



## TÍTULO

**GESTIÓN DE RESIDUOS PROCEDENTES DE LA CONSTRUCCIÓN Y  
DEMOLICIÓN (RCD) Y PLAN DE RESTAURACIÓN DE LA  
CANTERA “PALITO HINCADO”, RSA No. 347 T. M.  
ALCALÁ DE GUADAÍRA (SEVILLA)**

## AUTORA

**María Camila Veloza Aldana**

<b>Tutor</b>	<b>Esta edición electrónica ha sido realizada en 2023</b>
<b>Instituciones</b>	Dr. D. Francisco Javier González Márquez
<b>Curso</b>	Universidad Internacional de Andalucía; Universidad de Huelva
©	<i>Máster en Tecnología ambiental (2021-2022)</i>
©	María Camila Veloza Aldana
<b>Fecha documento</b>	De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
	2022



**Atribución-NoComercial-SinDerivadas  
4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)**

Para más información:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>



**GESTIÓN DE RESIDUOS PROCEDENTES DE LA  
CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) Y PLAN DE  
RESTAURACIÓN DE LA CANTERA “PALITO  
HINCADO”, RSA No. 347 T. M. ALCALÁ DE  
GUADAÍRA (SEVILLA)**

María Camila Veloza Aldana

Trabajo entregado para la obtención del grado de **MÁSTER EN  
TECNOLOGÍA AMBIENTAL**

Modalidad: Profesional

Septiembre / 2022

Directores:

Dr. Francisco Javier González Márquez



**Francisco Javier González Márquez**, DNI: y cargo Jefe del Departamento de Minas, de la Junta de Andalucía en Sevilla, y profesor del Máster en Tecnología Ambiental de la Universidad de Huelva.

### **INFORMAN:**

Que el trabajo titulado “**Gestión de residuos procedentes de la construcción y demolición (RCD) y Plan de Restauración de la cantera “Palito Hincado”, RSA No. 347, T. M. Alcalá de Guadaíra (Sevilla)**” presentado por **D. María Camila Veloza Aldana, con Pasaporte:** , ha sido realizado en bajo mi dirección, y AUTORIZO su presentación y defensa como **Trabajo Fin de Máster** (Modalidad: profesional), para el Máster Universitario en Tecnología Ambiental de la Universidad de Huelva.

En Huelva, a 19 de septiembre de 2022

Fdo.: Francisco Javier González Márquez



## RESUMEN

El proyecto de ampliación de la explotación minera de la cantera “Palito Hincado”, ubicado en Alcalá de Guadaíra, Sevilla, tiene como principal objetivo la explotación del recurso minero, la restauración del hueco con minero con fracciones no vendibles y la instalación de una planta de gestión, valorización y/o reciclaje y almacenamiento de residuos procedentes de la construcción y la demolición RCD.

Se prevé que de allí serán explotados diferentes clases de alberos, y, así mismo, se espera que a la planta lleguen RCD de la región para su tratamiento y disposición. Una vez tratados los RCD, estos se clasificarán en fracciones vendibles, reutilizables, residuos peligrosos y/o tóxicos y residuos inertes y/o fracciones no vendibles.

Las fracciones no vendibles se pueden usar para el relleno del hueco minero en su fase de restauración que, en este caso, se realizará simultáneamente con la fase de explotación. Lo que se pretende determinar con el presente Trabajo de Fin de Máster, es la idoneidad del hueco minero para su relleno con RCD, de acuerdo con los parámetros, condiciones y recomendaciones establecidas por el Ministerio para la Transición Ecológica de España (2018). En la *Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de la construcción y la demolición (RCD)*.

Palabras clave: RCD, hueco minero, restauración, valorización, cantera “Palito Hincado”

## **ABSTRACT**

The main objective of the project to expand the mining exploitation of the "Palito Hincado" quarry, located in Alcalá de Guadaíra, Seville, is the exploitation of the mining resource, the restoration of the mining shaft with non-saleable fractions and the installation of a plant for the management, recovery and/or recycling and storage of construction and demolition waste (CDW).

It is expected that different types of soil will be exploited, and it is also expected that CDW from the region will arrive at the plant for treatment and disposal. Once the CDW has been treated, it will be classified into saleable fractions, reusable fractions, hazardous and/or toxic waste, and inert waste and/or non-saleable fractions.

The unsaleable fractions can be used for the backfilling of the mine shaft in its restoration phase, which, in this case, will be carried out simultaneously with the exploitation phase. What is intended to be determined with this Master's Thesis is the suitability of the mining shaft for backfilling with CDW, according to the parameters, conditions and recommendations established by the Spanish Ministry for Ecological Transition (2018). In the Guide for the rehabilitation of mining voids with construction and demolition waste (CDW).

Keywords: CDW, mining void, restoration, valorization, quarry "Palito Hincado"



<b>ÍNDICE</b>	<b>Página</b>
Resumen	V
Abstract	VI
1. Introducción	1
1.1 Estado del arte	1
1.1.1 Situación actual de la planta de gestión, valorización y/o reciclado de RCD, y de la actividad de extracción minera en la cantera "Palito Hincado"	1
1.2 Aspectos relevantes	21
1.2.1 Problemática	22
1.3 Objetivos	22
1.3.1 Objetivo general	22
1.3.2 Objetivos específicos	22
2. Materiales y métodos	23
3. Resultados	25
3.1 Rehabilitación de huecos mineros con RCD	25
3.2 Idoneidad del hueco minero de la cantera Palito Hincado para su relleno con RCD	58
3.2.1 Tipología del hueco minero	58
3.2.2 Cumplimiento de los criterios de selección de huecos mineros para su rehabilitación con RCD	58
3.2.3 evaluación de los criterios de exclusión de huecos mineros para su rehabilitación con RCD	59
3.2.4 Idoneidad potencial del hueco minero para su relleno con RCD	59
3.2.5 Índice de idoneidad del hueco minero para su relleno con RCD	59
3.2.6 Tipo de RCD recomendado para el relleno del hueco minero	60
4. Conclusiones	62
5. Referencias	64

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Estado del arte

A partir del alcance del presente Trabajo de Fin de Máster (TFM), se realizará el estado del arte considerando los siguientes factores: el estado actual del proyecto de la planta de gestión, valorización y/o reciclaje y almacenamiento de RCD, la explotación minera de la cantera “Palito Hincado”, legislación, la normativa y los protocolos vigentes y aplicables en la Unión Europea, en España, en la Comunidad Autónoma de Andalucía y en la ciudad de Alcalá de Guadaíra, en la gestión de residuos procedentes de la construcción y la demolición; así como los factores a tener en cuenta para rehabilitación de los huecos mineros con RCD

### 1.1.1 Situación actual de la planta de gestión, valorización y/o reciclado de RCD, y de la actividad de extracción minera en la cantera “Palito Hincado”

El proyecto denominado *Ampliación de Explotación Minera Cantera “Palito Hincado” RSA No. 347*, cuyo promotor es la empresa Hermanos Salguero Marín S. L., tiene por objetivo la explotación del recurso minero, la restauración del hueco con minero con fracciones no vendibles y la instalación de una planta de gestión, valorización y/o reciclaje y almacenamiento de residuos procedentes de la construcción y la demolición RCD.

Por tanto, el proyecto se rige bajo la Ley 7/2007, de la Comunidad Autónoma de Andalucía, sobre la Gestión Integrada de Calidad Ambiental, según la cual las actividades de extracción minera y de la planta de gestión de residuos RCD, requieren de una Autorización Ambiental Unificada (AAU) para su funcionamiento.

El proyecto de ampliación está ubicado en el Término Municipal de Alcalá de Guadaíra, en la Provincia de Sevilla, en las siguientes parcelas catastrales:

- Polígono 12, parcela 112, (41004A012001120000ID), con un área total de 45,475 m<sup>2</sup>, finca registral No. 13,400.
- Polígono 12, parcela 53, (41004A012000530000IJ), parte sur, con un área de 20,688 m<sup>2</sup>, finca registral No. 4273/06.
- DS LAPILLA\_LA2 (0962202TG5306S0000DX), con un área de 68,616 m<sup>2</sup>, finca registral No. 1891/04 1574 y 8413.

El área total del proyecto es de 134,779 m<sup>2</sup>, lo que serían 13.48 ha aproximadamente.



Figura 1. Localización del polígono 12, T. M. Alcalá de Guadaíra. Fuente: [www1.sedecatastro.gob.es](http://www1.sedecatastro.gob.es)



**Figura 2. Localización de parcelas 112 (1), 53 (2) y DS LAPILLA\_LA2 (3). Fuente: [www1.sedecatastro.gob.es](http://www1.sedecatastro.gob.es)**

El proyecto tendrá dos actividades principales: la explotación minera de la cantera y la planta de gestión de residuos RCD.

La explotación minera está compuesta por varias fases, entre las que se pueden diferenciar:

### **1. Desmonte y la preparación de los frentes**

El desmonte y preparación de los frentes consiste básicamente en remover la capa vegetal del suelo, cuyo espesor es de 50 cm aproximadamente. Además, se procederá a la demolición de la nave industrial, que tiene una superficie total de 3,674 m<sup>2</sup>, y que está ubicada en la parcela DS LAPILLA\_LA2. La tierra vegetal que se extraiga durante esta fase, será llevada a un acopio, dentro del mismo recinto, y será usada en la restauración del hueco minero.

### **2. Arranque**

El arranque es la explotación de los áridos de la cantera en sí, y se realizará empleando maquinaria pesada para minería, retroexcavadoras y bulldozer. El albero pasará por un proceso de molienda y clasificación empleando una planta móvil. El albero debidamente clasificado, será llevado al espacio que se disponga para su acopio para luego ser comercializado. De esta actividad se obtendrá:

- Albero fino. Árido 0/5.
- Albero cernido.
- Albero garbancillo.
- Albero grancilla.
- Albero rama.

Y, tendrán las siguientes aplicaciones o usos:

- Subbase de firmes flexibles de obras de infraestructura de comunicaciones.
- Subbase para obra civil y viviendas.
- Parques, jardines, plazas de toros y ferias.
- Albero clasificado mezclado con cal viva para estabilización de suelos.
- Bloques orrefabricados a partir del prensado de albero fino.
- Fabricación de morteros mezclados con cal viva o hidróxido de cal.

La duración total de la actividad de explotación y restauración será de 50 años, 49 años serán exclusivamente para la explotación, en la que se espera una producción anual aproximada de 20,489 m<sup>3</sup>. El último año será exclusivamente al relleno y restauración de hueco minero.

### 3. Carga y transporte

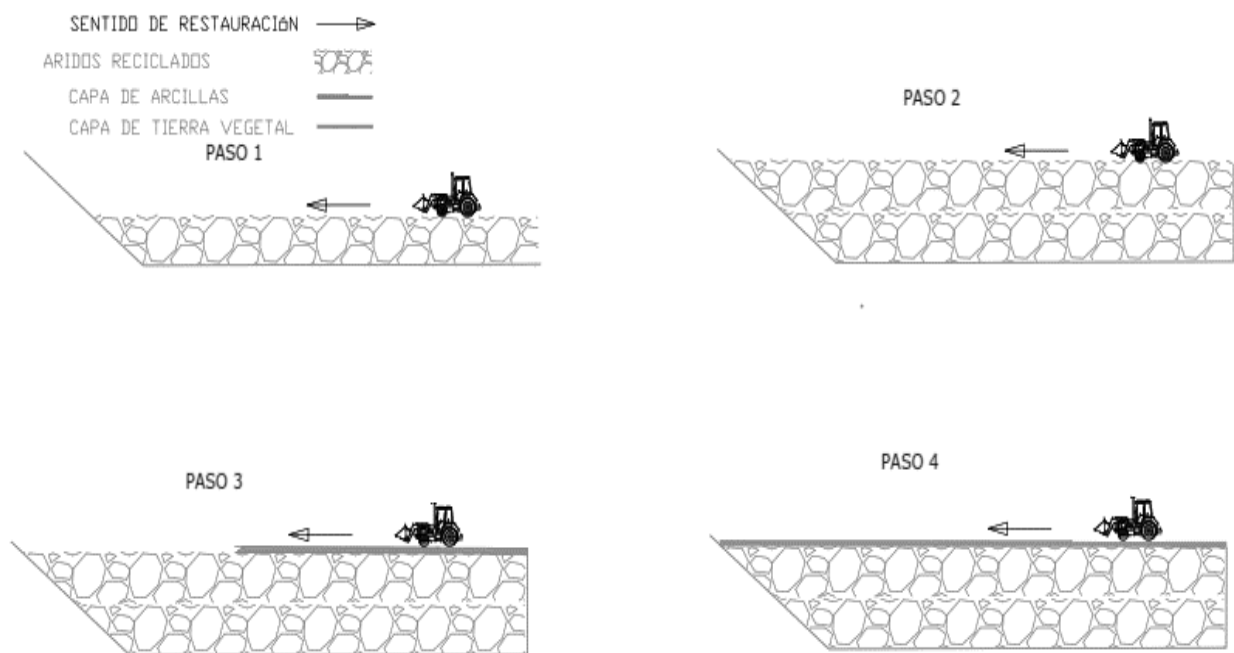
La fase de carga y transporte se realiza simultáneamente con la fase de arranque. Luego de que se arranque el albero, se hará su molienda y clasificación en una planta móvil. La alimentación de esta se realizará con una máquina cargadora o retroexcavadora en este mismo frente.

