y reposición de las señales inamovibles y referencias que se establezcan en el replanteo.

Los replanteos de detalle que se produzcan a lo largo de la obra y sean necesarios para su ejecución deberán ser aprobados por la Dirección de Obra.

La constructora comprobará los niveles del terreno y hará las observaciones que crea conveniente a la Dirección de Obra, en caso de aparecer discrepancias respecto a los planos que muestran el estado del terreno. Estas observaciones se harán necesariamente antes de comenzar las obras y deberán ser aprobadas por la Dirección de Obra. Los planos con las observaciones servirán de base a efectos de medición y abono.

Caso de que la constructora no hiciera las observaciones pertinentes a tales planos, se considerarán aceptados totalmente por su parte.

La constructora será la encargada de realizar el replanteo de los elementos de cimentación, que se deberá realizar con la suficiente precisión y con disposición de elementos fijos y auxiliares adecuados para

determinar la posición, distribución y relación de todos ellos, y controlar su ejecución por la Dirección de Obra.

La constructora controlará la alineación y rasante de todos los trazados lineales indicados en los planos, mediante la utilización de camillas, colocadas sobre la excavación de la zanja, que se espaciarán entre si no más de 10 metros y mediante los puntos de referencia colocados fuera de la zanja excavada.

Todas las cotas exteriores del terreno, de los sucesivos movimientos de tierra y capas de base deben ser controladas por medio de un conjunto de estacas de rasante fácilmente identificables.

#### **4.2.- Demolición**

Los trabajos de demolición de las antiguas instalaciones de la fundición serán explicados con más detenimiento en el Anejo correspondiente al Plan de Demolición.

#### **4.3.- Despeje y Desbroce**

Consiste en la extracción y retirada, en la zona donde se ha producido la demolición de los residuos inertes de construcción, de todos los árboles, tocones, plantas, maleza, broza, escombros, basura o cualquier otro material o elemento que pueda interferir en el posterior desarrollo de las obras para la implantación del parque industrial. En cualquier caso se eliminará la capa vegetal en toda su profundidad o al menos 20 cm de terreno natural.

La superficie que se desbrozará tiene una extensión de 39.000 m<sup>2</sup>, por lo que, de esta manera, desbrozando 20 cm obtenemos un volumen a retirar de 7.800 m<sup>3</sup>, situada al lado de las escorias.

La ejecución de la unidad de obra incluye las siguientes operaciones:

- Preparación de la zona de trabajo
- Situación de los puntos topográficos
- Remoción y acopio de materiales objeto de desbroce

La tierra vegetal deberá ser siempre retirada, excepto cuando vaya a ser mantenida según lo indicado en el Proyecto o por el Jefe de Obra.

#### *4.3.1.- Remoción*

Las operaciones de desbroce se efectuarán con las precauciones necesarias para lograr unas condiciones de seguridad suficientes, de acuerdo con lo que sobre el particular ordene la Dirección de Obra, quien designará y marcará los elementos que haya que conservar intactos, si los hubiese.

Del terreno natural sobre el que ha de asentarse el parque industrial, se eliminarán todos los tocones o raíces con diámetro superior a diez centímetros (10 cm), de tal forma que no quede ninguno dentro del futuro cimiento del relleno.

Todas las oquedades causadas por la extracción de tocones y raíces se rellenarán con material adecuado y se compactarán hasta que la superficie se ajuste a la del terreno existente.

No se trabajará con lluvia, nieve o viento superior a 60 km/h y en caso de imprevistos (terrenos inundados, localización de conducciones, restos de construcciones, etc.), se suspenderán los trabajos y se avisará a la Dirección de Obra.

Se señalarán aquellos elementos, servicios o construcciones que deban conservarse intactos y que puedan resultar afectados por la ejecución de esta unidad.

Todos los pozos, agujeros, que quedan por dentro de la explanación serán arreglados conforme a las instrucciones que al respecto dé la Dirección de Obra.

Los trabajos se realizarán de forma que no se produzcan molestias a los ocupantes de las zonas próximas a la obra.

#### *4.3.2.- Disposición de los materiales*

Los árboles susceptibles de aprovechamiento serán podados y limpiados, luego se cortarán en trozos adecuados y, finalmente, se almacenarán cuidadosamente, a disposición de la Administración y separados de los montones que hayan de ser

quemados o desechados. Salvo indicación en contra del Director de las Obras, la madera no se troceará a longitud inferior a tres metros (3 m).

Todos los productos o subproductos forestales no susceptibles de aprovechamiento serán eliminados según lo que establezca el Proyecto u ordene el Director de las Obras. A falta de otra decisión, estos elementos serán quemados de forma controlada por personal especializado para evitar los daños tanto a la vegetación como a bienes próximos. Al finalizar cada lote el fuego debe quedar completamente apagado.

Los restantes materiales serán utilizados por el Contratista, en la forma y en los lugares que señale el Director de las Obras.

La tierra vegetal procedente del desbroce debe ser dispuesta en su emplazamiento definitivo en el menor intervalo de tiempo posible. En caso de que no sea posible utilizarla directamente, debe guardarse en montones de altura no superior a 2 metros. Debe evitarse que sea sometida al paso de vehículos o a sobrecargas, ni antes de su remoción ni durante su almacenamiento, y los traslados entre puntos deben reducirse al mínimo.