Desde la planta móvil, se alimentará directamente la tolva de la criba. Y, cuando se obtenga el albero debidamente clasificado, este se llevará al punto de acopio, para poder ser comercializado.

### 4. Restauración y relleno

La restauración y relleno de la zona afectada por la explotación se realizará con materiales procedentes de la planta de gestión de residuos que no sean aptos para la venta. Esto implica que esta fase se pretende desarrollar simultáneamente con la explotación. Es decir, el material de relleno se irá depositando en las zonas que han sido extraídas en su totalidad, mientras se realiza la explotación en las demás zonas.

En general, el relleno se hará en cuatro pasos, primero se colocará una capa de un espesor de 50 cm de material de baja permeabilidad, como la arcilla, sobre el fondo del hueco minero y los taludes; luego, una capa de áridos, seguida por una capa de tierra vegetal en los últimos 30 cm del hueco (figura 3).



**Figura 3. Relleno del hueco minero. Fuente: plano de detalle de relleno de hueco minero, Hermanos Salguero Marín (2018)**

Para las fases de desmonte, arranque, carga y transporte, se tiene proyectado el uso de la maquinaria especificada en la tabla 1:

**Tabla 1. Maquinaria a usar en el desmonte, arranque, carga y transporte**

<b>NOMBRE</b>	<b>REFERENCIA</b>	<b>CANTIDAD</b>
Retroexcavadora	CATERPILLAR 330 BL	1
Bulldozer	KOMATSU D475 A-5	1
Pala cargadora	CATERPILLAR 980G	1
Camión carrillero	MERCEDES 3341	1

Para el diseño de la explotación minera se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros geométricos:

- Banco: escalón que se encuentra entre dos niveles, y que constituye la porción que se va a explotar del mineral objeto de la excavación, entre puntos previamente establecidos. En la explotación minera, la cota inferior es 75 m y la cota superior es 95 m, en las zonas más desfavorables la altura máxima será del hueco minero será de 2 m.
- Altura de banco: distancia vertical entre la parte inferior y la parte superior del banco. La altura máxima de cada banco será de 10 m, por lo que se tendrá un máximo de dos bancos.
- Talud de banco: ángulo que se forma entre la horizontal y la línea de máxima pendiente de la cara del banco. El talud de los bancos estará entre 72° y 80°.
- Talud de trabajo: pendiente provisional de excavación, que será de más o menos 30°.
- Límites finales de la explotación: puntos establecidos hasta donde se realizará la excavación. Esto incluye el límite vertical y los límites laterales. Para el fondo final de la explotación, se realizará una explanación en el terreno a una cota 85 m, en la parte norte de la explotación, con pendientes moderadas desde la parcela 53, hacia la parte sur de la parcela 112, terminando en la cota 80 m.
- Talud final de explotación: ángulo del talud delimitado por la horizontal y la línea que une la parte la base del banco inferior con la cabeza del banco superior. Este talud oscilará entre los 66° y los 80°. En zona donde se localiza el tocón poste eléctrico el talud final de explotación será de 45°.
- Berma: plataforma horizontal existente dentro de los límites de la excavación, que brindan mayor estabilidad a los taludes y aumentan la seguridad ante posibles deslizamientos o caídas de material. Entre el primer y el segundo banco, la berma será de 5 m, y se construirá en los puntos donde se considere necesario. En la zona del tocón de poste eléctrico se dejará una franja sin explotar de 20 m de ancho.

La planta móvil utilizada para la molienda y clasificación del material a extraer de la cantera, será de la marca *POWERSCREEN*, o similar, compuesta por un molino y una criba de las siguientes características:

**Tabla 2. Características del molino**

<b>MOLINO TRAKPACTOR XH500</b>	
<b>ELEMENTO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
TOLVA	Dimensiones: 1620 mm x 4960 mm. Capacidad: 7 m <sup>3</sup> . Fabricado con hardox de alta resistencia. Laterales con plegado hidráulico.
ALIMENTADOR	Cama vibrante Dimensiones: 4260 mm x 1380 mm. Precribador tipo grizzly con escalón. Alimentación de velocidad regulable.
CINTA DE PRECRIBADO	Banda de 800 mm de tres capas. Altura de descarga de 3600 mm. Cinta con plegado hidráulico. Fácil centralización de banda.
MOLINO	Boca: 1360 mm x 815 mm. Diámetro del rotor: 1200 mm. Ancho del rotor: 1340 mm. Velocidad del rotor: 34-44 m/s (540 - 630 rpm). Tamaño de alimentación: hasta 600 mm. Peso del molino: 14,855 kg. Dos pantallas de choque con ajuste hidráulico. Apertura del molino hidráulica. Rotor de cuatro barras (reversibles). Alto rendimiento de paso y excelente capacidad de reducción. Transmisión directa del motor con embrague hidráulica HFO. Plataforma de acceso para mantenimiento y acción. Lubricación por engrasadores.
ALIMENTADOR INFERIOR	Alimentador vibrante. Montado sobre muelles con motores vibrantes. Dimensiones: 2500 mm x 1100 mm Distancia desde el rotor hasta la base: 450 mm. Suelo de chapa anti desgaste "Hardox 400" de 20 mm, cambiable. Laterales de chapa anti desgaste "Hardox 400" de 8 mm cambiable.
CINTA PRINCIPAL	Banda de 1200 mm Banda tipo EP630/4 con cubrimiento superior de 6 mm y cubrimiento inferior de 2 mm Cama de impacto debajo del molino Fácil centralización de la banda Equipo de duchas para supresión del polvo Altura de descarga de 4180 mm
MOTOR	Motor CATERPILLAR C13 TIER ACERT 328 kW-440 CV a 180 rpm. Posibilidad de variar las revoluciones entre 1800 y 2100 rpm. Embrague hidráulico con autoajuste. Sistema de seguridad de motor. Capacidad de tanque de Gasoil de 760 L. Prefiltro de aire "Turbo Cleaner"
TREN DE RODAJE	Ancho: 500 mm. Centros: 4200 mm. Dos velocidades: 0.3 km/h y 0.9 km/h

GENERAL	<p>Banda magnética para la cinta principal.  Control umbilical para movimiento de la máquina.  Control remoto.  Cuarto de mandos de fácil acceso.  Fácil engrasamiento a todos los rodamientos.  Altura para trabajo: 4120 mm.  Altura para transporte: 3800 mm.  Longitud para trabajo: 17060 mm.  Longitud para transporte: 17280 mm.  Ancho para trabajo: 7000 mm, incluida la cinta lateral.  Ancho para transporte: 3000 mm.  Peso de la máquina: 52 T.</p>
---------	--

**Tabla 3. Características de la criba.**

<b>CRIBA TURBO CHIEFTAIN 2100 X</b>	
<b>ELEMENTO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
TOLVA	<p>Parrilla de 4.30 m x 1.80 m y una apertura de 100 mm.  Barrotes de acero "Bofor" para máxima resistencia.  Sistema hidráulica para limpieza con mando a distancia.  Laterales plegables para transporte.  Faldón de goma en parte trasera para evitar escape de material.  Capacidad: 8 m3.</p>
ALIMENTADOR	<p>Banda de 1200 mm.  Velocidad de banda ajustable.  Rodillos de diámetro de 102 mm.  Rodillos de retorno de disco con diámetro de 152 mm.  Limpiador de banda autorregulable.  Fácil centralización de banda.</p>
CINTA PRINCIPAL	<p>Banda de 1050 mm.  Cinta totalmente cubierta y con sellados laterales.  Rodillos de diámetro de 102 mm.  Rodillos de retorno de disco de diámetro 152 mm.  Fácil centralización de banda.  Limpiador de banda autorregulable.  Inclinación y posición de cinta ajuste hidráulica.</p>
CAJA DE CRIBA	<p>Caja de dos o tres pisos.  6.10 m x 1.55 m en piso superior y piso medio.  Malla de impacto en parte superior de criba, y en cada piso cinco mallas.  Piso inferior de 5.50 m x 1.55.  Dos mallas de cribado en piso inferior.  Laterales de chapa de 8 mm.  Sistema de fijación "Huckbolt" evitando debilidad de la estructura por soldaduras.  Malla de impacto en parte superior de criba.  Opción de malla cuadrada o de arpa.  Mallas tensadas hidráulico.  Inclinación de la caja con ajuste hidráulico.  Acción positiva de cribado.  Amplitud de cribado regulable según el material a cribar.</p>

CINTAS LATERALES	Banda de 800 mm, nervada. Plegado hidráulico para transporte. Velocidad de bandas regulables independiente. Rodillos de diámetro de 102 mm. Rodillos de retorno de disco de diámetro de 152 mm. Fácil centralización de la banda. Altura de acopio de 5.04 m.
CINTA AUXILIAR	Banda de 650 mm, nervada. Plegado hidráulico para transporte. Velocidad de banda regulable. Rodillos de diámetro de 102 mm. Rodillos de retorno de disco de diámetro de 152 mm. Fácil centralización de la banda.
MOTOR	CATERPILLAR C4.4 ATAAC ACERT- 4 Cilindro 97 kW/ 130CV. Totalmente cerrada para máxima protección. Fácil acceso para mantenimiento. Panel de control y mandos con fácil acceso. Sistema automático de apagado de motor. Tanque Gasoil 336 L.
CINTA TRASERA	Bandas de 1200 mm. Plegado hidráulico para transporte. Limpiador de banda autoajustable. Rodillo de diámetro de 102 mm. Rodillos de retorno de diámetro de 152 mm. Fácil centralización de banda. Altura de acopio de hasta 5 m.
CADENAS	3750 mm en centros x 500 mm de ancho. Velocidad 0.62 km/h
GENERAL	Patas hidráulicas para instalación fácil y rápida. Sistema de apagado de maquinaria en caso de emergencia. Fácil engrase a todos los rodamientos. Plataforma con escaleras de acceso. Longitud para trabajo: 18.63 m. Longitud para transporte: 17.40 m. Ancho para trabajo: 13.40 m. Ancho para transporte: 3 m. Altura para trabajo: 6.67 m. Altura para transporte: 3.45 m. Peso total: 27 T aproximadamente.

Con base a la información proporcionada por el plano No. 1.2 "Foto Aérea" (2018), elaborado por la empresa *MinerAmbiental*, la planta de gestión de residuos RCD estará ubicada dentro de la parcela 112, señalada con el número 1 en la figura 2.





**Figura 4. Localización de la planta de RCD. Fuente: Foto aérea del proyecto, Hermanos Salguero Marín (2018)**

De acuerdo con la Clasificación Nacional de Actividades Económicas 2009 (CNAE-2009) de España, dentro de la planta de gestión de residuos, se llevarán a cabo algunas de las actividades que se encuentran dentro del grupo E “Suministro de agua, actividades de saneamiento, gestión de residuos y descontaminación” las cuales son:

- 3811: Recogida de residuos no peligrosos.
- 3821: Tratamiento y eliminación de residuos no peligrosos.
- 3831: separación y clasificación de materiales.
- 3832: valorización de materiales ya clasificados.

Esta planta tendrá un área total de 5,573 m<sup>2</sup>, dentro los cuales estarán comprendidas las siguientes zonas:

- Playa de descarga: zona donde se realizará la recepción y clasificación manual de los residuos. Su área será de 500 m<sup>2</sup>.
- Zona de contenedores de papel-cartón, madera, plástico, metal, vidrios y fracción. Su área será de 105 m<sup>2</sup>.
- Zona de almacenamiento de residuos peligrosos: básicamente será una caseta prefabricada, con un área de 15 m<sup>2</sup>.
- Zona de almacenamiento de áridos reciclados: minerales procedentes del tratamiento mecánico de residuos, código LER 19 12 09, con un área de 1,500 m<sup>2</sup>.
- Zona de almacenamiento de inertes limpios no valorizables, tratados mecánicamente como árido reciclado, código LER 19 12 09. Su área será de 500 m<sup>2</sup>.
- Zona de tránsito y zonas libres: área de 2,526 m<sup>2</sup>.
- Balsa de lixiviados: área total de 100 m<sup>2</sup>

Para el funcionamiento de la planta, se tiene contemplado el diagrama de proceso general que se muestra a continuación:



**Figura 5. Diagrama general de procesos de la planta de gestión de residuos RCD. Fuente: Estudio de Impacto ambiental de planta de RCDs y proyecto de ampliación de explotación minera cantera “Palito Hincado” RSA No. 347, MinerAmbiental (2018)**

Como se puede observar en el diagrama, el proceso de la planta de gestión de residuos RCD iniciaría en el momento en el que estos se reciben y se pesan en la báscula, que ya está instalada en el acceso de la explotación minera, en este punto se entrega un ticket, con el cual se debe dirigir hacia la caseta de control ubicada en la entrada de la planta de gestión de residuos RCD; allí, el encargado, revisará el contenido del material, y determinará si es aceptado o es rechazado. Una vez aceptado, se procederá a realizar la separación manual, diferenciando los residuos inertes no valorizables limpios, los cuales se almacenarán en un acopio, los residuos peligrosos, que serán almacenados en una caseta hasta su entrega al gestor autorizado, residuos no peligrosos, que serán almacenados en celdas, como plásticos, maderas, vidrios, hierro, cartón y fracción residuos, y también se entregarán al gestor autorizado. Los materiales recibidos como el hormigón, el asfalto y la cerámica, serán triturados y cribados, para obtener áridos que puedan ser vendidos. Así mismo, del escombros que se reciba, se pretende obtener material de relleno para obras civiles como son la Ecografa y Ecozahorra.

### Geología local

La zona donde se encuentra la explotación se encuentra en la hoja geológica 985 “CARMONA”. Principalmente, en esta zona se encuentran calcarenitas, areniscas y limos amarillos.

Las calcarenitas, presentan un aspecto masivo en el cual a penas y es posible reconocer la estratificación. El sedimento es muy grueso y está poco o nada clasificado. En ocasiones, debido al grosor del material, se pueden diferenciar algunas estratificaciones onduladas con láminas entrecruzadas. En otras ocasiones las calcarenitas se ven más estratificadas cuando el sedimento es más fino, arena medio, y mejor seleccionado. Los estratos de calcarenita suelen tener un espesor que oscila alrededor de los 5 cm de diámetro y 50 cm de longitud, entre ellos se suelen manifestar láminas de lodo o cantos blandos.

Igualmente, son comunes las estructuras de escape de agua, y las crestas que estas producen suelen tener una pequeña vergencia, que puede ser provocada por una paleo pendiente, que en ocasiones adquiere un aspecto “slumpingado”, y su dimensión puede variar desde centímetros, hasta metros. El mecanismo que producen estas estructuras puede asociarse a movimientos tectónicos del fondo de la cuenca, que asientan el sedimento y este, con una gran cantidad de agua en sus intersticios, tiende a

eliminarla por vía ascensional, deformando las láminas y estratos a su paso y dando lugar a la configuración adquirida.

La alternancia de ciclos constituidos por calcarenitas y láminas de lodo, o en su defecto cantos blandos, puede estar originada por una remoción o movimiento del sedimento de fondo, que en periodos de tranquilidad se grano-selecciona. Este ordenamiento de los estratos, junto con las estructuras de tipo "hummocky" que los acompañan, hacen pensar que la dinámica que producen los depósitos está relacionada con tormentas.

Las areniscas y limos amarillentos no ofrecen buenos afloramientos en general, ya que las áreas que ocupan son mayoritariamente de cultivo agrícola. Por lo general, son sedimentos formados de arena media o gruesa bien clasificada y cuyo componente mayoritario es el cuarzo,

En los sedimentos más finos, hacia el techo de la serie, se observa una estratificación que en algunos puntos puede ser cruzada. Las calcarenitas pueden ser alteradas en superficie por la presencia de óxidos de hierro. Los estratos pueden estar intercalados con niveles arcillosos de escasos centímetros de potencia.

En dicha formación aparecen también areniscas y limos amarillentos. Por lo general, son sedimentos formados por arena media y gruesa, cuyo componente mayoritario es el cuarzo.

Las muestras correspondientes a este tramo presentan una microfauna muy pobre en foraminíferos planctónicos, frecuentemente resedimentados, y asociaciones de bentónicos característicos de medios marinos someros.

La mineralogía de esta formación es (Galán, E; Pérez, J. L.):

- Calcita 40% – 80%
- Cuarzo 20%
- Dolomita 2%

### **Hidrología e hidrogeología local**

Lo más destacable en cuanto a la hidrogeología de la superficie que ocupa la hoja es:

En la mitad del sureste de Alcalá de Guadaíra, los materiales existentes son muy arcillosos, por lo que las condiciones de permeabilidad y, en consecuencia, la transmisividad, son casi nulas.

En esta zona se encuentra un importante acuífero, se trata de las calcarenitas, con una gran potencia de hasta 60 metros, y con un nivel impermeable en la base. También, hay alternancias de arenas, areniscas y margas, con una gran superficie de absorción.

Se destaca que el 11 de febrero del 2004, se realizó un sondeo con fines investigativos en la parcela 50, a la entrada de la cantera, junto a la nave, que determino que la zona ya explotada se encuentra a 75 m.s.n.m. y el nivel freático a 66 m.s.n.m., es decir, a 9 metros de profundidad.

En la parcela 112, hay una zona deprimida ligeramente por debajo de los 70 m.s.n.m., en la que se acumulan temporalmente las aguas de lluvia, y que se van drenando en el terreno, garantizando en todo momento que la cota del nivel freático está por debajo de los 70 m.s.n.m.

No hay ríos u arroyos en la finca o en sus alrededores.

### **Edafología**

Mayoritariamente, se encuentran luvisoles, que hacen alusión al lavado de arcilla de los horizontes superiores, que se acumulan en una zona más profunda.

Los luvisoles se desarrollan principalmente sobre una gran variedad de materiales no consolidados, como depósitos glaciares, eólicos, aluviales y coluviales. Predominan en zonas llanas o con suaves

pendientes, de climas templados fríos o cálidos, pero con una estación seca y otra húmeda, como es el clima mediterráneo.

Cuando el drenaje interno es adecuado, presentan una gran potencialidad para un gran número de cultivos, a causa de su moderado estado de alteración y su alto grado de saturación

En Andalucía se pueden encontrar algunos tipos de luvisoles como:

- Luvisol cálcico: con un horizonte cálcico o concentraciones de carbonatos secundarios entre 50 cm y 1 metro de profundidad. Se pueden encontrar las siguientes modalidades:
  1. Hipercálcico: el horizonte cálcico tiene un equivalente de carbonato cálcico de al menos el 50%
  2. Hipocálcico: solo tiene concentraciones de carbonatos secundarios en el primer metro de suelo
  3. Ortocálcico: tiene un horizonte cálcico
  4. Luvisol crómico: la mayor parte del horizonte B tiene un matiz de 7.5 YR y una pureza en húmedo mayor 4, o un matiz más rojo que 7.5 YR

### **Geomorfología local**

Desde el punto de vista geomorfológico, la superficie sobre la que se encuentra la cantera se divide en tres zonas:

Zona parcela 112: alterada por antiguas extracciones, en la cual hay un relieve muy alterado, las cotas oscilan entre los 72 y 91 m.s.n.m.

Zona parcela 53: zona con pendiente de ladera sin actual, se ubica entre las cotas 78 y 93 m.s.n.m.

Zona DS LAPILLA\_LA2: parcela sin uso actual con algunas edificaciones en abandono o ruina, presenta una pendiente descendiente hacia el noreste. Se encuentra entre los 78 y los 100 m.s.n.m.

Tras la finalización de la explotación, quedará una zona explanada a una altura de 85 m.s.n.m. en la parcela DS LAPILLA\_LA2, descendiendo a 84 m.s.n.m. en la parcela 53 y acabando en 80 m.s.n.m. en el costado sur de la parcela 112.

### **Flora y fauna**

La zona de la cantera y sus alrededores están zonas de cultivos agrícolas. Sin embargo, en la superficie donde se encuentra la cantera, no existe ningún tipo de vegetación. Las parcelas cercanas, existen cultivos de olivar y algunos huertos.

La inexistencia de flora definida en las fincas donde se hará la extracción, a excepción de los pastos y las zonas cercanas de uso agrícola, condicionan la escasez de fauna en la zona.

### **Paisaje**

En la superficie sobre la cual se realizará la ampliación de la cantera hay dos paisajes diferenciados:

- Paisaje degradado: la parcela catastral 112 está formada por un paisaje degradado, causado por una antigua extracción minera sin restaurar.
- Paisaje natural sin interés ambiental: el resto de las parcelas, a excepción de la zona más al norte ocupada por las ruinas de antiguas construcciones, se encuentra con pastizal natural.

La finalización de la explotación de esta zona va encaminada a su restauración para uso final agrícola pascícola y de cereal.

## Identificación y valoración de impactos del proyecto

En el estudio de impacto ambiental del proyecto de explotación, se identificaron los potenciales impactos desglosando las interacciones más relevantes asociadas a la fase de construcción y a la de funcionamiento

- Fase de construcción: las acciones del proyecto que causarán impactos serán el movimiento de tierras y la construcción de la planta de RCD. Se espera que estas acciones provoquen:
  - o Emisiones a la atmósfera de gases y polvo, como consecuencia del uso de maquinaria para carga y descarga de materiales.
  - o Ruidos en la fase de construcción.
  - o Ocupación de terreno: aportación, extendido y compactación de materiales para llevar a cabo la impermeabilización de las distintas zonas de trabajo.
  - o Transporte de materiales y equipos.
  - o Generación de empleo, debido a la construcción
  
- Fase de funcionamiento: contempla la actividad de explotación minera, incluida la restauración, y el funcionamiento de la planta de gestión de residuos RCD. Los factores ambientales susceptibles de recibir impacto son:

### Medio físico:

- o Atmósfera
- o Agua
- o Flora
- o Fauna
- o Biodiversidad
- o Geodiversidad
- o Suelo
- o Subsuelo
- o Factores climáticos
- o Cambio climático
- o Paisaje
- o Bienes materiales, incluido el patrimonio cultural
- o Salud humana
- o La interacción entre los factores mencionados anteriormente, durante las fases de ejecución, explotación y demolición o abandono del proyecto.

### Medio socioeconómico:

- o Población (interacciones sociales, equipamiento turístico)
- o Economía (empleo, actividades económicas inducidas)

### Las actividades susceptibles de generar impactos son:

- o Producción y recogida de residuos
- o Producción de vertidos
- o Emisión de gases y humos
- o Emisión de ruido
- o Desbroce
- o Extracción de áridos
- o Tratamiento de áridos
- o Tratamiento de residuos
- o Mantenimiento de las instalaciones
- o Carga y transporte de material
- o Relleno del hueco minero

Los impactos generados pueden ser de carácter positivo o negativo y de magnitud variable

La superficie total afectada será de aproximadamente 14.55 Ha, cuyo ámbito de actuación será:

- Explotación minera: 11.55 Ha. Esta superficie sufrirá modificación del paisaje, al ser afectados la vegetación y el relieve, que definen en gran medida la calidad paisajística del entorno. Pero, con el relleno planteado, la calidad paisajística volverá a su estado original.
- Planta de residuos: 0.5673 Ha. La planta de residuos podría causar alteración de la cubierta vegetal, pero en este caso específico, en la zona afectada no existe vegetación.

### **Impactos negativos**

Sobre los factores ambientales como la atmósfera, el paisaje y la fauna, los impactos serían de magnitud moderada, y se podrían reducir al aplicar oportunamente las medidas correctoras.

Sobre la atmósfera y la fauna, los posibles impactos serían de magnitud moderada, reducibles a compatibles, tras aplicar oportunamente las medidas correctoras

Sobre el agua superficial, los impactos serían de magnitud compatible, por lo que no se considera necesario adoptar medidas correctoras

La carga y el transporte producirían impactos moderados sobre la atmósfera, y su magnitud puede reducirse si se aplican oportunamente las medidas correctoras.

### **Impactos positivos**

Se llegó a considerar que todas las acciones del proyecto causarán impactos positivos sobre el medio socio-económico, ya que supone la creación de empleos, favoreciendo la economía de la zona. La acción del proyecto que más incidirá en la creación de empleo será la carga y transporte, y en menor medida el procesado de los RCD.

Este proyecto podría ayudar a controlar un problema social de vertidos incontrolados en los caminos y zonas rústicas aledañas a la población de Alcalá por la lejanía de la planta de reciclado de áridos. El proyecto estaría a una menor distancia, lo que reduciría costes de transporte y también el canon por gestión de residuos sería menor.

### **Impacto global del proyecto**

En general, el impacto sobre el medio ambiente del proyecto será moderado, aplicando a tiempo y adecuadamente las medidas correctoras, las cuales reducen el impacto a ser compatibles, es decir, se pueden recuperar las condiciones originales de este, en un mediano plazo.