En el caso de enterrar los materiales procedentes del desbroce, estos deben extenderse en capas dispuestas de forma que se reduzca al máximo la formación de huecos. Cada capa debe cubrirse o mezclarse con suelo para rellenar los posibles huecos, y sobre la capa superior deben extenderse al menos treinta centímetros (30 cm) de suelo compactado adecuadamente. Estos materiales no se extenderán en zonas donde se prevean afluencias apreciables de agua.

Si el vertido de materiales se efectúa fuera de la zona de actuación, el Contratista deberá realizar la gestión correspondiente que deberá ser aprobada por el Director de las Obras.

Nuestra zona de vertido de la capa vegetal será justo entre la zona de demolición y la zona donde se sitúan las escorias, de ésta manera se podrá proceder su retirada rápidamente a cargo de una empresa dedicada a tal fin.

#### **4.4.- Excavación y Movimiento de RCD y escorias**

Consiste en el conjunto de operaciones realizadas con medios mecánicos o manuales, para excavar, evacuar y nivelar las zonas a cielo abierto previstas en Proyecto hasta las cotas reflejadas en los planos de nivelación y replanteo, y el consiguiente transporte de los productos removidos al depósito o lugar de empleo.

Las operaciones incluyen la ejecución y refino de los taludes, así como el consiguiente transporte de los productos removidos a depósito o lugar de empleo, aprobado por el Director de la Obra de forma que no obstruya la marcha de las obras.

La ejecución de la unidad de obra incluye las siguientes operaciones:

- Preparación de la zona de trabajo.
- Situación de los puntos topográficos.
- Excavación de la zanja para la colocación del drenaje.
- Excavación de las tierras.
- Acopio del material excavado.

Para la excavación de los dos depósitos subterráneos se utilizarán dos retroexcavadoras, acopiando el material donde corresponda para su posterior utilización.

#### *4.4.1.- Ejecución*

Una vez terminadas las operaciones de desbroce del terreno, se indicarán las obras de excavación, ajustándose a las alineaciones, pendientes, dimensiones y demás información contenida en los planos y a lo que sobre el particular ordene la Dirección de Obra.

Durante la ejecución de los trabajos se tomarán, en cualquier caso, las precauciones adecuadas para no disminuir la resistencia o estabilidad del terreno no excavado. En especial, se atenderá a las características tectónico-estructurales del entorno y a las alteraciones de su drenaje y se adoptarán las medidas necesarias para evitar fenómenos como la inestabilidad de taludes, deslizamientos ocasionados por el descalce del pie de la excavación, taludes provisionales excesivos, etc.

En nuestra obra se empezará con la excavación de 2 metros de profundidad para el depósito subterráneo para los RCD, acopiando el material en las zonas adecuadas para, una vez terminadas las etapas de impermeabilización del subsuelo y vertido de residuos, proceder al vertido de dicho volumen.

Se prevé que el movimiento de los volúmenes de escorias alcance los 112.070,25 m<sup>3</sup>, debido a las dos grandes zonas diferenciadas de escorias.

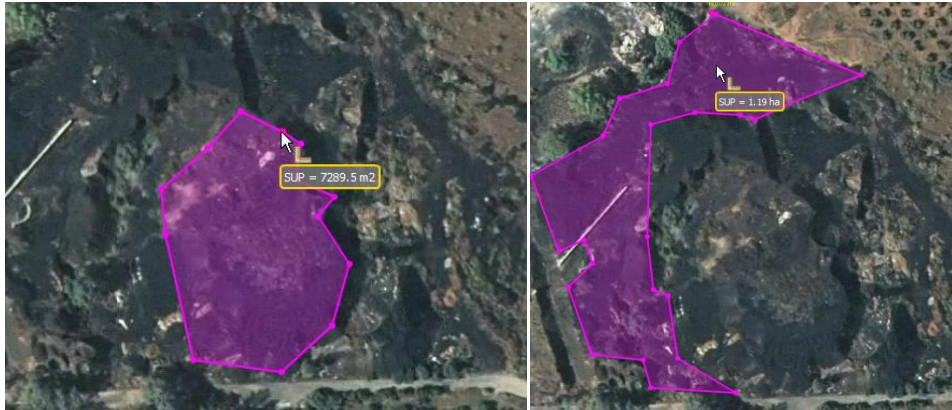


Figura 14: Volúmenes escorias

La situación más compleja del proyecto llegará con la excavación de los 3 metros de profundidad para la zona de vertido subterráneo. Como se podrá comprobar en el apartado dedicado a los almacenamientos subterráneos, la zona de vertido de las escorias contará con una superficie de 17.756 m<sup>2</sup>, por lo que el volumen total que desalojaremos será de 106.482 m<sup>3</sup> acopiándolo en una superficie adecuada para ello. Una vez impermeabilizado el subsuelo, con los correspondientes espesores, se procederá a verter los 112.070,25 m<sup>3</sup>, quedando en el interior del depósito y parte por encima, subiendo en parte el nivel de terreno.