### **Medidas protectoras y correctoras propuestas**

La aplicación de las medidas correctoras y protectoras, adecuadamente y a tiempo, permite que se disminuyan los potenciales efectos negativos sobre el proyecto. Las medidas correctoras pueden consistir en:

- Reducción del impacto, limitando la intensidad o agresividad de la acción que lo provoca. Ayudan a prevenir el impacto, por la utilización de tecnologías adecuadas, como maquinaria especializada, filtros o balsas de decantación; o, a nivel de planificación y diseño de las instalaciones, mediante la selección de alternativas de ubicación, programas adecuados de extracción, acopio de tierras, etc.
- Cambiar la condición del impacto, mediante actuaciones favorecedoras de los procesos de regeneración natural, que disminuyen la duración de los efectos. Este tipo de medidas se aplicarán durante la fase de restauración.
- Medidas que compensan el impacto, en el caso que este sea irremediable, incumben fundamentalmente en los usos del suelo y consisten en darle al área de la intervención un uso alternativo, cuando no sea posible recuperar el uso original que tenía el terreno.

Las medidas que se adoptarán en este proyecto de explotación, ante sus potenciales impactos negativos, serán:

Medidas correctoras:

- Para evitar el levantamiento de polvo en los caminos de rodadura, estos serán regados, al igual que las zonas donde estarán las palas cargadoras, a una frecuencia que no permita que haya emisiones de polvo
- Se utilizaron los accesos de la explotación existente.
- Se respetarán las servidumbres existentes. Al finalizar los trabajos de limpieza, las servidumbres serán restituidas íntegramente, igualando o mejorando las condiciones iniciales, si así se llegase a acordar con el órgano competente.

Medidas protectoras y correctoras para la atmósfera:

La contaminación atmosférica de este proyecto, será causada principalmente por el funcionamiento de la maquinaria, que emite gases de combustión. Sin embargo, estas emisiones, estarán dentro del rango de las emisiones producidas habitualmente en el entorno.

En cuanto a las emisiones de polvo producidas por el movimiento de la maquinaria, los vehículos y por los acopios de material, se prevé que el entorno está en la capacidad de asimilarlas, ya que su capacidad de dispersión de la atmósfera es buena, por lo que estas emisiones no serían contaminantes.

Las medidas correctoras consideradas son las siguientes:

- Riegos periódicos del camino de acceso y de las pistas interiores, así como de las zonas de maniobra dentro de la explotación de forma que se evite o se disminuya la emisión de polvo a la atmósfera, durante las tareas de extracción de material y de carga y transporte del mismo. En los periodos en los que el viento es más fuerte, la frecuencia de estos riegos se debe aumentar.
- Reducción de la velocidad de circulación de los vehículos, tanto en el camino principal de acceso, como en las pistas interiores.
- Retiro del material que se forma por acumulación de polvo en pistas y accesos.
- Los camiones en los cuales se hará el transporte de material, tendrán lonas que cubrirán las cargas, que ayudarán a reducir su dispersión por el aire.
- Se realizarán muestreos periódicos de las emisiones de polvo, conforme a lo establecido ITC/2585/2007, del 30 de agosto, por la que se aprueba la Instrucción Técnico Complementaria 2.0.02 del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera "Protección de los trabajadores contra el polvo, en relación con la silicosis, en las industrias extractivas"
- Reducción del tiempo entre las fases de explotación y restitución.
- Reducción de la velocidad de circulación de los vehículos, los camiones no superarán los 40 km/h, con el fin de disminuir, en lo posible, los niveles de emisiones de polvo a la atmósfera.
- No se podrá quemar ningún residuo en la parcela, especialmente materiales cuya combustión genere partículas contaminantes.

El impacto causado por el ruido debido al desmonte, es compatible. Sin embargo, se incrementa a moderado, por las operaciones de extracción de albero, tratamiento (planta móvil) y carga/transporte, y, por lo tanto, las medidas ante este impacto fueron diseñadas para estas acciones en concreto, y son las siguientes:

- Mantenimiento adecuado de maquinaria e instalaciones, con el fin de controlar las piezas desajustadas, mal engrasadas o sueltas, que provoquen ruidos innecesarios.
- Reducción de la velocidad de circulación de los camiones y volquetas.
- Mantenimiento de las pistas accesos.
- Horario de trabajo diurno.
- Amortiguación de ruido de los equipos móviles, mediante la instalación de silenciadores.
- Estudiar rutas alternativas para evitar el paso por las poblaciones vecinas.
- Limitar el trabajo de las unidades que más ruido generen, al horario diurno.
- Evitar las situaciones en los que la acción simultánea de varios equipos o unidades trabajo, causen niveles sonoros elevados.

#### Medidas de control para la maquinaria:

- Comprobar que no hay escapes y que son correctos los niveles de aceite del motor, aceite del embrague, aceite del freno, aceite de la dirección, aceite para levantar los accesorios, líquido refrigerante y combustible.
- Revisar el estado general del tren de rodamiento, los neumáticos y su presión, o las orugas.
- Limpiar los accesos de grasa y material.
- Verificar y limpiar regularmente el filtro del aire
- Verificar que no haya polvo o suciedad (ramas secas, hojas, etc.) en el motor, en el radiador, en la batería o en las piezas que puedan alcanzar elevadas temperaturas, tales como el silenciador o el turbocompresor

#### Medidas protectoras y correctoras para el suelo:

El impacto producido por el proyecto sobre el suelo debido al desmonte y a la extracción del albero, será severo.

En algunas zonas del proyecto, el impacto severo sobre el suelo ya es evidente, debido a una extracción anterior en la que no se hizo restauración, por lo que se considera que, en este caso, la medida protectora/correctora más eficaz es la ejecución del proyecto de explotación y restauración.

- Se debe realizar el retiro, acopio y mantenimiento de los horizontes superficiales del suelo, para facilitar la restauración de las superficies explotadas.
- Diseño de un modelo en la recuperación, que permita la utilización productiva y ecológica del terreno, una vez explotado. La parcela, luego de la explotación y recuperación, se destinará a la siembra herbáceas y/o pastos.
- Planificación adecuada de los movimientos de la maquinaria, el trazado de caminos, y la ubicación de los acopios, para minimizar la pérdida de suelo y el cambio de uso.
- Para evitar la compactación del suelo debido al tráfico de la maquinaria, esta debe circular exclusivamente por los carriles previstos.
- El espesor mínimo de del suelo vegetal sobre el que se realizará la revegetación, será de 50 cm. Bajo esta capa de tierra vegetal, se rellenará como mínimo hasta el comienzo del segundo banco de explotación, con materiales procedentes de la planta de reciclado de RCD, lo cual asegura un 80% del relleno del hueco minero.
- Antes de extender la tierra vegetal, se realizará un escarificado de la plataforma resultante.
- En el acondicionamiento topográfico del hueco de la extracción, la pendiente final de la explanación será descendente, desde una cota de 85.5 m en el norte, dirigiéndose hacia el sur hasta la cota 80. Esta pendiente facilitará la evacuación de las aguas de escorrentía.
- Puede ocurrir la contaminación accidental del suelo, por parte de la maquinaria, siendo necesaria la puesta en marcha de las medidas preventivas mencionadas con anterioridad.
- Disponer de un lugar adecuado, tanto para el parque de maquinaria, como para realizar los trabajos de mantenimiento a la misma. En cualquier caso, deberá ser un área donde se garantice la impermeabilidad, por si llegasen a ocurrir vertidos accidentales.
- Se aplanarán y arreglarán periódicamente los baches, rodadas, etc., causados por el paso constante de la maquinaria pesada.

#### Medidas protectoras y correctoras para el agua

##### Agua superficial

El impacto sobre el agua superficial será provocado por la acción de desmonte y extracción del albero, y será de tipo moderado. Y, por la acción de la planta móvil el impacto será compatible.

Las medidas que se tomarán frente a estos impactos:

- Siembra de las áreas restituidas y reducción de la superficie afectada por las labores mineras, para reducir la erosión producida por el agua superficial.



- Se ha diseñado el estado final de la cantera de forma que las escorrentías tengan fácil salida del área

#### Agua subterránea

El impacto producido sobre el agua subterránea por la acción de desmonte, por la planta de gestión de residuos RCD y por la extracción del albero, será de tipo moderado. Las medidas que se tomarán serán las siguientes:

- En esta zona de la extracción no se realizarán trabajos de mantenimiento, ya que se utilizará para ello la zona habilitada de la cantera Palito Hincado R. S. A No 347, por lo que no hay peligro de derrame accidental de aceites u otros productos.
- En esta cantera no se almacenarán residuos peligrosos, ya que se utilizará la zona habilitada de la cantera Palito Hincado R. S. A No. 347. La cantera está inscrita en Registro de Pequeños Productores de Residuos Peligrosos de Andalucía No. 414273.
- La cota mínima de extracción será de 75 m y la cota máxima de fluctuación del nivel freático es de 66 m, por lo tanto, el nivel freático, en el caso más desfavorable, estará a 9 m por debajo de la explanación.
- Cambios en la permeabilidad de los terrenos. Una vez la finca esté restaurada, el terreno estará formado por una montera de recubrimiento vegetal, masa de RCD tratados y una masa de albero, por lo tanto, el material que habrá luego de la explotación, será similar al que había antes de esta, y los cambios en la permeabilidad del material.
- Se evitará cualquier tipo de vertido a los cauces.
- Las redes de saneamiento estarán enterradas, y se ejecutarán con tubería de PVC. Los cambios de dirección y de los diámetros, se realizarán con las adecuadas arquetas de paso. Las conexiones a los aparatos sanitarios serán recogidas en botes sinfónicos o en sifones independientes y conectados a la red enterrada en arquetas. Todas las arquetas serán prefabricadas en PVC, para conseguir una mayor estanqueidad en las redes.
- La zona habilitada para la recepción de residuos, estará impermeabilizada, anulando su capacidad de infiltración de aguas pluviales. También, estará rodeada por una cuneta perimetral, que conducirá las aguas pluviales hasta la balsa de lixiviados y pluviales.
- No se hace necesaria la instalación de redes de eliminación de aguas residuales, en la zona de almacenamiento del material reciclado, ya que este es de tipo inerte y, por tanto, se considera limpio.
- La red de aguas sanitarias tendrá una canalización independiente, por la cual se vierten a depósito estanco, que será vaciado periódicamente por el gestor autorizado.
- Se tendrá un bidón de 100 litros, se utilizarán trapos de limpieza y ropas protectoras para contaminación por sustancias peligrosas 15. 02. 02, para la recogida de hidrocarburos y aceites vertidos por rotura de elementos de la maquinaria que se encuentre en el almacén de residuos peligrosos.

#### Medidas protectoras y correctoras para los riesgos geofísicos:

El impacto producido por los riesgos geofísicos será por la acción de desmonte, de tipo moderado, y por la extracción del albero, de tipo severo. Las medidas son:

- reducir la altura de los bancos de la explotación.
- La explanada final que está proyectada, va a estar unida a las fincas colindantes, mediante un talud con una pendiente bastante moderada, que oscilará entre los 34° y los 39°.
- En los taludes resultantes se sembrarán cereales, con el objetivo de evitar la erosión del suelo y movimientos en masa.

#### Medidas protectoras y correctoras para la flora y la fauna:

El impacto que se producirá sobre la flora, será por la acción de desmonte y de tipo severo, aunque una parte de la superficie, la parcela 112, ya se encuentra desmontada, debido a una antigua extracción del albero, y sobre el resto de la superficie no hay valores destacables de flora. Las medidas frente a este impacto son:

- Siembra de herbáceos y/o pastos en la superficie explotada, luego de su restauración.

El impacto que se producirá sobre la fauna, será por la acción de desmonte y por la extracción del albero, y será de tipo severo; y, por la acción de la planta móvil, la carga y el transporte, será de tipo compatible. Las medidas en este caso son:

- Las medidas correctoras para el polvo y el ruido, van también encaminadas a minimizar el impacto sobre la fauna.
- Para evitar el acceso de personas ajenas a la cantera, su perímetro será señalizado y tendrá una valla cinéptica.
- Las labores de restauración previstas al final de la explotación, contemplan el extendido de la tierra vegetal y la revegetación de la superficie de la parcela, de modo que se espera compensar el impacto causado.
- Respetar el arbolado autóctono de la zona.
- Las heridas que se produzcan por la poda o por los movimientos de la maquinaria, se cubrirán inmediatamente con el fin de evitar que haya infecciones por hongos.

#### Medidas protectoras y correctoras para la morfología y el paisaje

El impacto causado sobre la morfología y el paisaje, se dará por la acción de desmonte, y será de tipo severo. También, por la extracción del albero se provocará un impacto crítico, y será el mayor impacto provocado. Por la acción del tratamiento, el impacto sobre el paisaje y la morfología, será moderado.

- El impacto sobre el paisaje, ya es existente, dada la explotación y antigua extracción de albero sin restaurar, por lo que la medida en este caso será la ejecución y restauración de este proyecto.
- El espesor mínimo de suelo vegetal sobre el que se realizará la revegetación, será de 50 cm. Bajo esta capa de tierra vegetal, se rellenará hasta el comienzo del segundo banco de la explotación, con materiales procedentes de la planta de reciclado RCD, que estará anexa, asegurando un 80% del material de relleno.
- Se diseñará un modelo en la recuperación que permita la utilización productiva y ecológica, una vez el terreno se haya explotado y restaurado. Luego de esto se sembrarán pastos y/o herbáceas.
- Evitar colores llamativos en los edificios y maquinarias dentro de la cantera.
- Ubicar los acopios de tierra vegetal y estériles, de manera que ayuden a crear una pantalla visual que impida ver las instalaciones.
- No se debe interferir el recorrido de las aguas pluviales cercanas.

#### Medidas especiales

- No se admitirá ningún residuo de construcción y demolición contaminado con sustancias orgánicas o inorgánicas peligrosas, a consecuencia de procesos de producción en la construcción, contaminación del suelo, almacenamiento y uso de plaguicidas u otras sustancias peligrosas, etc.
- El procedimiento de admisión debe incluir una inspección visual de los residuos a la entrada y al momento de la descarga. Los residuos que sean distintos a los admisibles, se separarán y almacenarán en contenedores dispuestos para tal fin, hasta ser recogidos por un gestor autorizado, sin perjuicio de responsabilidades en que pueda incurrir el poseedor que los haya entregado a la instalación.
- La instalación tendrá la superficie compactada, limpia y, además, contará con sistemas para evitar la dispersión de polvo y de residuos por la acción del viento.

#### **Programa de vigilancia ambiental**

El programa de vigilancia ambiental para este proyecto, se desarrolló teniendo en cuenta las disposiciones de la Ley 7/2007, de Gestión Integrada de Calidad Ambiental, así como lo dispuesto en el Decreto 356/2010, de 3 de agosto, por el que se regula la Autorización Ambiental Unificada.

El principal objetivo de este plan es supervisar los efectos de las medidas previstas que sean de importancia para el medio ambiente, con el fin de que la explotación minera tenga el menor impacto sobre este. Los demás objetivos del plan de vigilancia ambiental son:

- Velar para que la actividad a realizar durante la ejecución del proyecto, se haga en las condiciones que han sido autorizadas en relación con el medio ambiente
- Determinar la eficacia de las medidas protectoras y correctoras
- Establecer la veracidad de la Evaluación de Impacto Ambiental y, en caso de requerirse, realizar las respectivas correcciones.
- Detectar impactos no previstos en el estudio de impacto ambiental y proponer las medidas protectoras o correctoras, para su mitigación, eliminación o compensación.
- Definir los informes de seguimiento que se deben presentar en materia de medio ambiente, su frecuencia y su emisión a los diferentes órganos responsables: Órgano de Seguimiento, Órgano de Control y Coordinación y Órgano de Evaluación.

A través de este programa se hará vigilancia a los siguientes puntos:

- Seguimiento ambiental a la fauna: con el fin de garantizar un impacto mínimo sobre la fauna presente en el ámbito de actuación.
- Seguimiento ambiental de la flora: se pretende controlar los efectos sobre la vegetación, a través de la inspección visual de las especies, en el entorno de la explotación. De esta manera, será posible determinar si las emisiones de polvo causan algún tipo de enfermedad o pérdida de vigor superior a lo previsto. También, se busca controlar la correcta restauración de la cubierta vegetal, al final de la explotación.
- Seguimiento ambiental del suelo: el objetivo es evitar la alteración de los suelos, mediante el control de los procesos erosivos y de la contaminación de este.
- Seguimiento ambiental de la calidad atmosférica: se busca evitar que las emisiones generadas por las actividades, perjudiquen a la fauna y la flora del entorno, así como la capacidad agrológica del entorno, mediante el control de las emisiones de polvo, de gases y de los niveles de emisión de ruido durante la explotación.
- Seguimiento ambiental de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas: asegurar el cumplimiento de las medidas preventivas y correctivas, que se establecieron para las aguas superficiales y subterráneas, y que se cumplan los estándares de calidad, en concordancia con la legislación vigente, mediante el control de la salida de efluentes de las aguas. En el caso que haya vertidos autorizados, se realizará seguimiento ambiental a los mismos.
- Seguimiento ambiental del paisaje: garantizar la integración paisajística con el entorno del sitio de la actividad, controlando la afección del mismo durante su ejecución.

### 1.1.2 Legislación, normativa y protocolos vigentes y aplicables a la gestión de residuos procedentes de la construcción y la demolición

En la tabla 4, se resumen la legislación, normativa y protocolos vigentes y aplicables en la gestión de los residuos de la construcción y la demolición RCD:

**Tabla 4. Legislación, normativa y protocolos de gestión de residuos RCD.**

UNIÓN EUROPEA			
Directiva 1999/31/CE	26 de abril de 1999	Vertido de residuos	Introduce requisitos técnicos estrictos con el fin de prevenir y reducir los impactos negativos de un vertido sobre las aguas (superficiales, subterráneas), el suelo, el aire y la salud humana.
Directiva 2008/1/CE	15 de enero de 2008	De prevención y control integrado de la contaminación (hasta 2013)	Establece las medidas que se deben tomar para la prevención y la reducción de las emisiones al agua, suelo y atmósfera, de las actividades contempladas en el Anexo I de la Directiva. Se incluyen medidas relativas a los residuos

Directiva 2006/21/CE	15 de marzo de 2006	Sobre la gestión de los residuos de las industrias extractivas y por la que se modifica la Directiva 2004/35/CE	<p>Establece las medidas que deben ser adoptadas por las industrias extractivas, con el fin de prevenir y reducir los efectos negativos de esta actividad sobre el medio ambiente y la salud, causados por la gestión de los residuos procedentes de estas.</p> <p>Las instalaciones nuevas o existentes deben tomar medidas respecto a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-La ubicación.</li> <li>-Estabilidad física.</li> <li>- Que garantice la prevención de la contaminación del suelo, el aire y las aguas.</li> <li>- Que se realice seguimiento e inspección a la actividad.</li> <li>-Cierre de instalaciones, rehabilitación del terreno y la fase posterior al cierre</li> </ul> <p>Se definen las instalaciones de categoría A</p>
Directiva 2008/98/CE	19 de noviembre de 2008	Sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Marco jurídico para el tratamiento de residuos en la Unión Europea, con el objetivo de proteger el medio ambiente y la salud humana.</li> <li>- Establece la jerarquía en la gestión de los residuos.</li> <li>- Diferencia residuo de subproducto.</li> <li>- Define unos objetivos de reciclado y valorización para el 2020: residuos domésticos 50%, residuos procedentes de la construcción y la demolición 70%</li> </ul>
Directiva (UE) 2018/851	30 de mayo de 2018	Por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos	<p>Dicta medidas preventivas y de reducción de los impactos negativos de la generación y la gestión de los residuos, con el objetivo de proteger el medio ambiente y la salud humana. Las medidas están basadas en la reducción del impacto del uso de materiales o recursos, en ser más eficientes en el uso, se establecen los elementos para la transición hacia un modelo de economía circular.</p>
Directiva (UE) 2018/850	30 de mayo de 2018	Sobre vertidos de residuos	<p>Establece medidas, procedimientos, orientaciones y requisitos técnicos, con el objetivo de disminuir, progresivamente, el depósito de residuos en vertidos, especialmente aquellos aptos para reciclado y valorización. Y, en este sentido, reducir los impactos negativos sobre las aguas, el suelo, el aire y el medio ambiente, durante el ciclo de vida del vertedero.</p>

Protocolo de gestión de residuos de la construcción y la demolición	Septiembre de 2016	Gestión de residuos RCD	Propone medidas que se deben adoptar en la gestión de los residuos con el fin de lograr los objetivos de reciclado de la Directiva 2009/98/CE, y de estimular la economía europea hacia una economía circular. Las medidas se enfocan en los procesos de identificación y separación de residuos, mejora logística, mejora del procesamiento, gestión de calidad de los procesos y algunas condiciones marco y políticas
<b>ESPAÑA</b>			
Real Decreto 105/2008	1 de febrero de 2008	Por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición	Tiene por objeto establecer el régimen jurídico de la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición, con el fin de fomentar, por este orden, su prevención, reutilización, reciclado y otras formas de valorización, asegurando que los destinados a operaciones de eliminación reciban un tratamiento adecuado, y contribuir a un desarrollo sostenible de la actividad de construcción
Real Decreto 975/2009	12 de junio de 2009	Sobre gestión de residuos de industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio minero afectado por actividades mineras	Tiene por objeto el establecimiento de medidas, procedimientos y orientaciones para prevenir o reducir en la medida de lo posible los efectos adversos que sobre el medio ambiente, en particular sobre las aguas, el aire, el suelo, la fauna, la flora y el paisaje, y los riesgos para la salud humana puedan producir la investigación y aprovechamiento de los yacimientos minerales y demás recursos geológicos, y, fundamentalmente, la gestión de los residuos mineros.
Real Decreto 1481/2001	27 de diciembre de 2001	Por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito de vertedero	Establece el marco jurídico y técnico para la correcta eliminación de residuos en depósitos de vertedero, incluyendo la regulación para la gestión y explotación de estos, partiendo del principio de jerarquía de gestión de los residuos.
Ley 22/2011	28 de julio de 2011	Sobre residuos y suelos contaminados	Dicta las medidas necesarias para evitar y reducir los efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana, por la gestión de los residuos. Además, establece las regulaciones jurídicas para los suelos contaminados
Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes PG-3	s. f	De aplicación a las obras de carreteras y puentes de cualquier clase adscritas a los Servicios de la Dirección General de Carreteras y Caminos Vecinales	Establece una serie de instrucciones para el desarrollo de las obras de carreteras y puentes; y contiene las condiciones técnicas, normalizadas, referentes a los materiales y unidades de obra

Orden APM 1007/2017	10 de octubre de 2017	Sobre normas generales de valorización de materiales naturales excavados para su utilización en operaciones de relleno y obras distintas en las que se generaron.	Normativa general para la valorización de los residuos no peligrosos, procedentes de suelos no contaminados excavados y otros materiales naturales excavados en obras de construcción o demolición (tierra, arcillas, limos, arenas, grava, piedra), incluidas en la Lista Europea de Residuos (LER) 17 05 04
<b>COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ANDALUCÍA</b>			
Ley 7/2007	9 de julio de 2007	Gestión Integrada de Calidad Ambiental	“Marco normativo adecuado para el desarrollo de la política ambiental de la Comunidad Autónoma de Andalucía, a través de los instrumentos que garanticen la incorporación de criterios de sostenibilidad en las actuaciones sometidas a la misma”
Decreto 73/2012	20 de marzo de 2012	Por el que se aprueba el Reglamento de residuos de Andalucía	“El objeto del Reglamento es el desarrollo del Capítulo V del Título IV de la Ley 7/2007, de 9 de julio, con la finalidad de establecer el régimen jurídico regulador de la producción, posesión y gestión de los residuos que se generen y gestionen en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Andalucía, garantizando la protección de la salud humana, la defensa del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales”

## 1.2. Aspectos relevantes

### 1.2.1 Problemática

El proyecto de explotación minera de áridos de la cantera “Palito Hincado”, ubicado en Alcalá de Guadaíra, dando cumplimiento al artículo 2 del Real Decreto 975/2009, de 12 de junio “sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras” integra la instalación de una planta de gestión, valorización y/o reciclaje y almacenamiento de residuos procedentes de la construcción y demolición (RCD)(Hermanos Salguero Marín S.L, 2019, p. 4) para todas las obras procedentes de la Mancomunidad de los Alcores en Alcalá de Guadaíra.

El material extraído de la cantera será usado como material de relleno (subbase) de obras de infraestructura de comunicaciones, obras civiles, viviendas, en parques, jardines, plazas de toros y ferias. Además, el albero clasificado mezclado con cal viva, se utilizará para estabilización de suelos (Hermanos Salguero Marín S.L, 2019, p. 13).

Así mismo, se establece el plan de restauración de la cantera, en el cual se especifica que parte del relleno del hueco minero se realizará con áridos reciclados, procedentes de su propia actividad de extracción, con las fracciones no vendibles, asegurando estabilidad de residuos, previniendo la contaminación del suelo del emplazamiento y de las aguas superficiales y subterráneas, también en concordancia con lo estipulado en el apartado 1, del artículo 13 del Real Decreto 975/2009, de 12 de junio.

Para planta de gestión de residuos RCD, que realizará actividades de recepción, clasificación, tratamiento y almacenamiento de residuos, dentro de la cual incluye la valorización de materiales clasificados, se establece un proceso general, en el cual se incluye una línea de depuración y clasificación de residuos heterogéneos, como los escombros, y una de reciclaje de áridos, a partir de

residuos clasificados como el hormigón, el asfalto y la cerámica, de los cuales se espera obtener un material árido que se pueda aplicar a los usos anteriormente mencionados, asegurando su calidad y estabilidad.