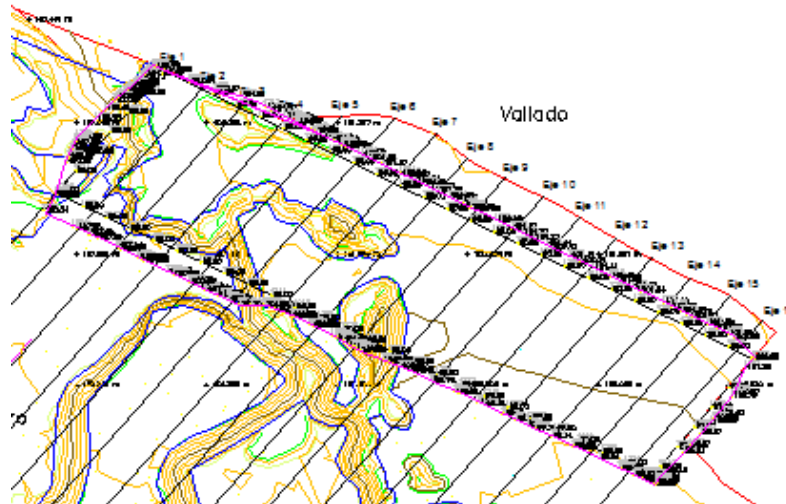


Figura 15: Situación vertedero escorias 2

Si dentro de los límites de las excavaciones indicadas en los planos, aparecen materiales inadecuados, rocas, piedras, cimentaciones, etc. el Contratista estará obligado a excavar por debajo de la rasante, eliminar tales materiales y reemplazarlos por otros adecuados.

El Contratista está obligado al empleo de las entibaciones necesarias para evitar desprendimientos, sin esperar a indicaciones concretas del Director de Obra, siempre que la calidad de los terrenos o la profundidad de la zanja lo aconseje; siendo de su plena responsabilidad la retirada de los desprendimientos que pudieran producirse y los rellenos consiguientes, así como los posibles accidentes laborales que por incumplimiento de lo preceptuado pudieran producirse o hubiera ordenado la representación del Ministerio o Consejería de Trabajo.

Un punto muy importante será el dejar la base de la excavación, donde se depositarán las escorias, con una inclinación del 0,3%, para que si existiera en un futuro lixiviado pudiera ser recogido por el drenaje y ser transportado por gravedad a las ciénagas acondicionadas para ello.

#### 4.4.2.- Taludes

La excavación de los taludes se realizará adecuadamente para no dañar la superficie final, evitar la descompresión prematura o excesiva de su pie e impedir cualquier otra causa que pueda comprometer la estabilidad de la excavación final o construcciones colindantes.

El ángulo de excavación del talud estará de acuerdo con los cálculos de Proyecto, y será verificada su idoneidad con los datos geotécnicos del terreno real. En nuestro caso el ángulo de inclinación será de 45°, suficiente para que no se produzcan deslizamientos con el tipo de terreno que tenemos. En caso de cambio de las características previstas se requerirá un recálculo y el visto bueno de la Dirección de Obra.

Cuando sea preciso adoptar medidas especiales para la protección superficial del talud, tales como bulones, gunitado, plantaciones superficiales, revestimiento, cunetas de guarda, etc., bien porque estén previstas en el proyecto o bien porque sean ordenadas por el Director de Obra, dichos trabajos deberán realizarse inmediatamente después de la excavación del talud.

Cuando se produzca el vertido de escorias, se procurará dar un aspecto a las superficies finales de los taludes, tanto si se recubren con tierra vegetal como si no, que armonice en lo posible con el paisaje natural existente. Si existe transición de desmonte a terraplén se realizará de forma gradual, ajustando y suavizando las pendientes, y adoptándose las medidas de drenaje necesarias para evitar aporte de agua a la base del terraplén.

En el caso de que los taludes presenten desperfectos antes de la recepción definitiva de las obras, la constructora eliminará los materiales desprendidos o movidos, y realizará urgentemente las reparaciones complementarias ordenadas por el Director de Obra. Si dichos desperfectos son imputables a ejecución inadecuada o a incumplimiento de las instrucciones del Director de Obra, la constructora será responsable de los daños ocasionados.

#### **4.5.- Drenaje y tratamiento de lixiviados**

Se tomarán las medidas oportunas con respecto a las características del vertedero y a las condiciones meteorológicas, con objeto de: controlar el agua de las precipitaciones que penetre en el vaso del vertedero; impedir que las aguas superficiales o subterráneas penetren en los residuos vertidos; recoger y controlar las aguas contaminadas y los lixiviados; tratar las aguas contaminadas y los lixiviados recogidos del vertedero de forma que se cumpla la norma adecuada requerida para su vertido, o de forma que se evite su vertido, aplicando técnicas adecuadas para ello.

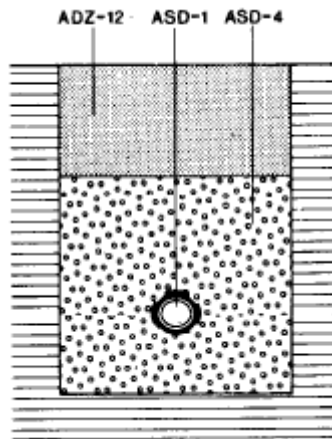


Figura 16: Perfil drenaje

#### 4.5.1.- Colocación del drenaje

Contaremos con un colector principal, que recogerá las pequeñas corrientes de lixiviado y las conducirá a su tratamiento en ciénaga. La longitud del drenaje será de 715,8 metros y estará compuesto por una tubería de drenaje de hormigón de 60 cm de diámetro.



Figura 17: Posición y longitud drenaje lixiviados

La colocación de la tubería se realizará justo entre las etapas de excavación de los depósitos y el vertido de las escorias, más concretamente durante la fase de la

realización de la capa de drenaje. De esta manera, una vez excavados los 3 metros, y colocada la barrera geológica artificial, se procederá a colocar la tubería y posteriormente se recubrirá con una grava filtrante de 40/80 mm de tamaño máximo.