En este sentido, se sabe que actualmente el modelo de economía lineal está mudando hacia un modelo de economía circular. Por ende, resulta importante conocer como los RCD que no puedan ser procesados en la planta de gestión que estará ubicada dentro de la explotación minera, pueden ser clasificados, tratados y almacenados para su posterior uso en la fase de restauración del hueco minero, siendo usados como parte del material de relleno, cumpliendo con la legislación y normativa vigente en materia de residuos, que se deban aplicar en estos casos.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Determinar la idoneidad del hueco minero que quedará luego de la explotación de la cantera “Palito Hincado”, para su restauración y relleno con residuos mineros y residuos procedentes de la construcción y la demolición

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Identificar los diferentes factores y características que determinan la idoneidad de un hueco minero para relleno con RCD.
- Determinar, de acuerdo con el estudio de impacto ambiental de la ampliación de la explotación de la cantera Palito Hincado y su planta de RCDs, si el hueco minero es idóneo para su relleno con RCD.
- Establecer el tipo RCD más idóneo para el relleno del hueco minero de la cantera Palito Hincado

## CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente Trabajo de Fin de Máster (TFM) será una recopilación de la información existente acerca del relleno de huecos mineros con residuos procedentes de la construcción y la demolición (RCD) y su idoneidad para llevar a cabo este procedimiento.

Esta revisión se realiza con el fin de determinar, a grandes rasgos, si el proyecto de ampliación de la explotación minera de la cantera “Palito Hincado” RSA No. 347, en su fase de restauración y/o recuperación, es apta para el relleno de la excavación resultante con RCD, teniendo en cuenta que, además, el proyecto incluye la construcción de una planta de gestión de dichos residuos.

Para ello, se cuenta con la información recopilada por el *Estudio de Impacto Ambiental de Planta de RCDs y Proyecto de Ampliación de Explotación Minera Cantera “Palito Hincado” RSA No. 347*, realizado por la empresa Ingeniería MinerAmbiental S. L. U, y con la *Guía de Rehabilitación de Huecos Mineros con Residuos de Construcción y Demolición (RCD)*, del Ministerio para la Transición Ecológica de España. Así mismo, se toma en cuenta la legislación vigente en este asunto, la cual fue mencionada en el estado del arte del presente documento.





## CAPÍTULO 3. RESULTADOS

### 3.1 Rehabilitación de huecos mineros con RCD

El Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, a través de la subdirección General de Residuos, a través de una enmienda, en el 2018, publicó el documento “*Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de construcción y demolición (RCD)*”, con el fin de promover el uso de estos residuos en la restauración de explotaciones mineras activas y abandonadas, garantizando la protección del medio ambiente, la salud y la seguridad de las personas; y, para dar cumplimiento al objetivo establecido por la Directiva 2009/98/CE, del Parlamento y del Consejo Europeo, que establecía que para el 2020, el 70% de los residuos procedentes de la construcción y la demolición, no peligrosos y que no se encontraran dentro de los materiales en estado natural definidos en la categoría 17 05 04 de la lista de residuos (LER), deben pasar por un proceso de valorización. Este objetivo se incluyó dentro de las metas del Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2016-2022 (PEMAR). Para el 2015, este porcentaje se estimó en aproximadamente el 41% respecto al peso de la producción total, de acuerdo a los datos proporcionados por Federación Española de Gestores de RCD (FERCD). Sin embargo, este porcentaje era muy bajo respecto al objetivo del 70% planteado por la Unión Europea, pues muchos de estos residuos siguen siendo llevados a vertederos o siendo eliminados de manera no controlada. Además, la demanda de los productos reciclados disminuyó considerablemente debido a la crisis del sector de la construcción, lo cual también contribuye al no cumplimiento de la meta.

Teniendo en cuenta lo anterior, el *Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición*, considera que una operación de valorización de los RCD sería el uso de los residuos inertes, procedentes de construcción y demolición, en la restauración de espacios ambientalmente degradados, en obras de acondicionamiento o relleno, siempre que se cumpla con lo establecido en el artículo 13 de la misma. Y, de la misma manera, el PEMAR, tiene como uno de sus objetivos el fomentar la utilización de residuos “no peligrosos” procedentes de RCD en la restauración de espacios degradados y en obras de acondicionamiento y relleno.

Según la Decisión 2014/955/UE de la Comisión Europea y de conformidad con la directiva Marco de Residuos en su capítulo 17, los RCD, incluida la tierra negra excavada, son los siguientes:

- 17 01: hormigón, ladrillo, tejas y materiales cerámicos.
- 17 02: madera, vidrio y plástico.
- 17 03: mezclas bituminosas, alquitrán de hulla y otros productos alquitranados.
- 17 04: metales, incluidas sus aleaciones.
- 17 05: tierra, incluida tierra excavada de zonas contaminadas, piedras y lodos de drenaje.
- 17 06: materiales de aislamiento y materiales de construcción que contienen amianto.
- 17 08: materiales de construcción a base de yeso.
- 17 09: otros residuos de construcción y demolición.

De la misma manera, el Real Decreto 105/2008, establece que los RCD son *cualquier sustancia u objeto que, cumpliendo la definición de residuo tal y como define la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, son generados en obras de construcción y demolición...*” y, para su uso en la restauración de espacios ambientalmente degradados, o la ejecución de obras de acondicionamiento y/o relleno, se debe cumplir con los requisitos que se mencionan a continuación:

- Que el órgano competente en materia medioambiental de la Comunidad Autónoma así lo haya declarado, antes del inicio de las operaciones en la gestión de residuos.
- Que la operación se realice por un gestor de residuos sometido a autorización administrativa de la valorización de residuos. No se exigirá autorización de gestor de residuos para el uso de aquellos materiales obtenidos en una operación de valorización de RCD que no posean la calificación jurídica de residuo y que cumplan con los requisitos técnicos y legales para el uso al que se destinen.
- Que el resultado de la operación sea la sustitución de recursos naturales que se debían ser usados para cumplir el fin buscado con la obra de restauración y acondicionamiento o relleno.

También, el Real Decreto promueve que se establezcan acuerdos voluntarios entre los gestores de residuos y los responsables de la restauración de espacios, por lo que el PEMAR, a su vez, propone el desarrollo de acuerdos o convenios sectoriales entre las industrias extractivas y las Comunidades Autónomas, buscando impulsar el uso de huecos mineros existentes y que estén sin restaurar, para la valorización de los RCD.

Para que estos residuos puedan ser usados en el relleno de huecos mineros, debe cumplir los requerimientos de protección del suelo y del agua, de acuerdo con los establecido en las prescripciones técnicas del anexo I del Real Decreto 1481/2001 y su respectivo desarrollo técnico. Por esta razón, la norma establece que los vertederos de residuos inertes deben incluir los siguientes elementos en su diseño con el fin de garantizar la protección del agua y del suelo:

- Una barrera geológica natural, en el fondo y en los taludes del hueco, con un coeficiente de permeabilidad (k) menor o igual a  $1 \times 10^{-7}$  m/s, y 1 m de espesor.
- Cuando la barrera geológica natural no cumpla con la anterior especificación, se intentará alcanzar la baja permeabilidad añadiendo una barrera geológica artificial, que consistirá en una capa mineral de un espesor mayor o igual a 0.5 m.
- Sobre la barrera geológica se instalarán unas capas de filtro y de drenaje para recoger los lixiviados.
- Sobre la barrera y la capa de filtros, se depositarán los residuos.

El órgano ambiental de cada una de las Comunidades Autónomas, puede determinar la necesidad de la recogida y tratamiento de los lixiviados, luego de realizar una evaluación de riesgos para el medio ambiente que tenga en cuenta el control de las aguas y la gestión de los lixiviados. En el caso que el resultado de esta evaluación sea que no es necesaria la recogida y tratamiento de los lixiviados, o cuando el hueco minero presente un nivel de riesgo aceptable para el suelo, los requisitos de diseño antes mencionados pueden ser modificados o reducidos por el órgano ambiental.

Por otro lado, los residuos procedentes de la construcción y la demolición que sean susceptibles a ser valorizados, mediante de restauración de huecos mineros, deberán cumplir con los criterios de admisión para residuos inertes establecidos en la Orden AAA/661/2001, de 18 de abril, *por la que se modifican los anexos I, II y III del Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.*

La Ley 22/1973, de 21 de julio, *sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras*, establece las medidas, procedimiento y orientaciones para prevenir y reducir, en la medida de lo posible, los efectos adversos sobre el medio ambiente y los riesgos sobre la salud humana, que se pueden producir como consecuencia de la investigación y aprovechamiento de los yacimientos minerales y el resto de los recursos geológicos, así como por la gestión de los residuos mineros. Esta ley incluye dentro del concepto de aprovechamiento la explotación, almacenamiento y beneficio de estos recursos, en ámbitos como la rehabilitación de los espacios afectados por la actividad minera, como se detalla en su artículo 2.1. en este mismo sentido, la Ley en el Título I, sobre el Plan de Restauración, define que la rehabilitación es el *tratamiento del terreno afectado por dicha actividad, de forma que se devuelva este a un estado satisfactorio, en particular a lo que se refiere, según sea el caso, a la calidad del suelo, la fauna, los hábitats naturales, los sistemas de agua dulce, el paisaje y los usos beneficiosos apropiados (art 3.7a).*

### **Tipología y selección de huecos mineros para su rehabilitación con RCD**

Para la rehabilitación de huecos mineros con los residuos procedentes de la construcción y la demolición, se deben considerar los siguientes criterios:

- La imposibilidad del relleno del hueco con los residuos mineros propios.
- La exclusión de huecos localizados en entornos muy vulnerables en los que el uso de este tipo de residuos pueda generar un impacto negativo grave e irreversible sobre el medio ambiente, sobre el patrimonio cultural o estar expuestos a peligros naturales que puedan inducir a un riesgo ambiental inaceptable.

Para conocer si un hueco minero es apto para su rehabilitación con RCD, se aplica un índice de idoneidad de carácter multifactorial que tiene en cuenta los aspectos técnico-económicos, ambientales y de prioridad social. Así, se pueden clasificar y jerarquizar los huecos mineros generados por una actividad extractiva, según sus diferentes grados de idoneidad, para establecer prioridades de actuación y el diseño de planes para la recuperación de espacios degradados por minería con este tipo de residuos.

### **Tipología de huecos mineros de explotaciones a cielo abierto**

La tipología de hueco minera depende del tipo de yacimiento mineral y del método de explotación a cielo abierto aplicado en la extracción de los recursos minerales. De acuerdo con el Instituto Geológico y Minero de España (2004), las características de los huecos generados según los distintos tipos de explotación son:

#### **- Cortas.**

Laboreo propio de yacimientos minerales metálicos que profundizan en vertical. Se realiza mediante un diseño geométrico tridimensional, en forma de cono invertido. Un diseño muy similar, pero no con la misma forma cónica invertida, se da en los yacimientos de carbón masivo, como son los lignitos pardos, donde la extracción mineral se realiza por banqueo descendiente, hasta llegar al fondo de la corta, calculado en función de parámetros de rentabilidad. El hueco que se genera en las cortas de minería metálica es, por lo general, muy profundo, en ocasiones superando los 300 m, como es el caso de la “Corta Atalaya” (Minas de Riotinto, Huelva).



**Figura 6. Corta Atalaya, parque minero Riotinto, Huelva. Fuente:**  
<https://parquemineroderiotinto.es/corta-atalaya/>

En la minería metálica se producen volúmenes grandes de residuos mineros como los estériles de desmonte, estériles de corta, lodos de lavadero, etc. Aun así, la operatividad de la mina en bancos descendentes no permite que el relleno se realice a medida que va avanzando la explotación. En este caso, el relleno del hueco minero luego del cese de actividades, con los residuos propios, es inviable económicamente. Esto sería posible en zonas mineras donde el yacimiento del mineral se explota con el desarrollo de más de una corta, y estas están muy próximas entre sí.

#### **- Minería por transferencia.**

Propia de yacimientos estratiformes de carbón, generalmente, de varias capas horizontales o sub horizontales, y cuya corrida de producción puede ir desde cientos de metros hasta kilómetros. Estos yacimientos facilitan la transferencia de estéril a medida que avanza la extracción, con la previa apertura de un hueco inicial que debe tener la superficie que permita el movimiento de la maquinaria de extracción y carga, y que se rellena con el material extraído de la siguiente fase, de acuerdo con el avance unidireccional de las capas de carbón.

Como resultado se obtiene la formación de una escombrera con los estériles procedentes de hueco inicial, el relleno de la mayor parte del hueco minero y un hueco residual al final de la vida útil de la explotación minera, que resulta del balance de los estériles.

Este método permite la rehabilitación progresiva de la zona afectada a medida que se va transfiriendo el estéril y el suelo vegetal.



**Figura 7. Minería de transferencia (izquierda) y relleno final (derecha) corta Barrabasa (Andorra, Teruel). Fuente: guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de la construcción y la demolición (RCD), Ministerio para la Transición Ecológica (2018)**

Para este tipo de minería, se diferencian dos sistemas clásicos representativos de la misma: la explotación por descubiertas (sistema americano) y la explotación por terrazas (sistema alemán)

Explotación por descubiertas o sistema americano: normalmente se usa cuando el recubrimiento por estériles presenta potencias inferiores a 50 m. es una excavación que se realiza en una sola dirección de un solo banco, como una trinchera, al que se le denomina módulo. Cuando se han explotado los recursos de un módulo, se continúa con la excavación del siguiente, el cual será paralelo y colindante al anterior. El material que se extrae de cada módulo, se deposita en el hueco que queda luego de la excavación del módulo anterior,

Explotación por terrazas o sistema alemán: se realiza en yacimientos con uno o varios niveles mineralizados con un recubrimiento de estériles muy potente. El método consiste en un banqueo con avance en una sola dirección. La profundidad que se puede alcanzar por este método es importante. Aun así, el método permite que el material sea depositado en los huecos que se van generando con el avance de la explotación, alrededor de esta,

#### - **Minería de contorno**

Es aplicada en gran parte en yacimientos de carbón, con capas horizontales de reducida potencia y con una topografía desfavorable para el laboreo. Consiste en la excavación del estéril y del mineral en sentido transversal al afloramiento, dejando un talud de banco único, y progresión longitudinal siguiendo dicho afloramiento. Si la longitud de corrida de producción es grande, permitiendo un gran desarrollo superficial de la excavación, y teniendo en consideración la escasa profundidad de los huecos, es posible una transferencia de los estériles, facilitando el relleno y rehabilitación de los mismos.



**Figura 8. explotación de carbón por minería de contorno en los Apalaches E.E.U.U. Fuente: guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de la construcción y la demolición (RCD), Ministerio para la Transición Ecológica (2018)**

#### - Canteras

Son explotaciones de rocas industriales y ornamentales, donde el recurso mineral del cual se sacará beneficio se extrae de un macizo rocoso. Por lo general, la explotación de una cantera se suele hacer por banqueo, con uno o varios niveles.

En las explotaciones de rocas industriales se extrae un todo-uno fragmentado, apto para alimentar a las plantas de tratamiento para la obtención de áridos u otros materiales de construcción, la fabricación de cementos, productos industriales, etc., siendo común en las canteras la presencia de bancos de gran altura, sobre todo en canteras antiguas que ya han sido abandonadas. Entre las canteras, se destacan las explotaciones de áridos para machaqueo, pues estas son las más abundantes y cercanas a zonas urbanas. Herrera, Herbert (2006) distingue diversas tipologías entre las canteras.

- Canteras en terrenos horizontales, que se inician en forma de trinchera, hasta alcanzar la profundidad del primer nivel. Se van ensanchando a continuación del hueco creado
- Canteras de ladera con numerosos bancos de poca altura, o con pocos bancos de gran altura.
- Supercanteras o superquarries.

La extracción de áridos y de otros materiales de construcción tienen una proporción de aprovechamiento alto (material útil/material estéril), por lo que la generación de residuos mineros es muy baja, lo que imposibilita el relleno de los huecos mineros. Dentro del sector de rocas industriales, es posible encontrar algún tipo de minería de transferencia, aunque no suele ser muy común, como es el caso de la explotación de sepiolita de Calatayud, Zaragoza.

En las explotaciones de rocas ornamentales se obtienen grandes bloques paralelepípicos, que posteriormente son cortados y pulidos en placas de diferentes espesores según su uso. Estas explotaciones se caracterizan por la presencia de un gran número de bancos con planos de corte más o menos limpios, dependiendo del método de corte empleado (hilo diamantado, rozadoras de brazo, etc.). Según Herrera, Herbert (2006), en estas explotaciones también se pueden distinguir diferentes tipos:

- Canteras en foso sobre terrenos llanos, en las que la explotación se encuentra totalmente confinada por taludes verticales o subverticales.
- Canteras en ladera sobre terrenos en pendiente.
- Canteras de nivelación en terrenos montañosos.

En las explotaciones de roca ornamental es común encontrar escombreras que incluyen estériles procedentes del desmonte del terreno e incluso material de cantera desechado por la presencia de

fracturas, rocas oxidadas e impurezas que no hacen posible su comercialización por no cumplir las calidades técnicas exigidas y otros rechazos de tratamiento, como los lodos. En el caso de las escombreras de mármol, caliza marmórea y granito, suele ser común una amplia variedad de tamaños del material con bloques que pueden medir desde centímetros hasta varios metros. Estos residuos como áridos han sido valorizados a través de la instalación de plantas de machaqueo y trituración dentro de la misma explotación.



**Figura 9. Cantera de rocas industrial, calizas para áridos de machaqueo en Camargo, Cantabria. Fuente: guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de la construcción y la demolición (RCD), Ministerio para la Transición Ecológica (2018)**

#### - Graveras

Explotaciones de las cuales se extraen materiales detríticos no consolidados como las arenas y las gravas, para producción de áridos. En función de la afección al nivel freático se pueden clasificar en: graveras secas, graveras con explotación bajo lámina de agua y graveras con rebajamiento del nivel freático. Las graveras secas son excavaciones tridimensionales que se hacen hasta alcanzar el fondo o lecho del depósito de gravas y arenas por encima del nivel del río o del nivel freático. Dependiendo de la profundidad de la extracción, pueden presentar un frente único o puede ser escalonado en varios bancos.

Las graveras con explotación bajo lámina de agua, son cuando el nivel freático se ve afectado, ya que la extracción se realiza parcial o totalmente bajo el agua. Generalmente, se realiza en un solo banco, el cual tiene una altura igual a la de la profundidad del hueco inundado. En este caso, los terrenos afectados son restaurados como lagunas. Y, las graveras con rebajamiento del nivel freático, se realizan mediante la construcción de pozos, zanjas, etc.



**Figura 10. Gravera abandonada en Fuentes de Ebro, Zaragoza. Fuente: guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de la construcción y la demolición (RCD), Ministerio para la Transición Ecológica (2018)**

## Criterios de selección de huecos mineros para su rehabilitación con RCD

Los huecos mineros aptos para rehabilitación con RCD, se seleccionan con base a un conjunto de criterios que reúne factores medioambientales, sociales, y técnico-económicos.

En este sentido, primero se realiza una evaluación preliminar con el fin de determinar la idoneidad de estos para la rehabilitación con este tipo de residuos. Así, los huecos mineros más idóneos serán los que cumplan con las siguientes condiciones:

- Que proporcionen mayor protección ambiental por sus características geológicas, geotécnicas, hidrogeológicas, etc.
- Se localicen en medios poco vulnerables a la contaminación y poco expuestos a riesgos naturales que pudieran comprometer la integridad de la estructura.
- Se encuentren próximos a instalaciones de gestores RCD y/o núcleos de población que puedan garantizar el suministro de material suficiente para el relleno y reducir los costos del transporte.
- Que la recuperación del espacio degradado se considere prioritaria, por contribuir de forma significativa a la mejora de la calidad ambiental y del paisaje o a la protección del patrimonio natural y cultural.

Aun así, en concordancia con lo establecido por el Real Decreto 975/2009, en las explotaciones mineras donde se generen grandes volúmenes de residuos mineros, debe priorizarse el uso de los mismos para el relleno de los huecos residuales, siempre que sea técnica y económicamente viable.

Por tanto, el primer criterio de exclusión para la selección de un hueco minero para su relleno con RCD, sería: *la falta o escasez de residuos mineros propios, o la inviabilidad técnico económica del uso de los mismos para poder llevar a cabo la restauración topográfica.*

La definición de criterios de exclusión facilita la que identifiquen y eliminen del proceso de selección los huecos mineros que no se consideran idóneos para su rehabilitación con RCD. Para ello, se han incluido muchos de los criterios restrictivos para la ubicación de vertederos de inertes propuestos en el documento de Desarrollo Técnico del RD 1481/2001, además de otros orientados a la protección del patrimonio natural y cultural. Entre estos últimos, es importante destacar la exclusión de zonas mineras catalogadas como inventariadas o como lugares de interés geológico, siempre y cuando los trabajos de rehabilitación y relleno del hueco minero impliquen la pérdida o destrucción del valor patrimonial, declaradas como bienes de interés cultural

Los criterios de exclusión de huecos mineros para su rehabilitación con RCD son los siguientes:

- 1) huecos mineros situados en zonas con evidencias de un peligro significativo asociado a deslizamientos, movimientos en masa o caída de bloques, o que estén localizados a una distancia igual o inferior a 100 metros de estas zonas inestables, así como evidencias de riesgo de subsidencia
- 2) huecos mineros situados en calderas, conos, cráteres volcánicos activos o inactivos, si se encuentran catalogados de interés cultural protegido o en trámites de protección, y en zonas con evidencia de un peligro significativo asociado a procesos de erupción.
- 3) huecos mineros situados en áreas kársticas con inestabilidades (asientos, colapsos, etc.), o con colonias estables quirópteros (murciélagos) o patrimonio catalogado como de interés cultural, histórico-artístico, turístico o deportivo que pudieran verse afectados, así como los localizados a una distancia igual o inferior a 100 m de estas zonas kársticas inestables y/o con valor patrimonial natural o cultural.
- 4) Huecos mineros situados en zonas en las que exista un peligro significativo de aludes por acumulación estacional de nieve o en áreas que pudieran verse afectadas potencialmente.
- 5) Huecos mineros situados en zonas de Dominio Público Hidráulico definido en la Ley de Aguas (Capítulo I, Título I, RDL 1/2001), riveras y márgenes de servidumbre (5 m) y policía (100 m) (Capítulo II del Título 1 del RDL 1/2001), así como en el Dominio Público Marítimo Terrestre (Ley de Costas 22/1998, modificada por la Ley 2/2013).
- 6) Huecos mineros en los que la distancia vertical entre la cota mínima del fondo de excavación del vaso o de apoyo del sistema de impermeabilización artificial, si fuera necesario su uso,



respecto al nivel freático medio se igual o inferior a 2 metros, que el nivel freático pueda alcanzar dicha cota en un periodo húmedo.

- 7) Huecos mineros que pudieran localizarse en humedales RAMSAR, o incluidos en el inventario español de Zonas Húmedas u otros inventarios realizados por las Comunidades Autónomas.
- 8) Huecos mineros en la zona de inundación de periodo de retorno de 100 años.
- 9) Huecos mineros próximos a embalses para abastecimiento, situados aguas arriba de estos a menos de 500 m.
- 10) Huecos mineros que hayan sido catalogados e inventariados como Lugares de Interés Geológico, cuando el relleno represente su destrucción o la pérdida del valor patrimonial.
- 11) Huecos mineros declarados bienes de interés cultural u otra figura de protección similar, y correspondiente perímetro de protección, o que el proyecto de relleno o restauración pueda representar una pérdida irreversible de patrimonio cultural catalogado o inventariado.
- 12) Huecos mineros que puedan afectar una captación de agua (subterránea o superficial) para abastecimiento con un volumen medio diario igual o superior a 10 m<sup>3</sup> o que abastezca a más de 50 personas, o al perímetro de protección de aguas minerales y termales aprobado por legislación específica, situados a menos de 100 m aguas abajo, o en la dirección del flujo del agua subterránea, si esta se conoce. Todos estos elementos expuestos deben estar incluidos en el registro de zonas protegidas de acuerdo con la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE).

Además, es importante considerar los principales condicionante técnico-económicos que encarecen un proyecto de relleno, para garantizar la protección de la población y el medio ambiente, la vulnerabilidad del medio ante el impacto que pudiera generar el uso de estos residuos y el carácter prioritario de la restauración ambiental, entre otros. Lo que se busca es una selección o elaboración de una lista preliminar de prioridades de los huecos mineros en función del grado de idoneidad de los mismos para su rehabilitación con RCD. Respecto a los factores evaluados, solo se han tenido en cuenta los más relevantes, y no todos los que se podrían contemplar en los análisis detallados del emplazamiento y caracterización del hueco de excavación como los que se realizan en los estudios de evaluación de impacto ambiental o en planes de restauración.

La idoneidad de un hueco minero para su restauración con RCD, se valora mediante un índice de idoneidad (ID), en términos cualitativos: baja, media, alta y muy alta, de acuerdo con la siguiente escala de valoración:

**Tabla 5. Escala de valoración de la idoneidad de los huecos mineros para su rehabilitación con RCD**

Valores del índice de idoneidad (ID)	Clase de idoneidad
≤ 1	Baja
> 1-2	Media
> 2-3	Alta
> 3-4	Muy Alta

**Fuente: guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de la construcción y la demolición (RCD), Ministerio para la Transición Ecológica (2018)**

Esta se escala se aplica a los componentes que definen el índice de idoneidad: condicionantes técnico-mineros, coste del transporte, garantía de suministro de RCD, y prioridad de restauración de espacios degradados por minería.