Se aprovecharán las antiguas conducciones, fuera del recinto, para conectar el drenaje nuevo con las ciénagas donde se tratarán los lixiviados. En la imagen se puede observar la salida de una de las tuberías por donde circulaban dichas corrientes.



Figura 18: Antiguo drenaje

#### 4.5.2.- Tratamiento

Durante la duración del proyecto, se llevará lugar el tratamiento de dos estanques de aguas con un gran contenido en lixiviado, procedente del agua que se infiltraba por las escorias, al aire libre, y que arrastraba componentes tan perjudiciales como el plomo y níquel.

Los dos estanques, de 360 y 431 m<sup>2</sup> están conectados, por una antigua red de drenaje por lo que solamente habrá que realizar uno que conecte el colector principal que proviene del almacenamiento subterráneo de las escorias con la futura ciénaga más cercana.



Figura 19: Situación ciénagas de tratamiento

Para el tratamiento de los lixiviados que forman las aguas superficiales se han estudiado diversas posibilidades, principalmente la absorción en materiales orgánicos como algas, cáscaras de semillas e incluso cáscara de plátanos, además de los métodos tradicionales de adsorción en resinas zeolíticas.

Inicialmente las áreas de tratamiento se construirán, donde se ubican las aguas con lixiviado, simulando ciénagas naturales donde dominaban diferentes tipos de musgos como el “*Sphagnum recurvum*” y “*Sphagnum brevifolium*”. La experiencia ganada en el campo ha demostrado que también son muy efectivas las plantas emergentes como son las del género “*Typha*” decir aneas, espadañas y amentos.

La eliminación de metales se produce por diversos procesos: por absorción, especialmente por intercambio iónico, por oxidación debido a las bacterias, por la captación de las plantas como nutrientes, por precipitación como minerales sulfurados en el ambiente del sustrato inferior y por la simple filtración.

Las especies “*Sphagnum*” tienen una gran superficie y son extremadamente eficientes como medio de intercambio iónico y, además, actúan como un buen filtro de las partículas de hidróxido férrico. Las especies “*Typhas*” son muy efectivas a pesar de no tener una gran superficie, ya que son capaces de retener eficazmente hasta 300 ppm de Fe y 200 ppm de Mn en el tejido radicular rizomatoso, y 45 ppm de Fe y 52 ppm de Mn en las hojas. Además, estas plantas emiten a través de sus raíces oxígeno atmosférico y anhídrido carbónico, que favorecen la acción oxidante de las bacterias en el sustrato rico en materia orgánica. También las algas contribuyen a la eliminación de metales.



Figura 20: Typha



Figura 21: Typha 2

Los criterios constructivos de las ciénagas son los siguientes:

- 1) Las dimensiones deben permitir el tratamiento de los caudales de efluentes en cualquier época del año y para las precipitaciones que se produzcan.

- 2) El área mínima debe de ser 300 m<sup>2</sup>.
- 3) Debe minimizarse la velocidad de circulación del agua y maximizar el tiempo de retención en el sistema.
- 4) Mantener láminas de agua entre 10 y 70 cm.
- 5) Proporcionar un suelo óptimo a las plantas hidrolíticas formado por materia orgánica descompuesta con cierto contenido de suelo mineral.
- 6) Disponer de entramados de aneas que cubran aproximadamente el 40% de la superficie total.

#### **4.6.- Almacenamiento subterráneo**

Según el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, y su modificación en el año 2009, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, todo vertedero deberá estar situado y diseñado de forma que cumpla las condiciones necesarias para impedir la contaminación del suelo, de las aguas subterráneas o de las aguas superficiales y garantizar la recogida eficaz de los lixiviados. La protección del suelo, de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales durante la fase activa o de explotación del vertedero se conseguirá mediante la combinación de una barrera geológica y de un revestimiento artificial estanco bajo la masa de residuos.

Existe barrera geológica cuando las condiciones geológicas e hidrogeológicas subyacentes y en las inmediaciones de un vertedero tienen la capacidad de atenuación suficiente para impedir un riesgo potencial para el suelo y las aguas subterráneas.

La base y los lados del vertedero dispondrán de una capa mineral con unas condiciones de permeabilidad y espesor cuyo efecto combinado en materia de protección del suelo, de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales sea por lo menos equivalente al derivado de los requisitos siguientes:

- a) Vertederos para residuos peligrosos:  $k \leq 1,0 \times 10^{-9}$  m/s; espesor  $\geq 5$  m.
- b) Vertederos para residuos no peligrosos:  $k \leq 1,0 \times 10^{-9}$  m/s; espesor  $\geq 1$  m.
- c) Vertederos para residuos inertes:  $k \leq 1,0 \times 10^{-7}$  m/s; espesor  $\geq 1$  m.

(k = coeficiente de permeabilidad; m/s = metro/segundo.)

Cuando la barrera geológica natural no cumpla las condiciones antes mencionadas, podrá complementarse mediante una barrera geológica artificial, que consistirá en una capa mineral de un espesor no inferior a 0,5 metros.

Además de las barreras geológicas anteriormente descritas, deberá añadirse un revestimiento artificial impermeable bajo la masa de residuos y, con el fin de mantener en un mínimo la acumulación de lixiviados en la base del vertedero, un sistema de recogida de lixiviados, de acuerdo con las siguientes condiciones:

Exigencia de revestimiento artificial impermeable y de sistema de recogida de lixiviados bajo la masa de residuos:

Clase de vertedero	Revestimiento artificial impermeable	Sistema de recogida de lixiviados (capa de espesor $\geq$ 0,6 m)
Para residuos no peligrosos	Sí	Sí
Para residuos peligrosos	Sí	Sí

Tabla 3: Exigencias revestimientos

#### 4.6.1.- Almacenamiento de RCD

Como hemos anticipado anteriormente, el depósito subterráneo tendrá una superficie de 1.118 m<sup>2</sup>, que unido a los 2 m aproximadamente, especificado según los perfiles, de profundidad que se excavarán, hacen un total de 2.024,42 m<sup>3</sup> de tierra excavados.

Según el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, los depósitos subterráneos para el almacenamiento de inertes tendrán una base como el que se indica en la imagen.

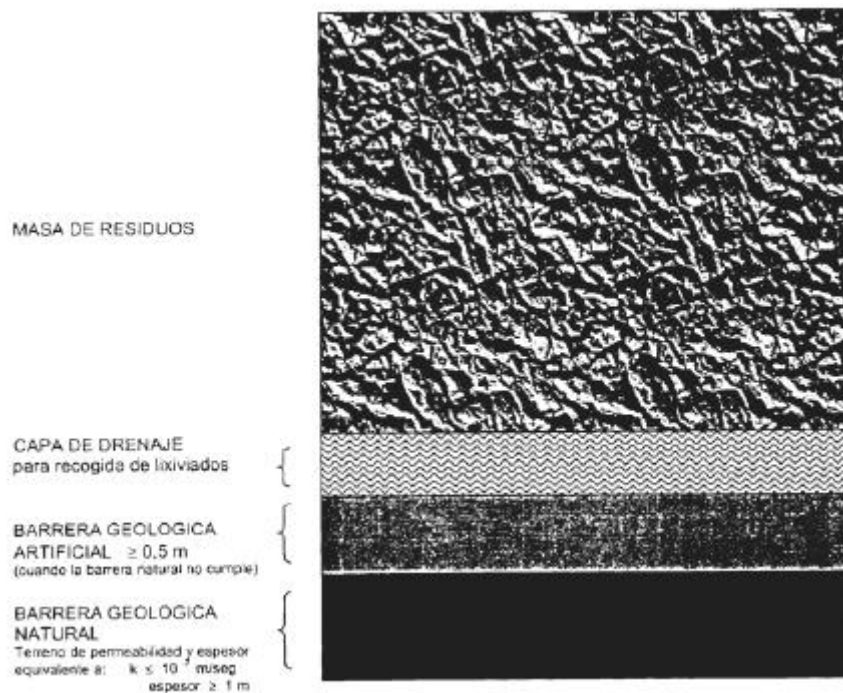


Figura 22: Capas base vertedero RCD

Pasamos a describir nuestros espesores de la base, del más profundo al más superficial:

- **Barrera Geológica Natural:** Nuestra Barrera Geológica Natural será el mismo suelo que queda al descubierto durante la excavación, su espesor cumple será superior al marcado por el Real Decreto para este tipo de residuos, además de tener la capacidad de atenuación suficiente para impedir un riesgo potencial para el suelo y las aguas subterráneas, si las hubiera.
- **Barrera Geológica Artificial:** No será necesario la creación de esta barrera, debido a que en principio nuestra barrera natural cumple las condiciones de espesor y permeabilidad.
- **Capa de drenaje:** No será necesario una capa de drenaje, puesto que para el almacenamiento subterráneo de este tipo de residuos, los inertes, era indispensable que no fomentaran la creación de lixiviado, de manera que al tratarse de residuos de construcción y demolición, tal como hormigón, no se necesitará esta capa.
- **Masa de residuos:** A una profundidad de 2 metros (debido a las ausencias de capa de drenaje y barrera geológica artificial) se situarán los RCD.

- Impermeabilización y Tierra Vegetal: Justo encima de los RCD colocaremos una capa impermeable para evitar las infiltraciones y a continuación la cobertera vegetal para iniciar la repoblación vegetal con especies autóctonas.

#### 4.6.2.- Almacenamiento de escorias

El depósito subterráneo para el vertido de las escorias tendrá una superficie de 17.756 m<sup>2</sup>, que unido a los 4-5 m de profundidad que se excavarán, hacen un total de 106.482 m<sup>3</sup> de tierra excavados.

Según el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, los depósitos subterráneos para el almacenamiento de escorias tendrán una base como el que se indica en la imagen.

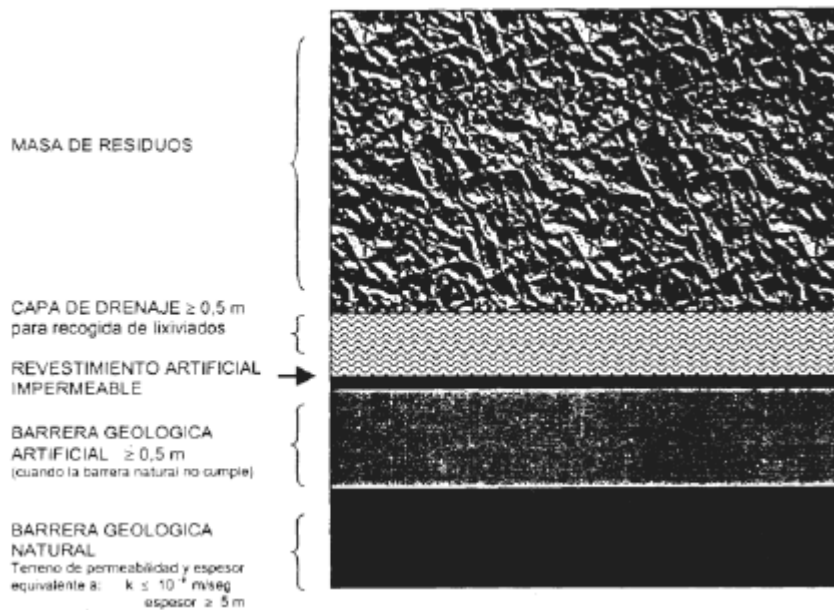


Figura 23: Capas base vertedero escorias

Pasamos a describir nuestros espesores de la base, del más profundo al más superficial:

- Barrera Geológica Natural: Nuestra Barrera Geológica Natural será el mismo suelo que queda al descubierto durante la excavación, su espesor cumple será superior al marcado por el Real Decreto para este tipo de residuos.

- Barrera Geológica Artificial: Como parte del suelo retirado puede tener restos de escorias, a falta de análisis, por precaución, incluiremos la barrera geológica artificial, con un espesor de 0,5 metros. La superficie del emplazamiento será de 17.756 m<sup>2</sup>, multiplicados por el espesor, forman un volumen de 8.878 m<sup>3</sup>.
- Revestimiento Artificial Impermeable: Entre la barrera artificial y la capa de drenaje colocaremos un revestimiento impermeable que actúe de protección por si la capa de drenaje fuera insuficiente. En este caso será un geocompuesto de bentonita de sodio natural tipo Bentomat AS5000.
- Capa de drenaje: Aunque sellaremos por la parte superior los residuos, será necesario una capa de drenaje, puesto que para el almacenamiento subterráneo de este tipo de residuos peligrosos, las escorias, será indispensable la circulación del lixiviado que pueda crearse. El espesor de la capa de drenaje será de 0,5 metros, que multiplicado por la superficie, hacen un volumen de 8.878 m<sup>3</sup>. Constará de una grava filtrate 40/80 mm de tamaño máximo, vertido con la retroexcavadora.
- Masa de residuos: A una profundidad de 2 metros (debido a que las capas de drenaje y barrera geológica artificial tienen un espesor conjunto de 1 metros) se situarán las escorias.
- Impermeabilización y Tierra Vegetal: Justo encima de las escorias de plomo, colocaremos otra capa impermeable para evitar las infiltraciones y a continuación la cobertera vegetal para iniciar la repoblación vegetal con especies autóctonas.

Salvando las diferencias y respetando los espesores, nuestro depósito debería quedar parecido al de la imagen para el posterior vertido de las escorias.



Figura 24: Ejemplo situación final impermeabilización

#### 4.7.- Terminación y refino de superficies

Este apartado consiste en la extensión en tongadas de las escorias, en zonas de extensión tal que permita la utilización de maquinaria de elevado rendimiento. Se incluyen las operaciones siguientes:

- Extensión de las escorias
- Recubrimiento de las escorias

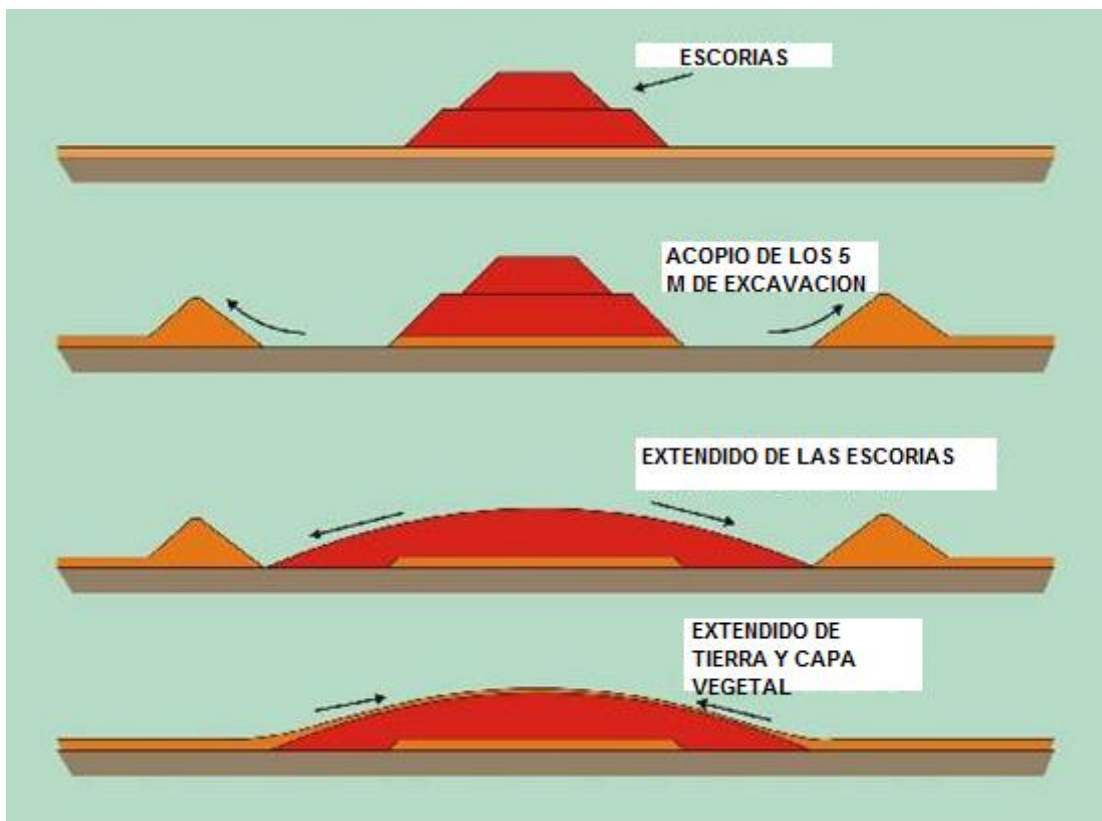


Figura 25: Terminación superficies escorias

##### 4.7.1.- Condiciones generales

Habrán puntos fijos de referencia, exteriores a la zona de trabajo, a los cuales se referirán todas las lecturas topográficas.

Las zonas que por su forma, pudieran retener agua en su superficie, serán corregidas inmediatamente por el Contratista.

Se mantendrán las pendientes y dispositivos de desagüe necesarios para evitar inundaciones.

Se evitará el paso de vehículos, solamente de maquinaria adecuada para el extendido, por encima de las capas en ejecución.

#### *4.7.2.- Extendido de las escorias*

Una vez vertidas las escorias en el depósito excavado para ello, se procederá al extendido de las mismas para su emplazamiento subterráneo y posterior recubrimiento. Las operaciones encaminadas a tal objeto serán indicadas por el Director de las Obras.

Para realizar el extendido, será necesaria la ayuda de la retroexcavadora, para bajar reducir el nivel de los acopios y facilitar la tarea de extendido al bulldozer.

#### *4.7.3.- Recubrimiento de los RCD y escorias*

Una vez vertidas tanto las escorias de plomo como los residuos de construcción y demolición, con el objetivo de impedir la entrada de agua con la consiguiente generación de lixiviados, se montará un paquete de geosintéticos compuesto por 3 capas en toda la superficie. Además de dicho recubrimiento, se colocará otro con tierra adecuada para la repoblación vegetal.

- ✚ Manta bentonítica, de 5,0 kg/m<sup>2</sup>, con una superficie total de 18.874 m<sup>2</sup>, es decir, 17.756 m<sup>2</sup> para las escorias y 1.118 m<sup>2</sup> para los RCD.
- ✚ Lámina de polietileno de alta densidad de 2 mm, con una superficie total de 18.874 m<sup>2</sup>.
- ✚ Geomalla de refuerzo de 80 kN/m, con una superficie total de 17.756 m<sup>2</sup>.

#### **4.8.- Labores de reforestación**

Por último, se procederá a la regeneración de la cubierta vegetal de las zonas remodeladas mediante la siembra mecánica en la plataforma superior de diferentes especies arbustivas.

La revegetación se realizará con especies autóctonas como el sauce, en las zonas colindantes con la carretera que da acceso al recinto y que no han sido objeto de vertido de ningún tipo de residuo, debido a que en un futuro las raíces de dichas especies podrían crear problemas al incidir tanto en el interior de la tierra. Para esas zonas problemáticas, se eligen especies de rápido crecimiento que disminuyan la erosión durante las etapas iniciales y acondicionen el terreno, como pueden ser el césped y el matorral mediterráneo.

La cubierta vegetal, además de cumplir las funciones de integración paisajística de la estructura en el entorno y de la disminución de los procesos erosivos y contaminantes, actuará como reguladora de temperatura, ya que la cubierta vegetal permite una mayor evapotranspiración, consumiendo calor latente del suelo y por lo tanto enfriándolo.

#### 4.8.1.- Elección de especies

Las especies a emplear deberán responder individual o colectivamente, en la medida de lo posible, a los siguientes criterios:

- Deben adecuarse a los objetivos propuestos, permitiendo la recuperación de su vegetación potencial y real para su uso forestal.
- Deben adecuarse a las características del medio (temperatura, precipitación, suelos, etc...).
- Deben tener bajas a moderadas exigencias de mantenimiento.
- Deben poder adquirirse en viveros especializados (en su caso recolectadas).
- Deben servir como freno ante fenómenos erosivos.

Nuestra elección será:

Propuesta de especies para la Restauración	
Estratos	Nombre Común
Estrato arbóreo y arbustivo	Césped

Estrato arbóreo y arbustivo	Matorral Mediterráneo
Estrato arbóreo y arbustivo	Sauces

Tabla 4: Propuestas especies restauración

Las características básicas de algunos de los árboles y arbustos a plantar, son:

- ✓ CESPED: Se da el nombre de césped, grama, hierba o pasto a una docena de especies de gramíneas (familia *Poaceae*) que crecen formando una cubierta densa. Se utilizan como plantas ornamentales en prados y jardines o como terreno para la práctica de diversos deportes y actividades recreativas.
- ✓ MATORRAL MEDITERRANEO: El bosque mediterráneo, también conocido como matorral mediterráneo y durisilva, es un bioma de bosques y matorrales que se desarrolla en regiones con clima mediterráneo, caracterizado por inviernos templados, veranos secos, otoños y primaveras con abundantes precipitaciones, además de frecuentes incendios forestales a los cuales la vegetación está adaptada.
- ✓ SAUCES: Todos los sauces tienen la corteza acuosa; la madera es dura, flexible y normalmente suave. Poseen esbeltas y fibrosas ramas y a menudo raíces estoloníferas, cuyas características más notables son su dureza, largura y resistencia. También desarrollan fácilmente raíces aéreas. Las hojas son típicamente elongadas, aunque también pueden ser redondas u ovals, con frecuencia de bordes serrados (en forma de sierra). La mayoría de las especies son caducifolias o semiperennes. Son plantas dioicas (flores masculinas y femeninas en diferentes plantas). Los amentos surgen a principios de la primavera, a menudo antes que las hojas o al mismo tiempo.

#### 4.9.- Organización de la restauración

La restauración es una acción beneficiosa para el territorio y con repercusión social, sin embargo no genera beneficio económico a la empresa encargada de realizarla, por lo que se tiende a organizarla de la forma más económica posible para cumplir los objetivos previstos.

Las características que han de regir toda organización de una restauración, serán:

- Ser sencilla.
- Centralizar la autoridad y la responsabilidad en un jefe de restauración.

Si bien cada restauración es diferente, se puede seguir unos puntos básicos en todas para su desarrollo:

- Organización en planta: Se debe determinar el emplazamiento de cada elemento auxiliar necesario y la especialización de los materiales.
- Determinación de las cantidades de materiales a emplear en la restauración y su ritmo de compra.
- Determinación de la mano de obra necesaria.
- Determinación de las obras a contratar con empresas exteriores.
- Instalaciones de obra provisionales.
- Maquinaria a emplear.
- Establecimiento de un programa de ejecución de restauración.

#### **4.10.- Labores de mantenimiento**

Dado que la humedad del suelo es uno de los factores críticos en el éxito de las plantaciones, con objeto de favorecer el establecimiento de las mismas se dará un primer riego con 15 litros/planta en la plantación. Puede realizarse mediante camión cuba o similar. No estima riegos para las siembras dado que se hará coincidir con el inicio de la época de lluvias, cuando el suelo se encuentre en tempero adecuado.

Con objeto de evitar la sequedad del suelo durante el periodo seco siguiente a la plantación, y favorecer el éxito de las mismas, se darán riegos con 150 cm<sup>3</sup>/planta cada 15 días, desde el 1 de junio al 1 de septiembre, por lo que serán un total de 6 riegos de mantenimiento. Puede realizarse mediante mochila.

En el segundo año, se evaluará la conveniencia o no de establecer riegos durante el periodo seco, en función del desarrollo de la plantación y de las condiciones meteorológicas.

Solo en caso de condiciones climáticas adversas (sequia), o cuando el seguimiento de la forestación ponga de manifiesto la falta de humedad en el suelo con

peligro de supervivencia para las especies, se darán riegos auxiliares de emergencia, con frecuencia y dosis que se establecerán en su momento según las condiciones hídricas de la plantación.

Con objeto de evitar la competencia por la luz y los nutrientes con otras plantas, especialmente herbáceas, se procederá a su desbroce mediante cavado con una azada sobre una superficie aproximada de 1 m de diámetro alrededor de la planta. Durante esta operación se evitara afectar plantas con acción nodriza (aulagas, torvisco, etc.). Se efectuara una escarda antes del inicio del periodo seco, en los dos primeros años desde la plantación.

El realce o aporcado consiste en aportar tierra a la planta o del tubo protector, de forma manual mediante azada, evitando de este modo posibles descalces o huecos alrededor del cuello de la raíz por el movimiento oscilatorio del tallo de la planta sobre un terreno recientemente movido durante los fuertes vientos, o descalces del tubo protector, con el consiguiente riesgo de desecación por “efecto chimenea”. Será realizado un aporcado durante el primer año desde la plantación.

La poda de formación es un tratamiento cultural mediante el cual se busca que el árbol tenga el porte más adecuado para su desarrollo y objetivos. Se considera una poda de formación sobre las encinas y olmos a plantar. No se considera necesario la poda de formación sobre las especies arbustivas. La poda podrá ser llevada a cabo una vez se hayan retirado los tubos protectores, por lo que será realizada a partir de los 5 años desde su plantación. En la poda, con objeto que el árbol crezca en altura, se eliminarán las ramas bajas y los chupones de la cepa. También se suprimirán las dobles guías y se cortarán las puntas de las ramas laterales de gran desarrollo próximas a la guía principal. Se llevara a cabo mediante herramienta manual durante la parada vegetativa, es decir, en los meses de invierno, preferiblemente a mediados de la estación.

Por último, deben contemplarse otras actuaciones de restauración, no previstas o proyectadas (desagüe transversal al camino de acceso, formación de fajinas, vallados, sistemas de riegos, adecuación de pequeñas charcas, etc.), para las que se hace una reserva presupuestaria adecuada.

## BIBLIOGRAFÍA

- INGENIERÍA GEOAMBIENTAL. MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA. Manual de restauración de terrenos y EIA en minería. SERIE
- EDUARDO MARTÍNEZ. Rehabilitación de la escombrera del cerco de San Teodoro en Almadén.
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.
- Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición
- [www.wikipedia.es](http://www.wikipedia.es)
- <http://www.uclm.es/users/higueras/mam/MAM8.htm>
- [https://www.larioja.org/npRioja/cache/documents/452271\\_6\\_desarrollo\\_practico.pdf;jsessionid=01F6032E0D3353CFE09187FACB227483.jvm1](https://www.larioja.org/npRioja/cache/documents/452271_6_desarrollo_practico.pdf;jsessionid=01F6032E0D3353CFE09187FACB227483.jvm1)