### Condicionantes técnico-mineros ( $C_{MIN}$ )

Reúne todos los aspectos ambientales y de otro tipo, que condicionen el diseño técnico minero del proyecto de rehabilitación del hueco excavado, principalmente se relacionan con la protección de aguas subterráneas ( $AG_{SUB}$ ), la protección de aguas superficiales ( $PA_{SUP}$ ), con la erosión o inestabilidad de taludes de la zona excavada ( $ER_{EST}$ ), que pudiesen afectar la seguridad durante las operaciones de relleno, o a la estabilidad geotécnica del mismo luego de la restauración.

#### - Factor hidrogeológico ( $AG_{SUB}$ )

Este es uno de los aspectos que más condicionan la idoneidad de un hueco minero para ser restaurado con RCD o para el relleno de los huecos de excavación. La probabilidad de afección de las aguas subterráneas se evalúa mediante este factor que considera las características hidrogeológicas del hueco minero, la localización del nivel freático, la presencia y vulnerabilidad de masas de agua subterránea que pudiesen verse afectadas. Además de otros elementos expuestos como manantiales, fuentes o pozos.

Las características hidrogeológicas de un hueco de explotación ( $H_{SUB}$ ) se refieren al efecto barrera o a la baja permeabilidad del terreno respecto a la infiltración de lixiviados que pudiesen ser generados por los residuos. Aunque los RCD y las tierras de excavación que se utilizan en las restauraciones mineras deben ser inertes para las operaciones de valorización, es posible que en algunos casos las concentraciones de sulfatos en los lixiviados superen los valores límites establecidos por la Orden AAA/661/2013 para este tipo de residuos, dependiendo del fondo geológico regional y materias primas minerales, utilizadas en el sector de la construcción en la zona. La infiltración de estas aguas sulfatadas puede producir procesos de contaminación en los acuíferos afectados, salvo que el fondo hidroquímico natural de sus aguas presente elevadas concentraciones de sulfatos. La normativa que regula la eliminación de residuos en vertederos inertes, de aplicación en la remodelación de huecos mineros con RCD, obliga que en los mismos exista una barrera geológica natural con un coeficiente de permeabilidad ( $k$ ) de máximo  $1 \times 10^{-7}$  m/s, de un espesor de mínimo 1 metro, a fin de garantizar la protección de las aguas subterráneas y del suelo. Si se carece de esta barrera, la normativa impone, salvo algunas excepciones y bajo previa autorización del órgano ambiental competente, la construcción de barreras artificiales (capas de mineral, geosintéticos, etc.) de no menos de 0.5 m de espesor.

El criterio que se denomina *características hidrogeológicas del hueco minero*, es evaluado a través de la permeabilidad o conductividad hidráulica de las litologías que lo conforman. Este parámetro tiene un carácter técnico-económico, ya que informa el grado de protección del medio geológico frente a la contaminación de los recursos hídricos subterráneos por lixiviados de los RCD y la necesidad de barreras artificiales para alcanzar el nivel de impermeabilización que la normativa exige, lo que implica un incremento significativo de los costos de acondicionamiento del hueco. Para evaluar este criterio, se consideran las conductividades hidráulicas de distintos rocas y sedimentos como son las calizas kársticas, los basaltos permeables, las rocas ígneas y metamórficas fracturadas, las calizas y dolomías, las areniscas, las pizarras, las lutitas marinas no meteorizadas, tilitas glaciares, los limos, las arenas limosas, las arenas lavadas y las gravas.

También, se debe considerar el criterio de la vulnerabilidad de las masas de agua subterránea ( $V_{SUB}$ ) que puedan resultar afectadas. La probabilidad de afección de estos recursos, dependerá de su exposición. Así, una vez se confirme la existencia del acuífero en la zona, se evalúa su vulnerabilidad a la contaminación de manera que, a mayor vulnerabilidad, menor es la protección natural y viceversa. La vulnerabilidad se puede evaluar mediante distintos métodos que pueden ser matemáticos, de simulación o indexados (Jiménez Madrid, 2011). Para los fines de una evaluación preliminar, son de utilidad los métodos de índices y superposición cartográfica, ya que hacen que el proceso sea más rápido y menos costoso, pero tienen una mayor incertidumbre frente a otros métodos. Entre los métodos indexados se pueden encontrar los siguientes: DRASTIC (Aller et al, 1987), GOD (Foster, 1987), SINTAGS (Civita et al, 1990), AVI (Van Stempwoort et al, 1992), EKv (Auge, 1995), BGR (BGR-LANDER, 1995), DRASTIC reducido (DGOHCA-IG-ME, 2002), o en el caso específico de acuíferos kársticos los métodos EPIC (Doerfliger & Zwahlen, 1997) y COP (Vías et al., 2006), entre otros. Además, se pueden usar cartografías de vulnerabilidad de acuíferos y masas de agua subterránea realizadas por algunas Comunidades Autónomas, o los *Mapas de Vulnerabilidad Intrínseca de las Masas de Agua Subterránea Intercomunitarias: Detríticas y Mixtas o Carbonatadas*, realizados por la Dirección General del Agua y el Instituto Geológico y Minero de España.

Otro criterio que se debe considerar dentro de la evaluación preliminar es la profundidad del nivel freático ( $P_{NF}$ ). En general, quedan excluidos los huecos de excavación en los que la profundidad media del nivel freático sea menor o igual a 2 metros, o que se pueda alcanzar esta cota en un periodo húmedo. Flores, Martínez *et al.* (2010), proponen una clasificación de aptitud de RCD para restauración minera en función de la litología del hueco receptor y la profundidad del nivel freático como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 6. RCD recomendados para relleno mineros en función del perfil geológico y la profundidad del nivel freático**

Perfil geológico	Profundidad del nivel freático	Tipo RCD recomendada		
		Tipo I (hormigón)	Tipo II (cerámica/mixto)	Tipo III (aglomerados)
Gravas y arenas limpias	≤ 3m			
	> 3 m y ≤ 10 m	x		
	> 10 m	x	x	
	Gravas secas Sin nivel freático en las gravas. Se atenderá a las condiciones de las rocas subyacentes.	x	x	x
Gravas y arenas con matriz limo-arcillosa	≤ 0.5 m			
	> 0.5 m y ≤ 3 m	x		
	> 3m y ≤ 10 m	x	x	
	> 10 m	x	x	x
Arcillas y imos arcillosos Rocas masivas no karstificadas (esquitos, pizarras, margas, calizas no karstificadas)	≤ 0.5 m			
	> 0.5 m y ≤ 3 m	x	x	
	> 3 m	x	x	x
Yesos masivos no karstificados	≤ 0.5 m			
	> 0.5 m	x	x	x
Calizas y yesos karstificados (con cavidades y huecos bien desarrollados, grietas abiertas)	≤ 10 m	x		
	> 10 m	x	x	
Calizas débilmente karstificadas y fisuradas	≤ 1 m			
	> 1 m y ≤ 5 m	x		
	> 5 m	x	x	

**Fuente: guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de la construcción y la demolición (RCD), Ministerio para la Transición Ecológica (2018)**

Además, es importante considerar la distancia a captaciones de agua para abastecimiento o consumo humano (manantiales, pozos, etc.) ( $M_{SUB}$ ) que proporcionen un volumen diario de agua igual o mayor a 10 m<sup>3</sup>, o abastezcan más de 50 personas, así como zonas o perímetros de protección de aguas minerales o termales aprobados por legislación específica, incluidos en el Registro de Zonas Protegidas según la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE).

Considerando algunas metodologías de evaluación de riesgos aplicada a suelos contaminados o residuos mineros, se excluyen algunos elementos expuestos a menos 100 m aguas abajo, o en la dirección del flujo del agua subterránea, si es que esta se conoce, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 7. Criterios de valoración de la idoneidad de los huecos mineros para su rehabilitación con RCD.**

<b>Características hidrogeológicas del hueco de explotación</b>	<b>H<sub>SUB</sub></b>
Calizas, dolomías y yesos muy karstificados con cavidades o huecos bien desarrollados	Exclusión
<b>Permeabilidad alta:</b> arenas limpias, gravas	1
<b>Permeabilidad moderada:</b> calizas, dolomías y yesos débilmente karstificados o fisurados; rocas ígneas y metamórficas fracturadas; arenas limosas.	2
<b>Permeabilidad baja:</b> areniscas, calizas, dolomías y yesos masivos; limos; limos arenosos; arcilla limosa	3
<b>Permeabilidad muy baja:</b> arcillas y margas compactas; rocas ígneas y metamórficas; pizarras; tillitas	4
<b>Vulnerabilidad de las masas de agua subterránea</b>	<b>V<sub>SUB</sub></b>
Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación alta o muy alta	1
Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación media	2
Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación Baja	3
Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación muy baja	4
<b>Profundidad del nivel freático</b>	<b>P<sub>NF</sub></b>
≤ 2m	Exclusión
> 2-3 m	1
> 3-5 m	2
> 5-10 m	3
> 10 m	4
> 3 m litologías impermeables	4
Sin nivel freático	4
<b>Distancia a captaciones de agua para abastecimiento</b>	<b>M<sub>SUB</sub></b>
< 100 m	Exclusión
100-< 200 m	1
200- < 500 m	2
500-< 1000 m	3
≥ 1000 m	4

**Fuente: guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de la construcción y la demolición (RCD), Ministerio para la Transición Ecológica (2018)**

Teniendo en cuenta estos factores, se evalúa el factor hidrogeológico (AG<sub>SUB</sub>), realizando la suma ponderada estos, usando la siguiente ecuación:

$$AG_{SUB} = 0.3H_{SUB} + 0.3V_{SUB} + 0.3P_{NF} + 0.1M_{SUB}$$

#### **Proximidad a masas de aguas superficiales (PA<sub>SUP</sub>)**

Así mismo, es importante considerar el factor de *proximidad a masas de aguas superficiales (PA<sub>SUP</sub>)*, que evalúa la posible afección de las mismas por efluentes y escorrentías procedentes de áreas

mineras, restauradas con RCD. La distancia disminuye la probabilidad de que dichos efluentes puedan alcanzar cuerpos de agua superficial. Al mismo tiempo, favorece una reducción de la carga de sólidos en suspensión y contaminantes, en este caso sulfatos por infiltración, deposición, precipitación y otros procesos de atenuación natural al interactuar con el terreno. La guía de restauración de huecos mineros con RCD ha excluido los huecos mineros situados a menos de 30 m de cursos de agua superficiales para su restauración con RCD. Este factor se evalúa de la siguiente manera:

**Tabla 8. Evaluación del factor de proximidad a masas de aguas superficiales.**

<b>Factor de proximidad a masas de aguas superficiales (PA<sub>SUP</sub>)</b>	
<b>Distancia del hueco a una masa de agua superficial</b>	<b>PA<sub>SUP</sub></b>
< 30 m	Exclusión
30-100 m	1
> 100 – 500 m	2
> 500- 1.000 m	3
> 1.000 m	4

**Fuente: guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de la construcción y la demolición (RCD), Ministerio para la Transición Ecológica (2018)**

El riesgo de salinización por efluentes de RCD con altas concentraciones de sulfatos, dependerá de la naturaleza hidroquímica y del caudal o capacidad de dilución de las masas de agua receptores. La magnitud del impacto será menor en aguas sulfatadas y caudalosas. Sin embargo, estos factores no han sido contemplados en la metodología, ya que exigen un nivel de conocimiento que va más allá de un análisis de carácter preliminar, adoptándose un criterio conservador de máxima vulnerabilidad a todas las masas de agua superficiales expuestas.

#### **Grado de erosión de los taludes del hueco y/o la presencia de inestabilidades (ER<sub>EST</sub>)**

el grado de erosión de los taludes del hueco y/o la presencia de inestabilidades (ER<sub>EST</sub>) pueden incrementar significativamente los costes económicos derivados del acondicionamiento y saneado del mismo, para poder llevar a cabo las operaciones de relleno en condiciones de seguridad o garantizar la estabilidad geotécnica y la protección ambiental tras la restauración. Los criterios de valoración de este factor en suelos y rocas blandas, se han basado en la clasificación de estados erosivos de los taludes de depósitos de residuos mineros abandonados diseñada para la evaluación de este tipo de instalaciones (Alberruche *et al.*, 2014), como se expone en la siguiente tabla:

**Tabla 9. Grado de erosión de los taludes del hueco y/o presencia de inestabilidades (ER<sub>EST</sub>)**

<b>Huecos excavados en suelos y rocas blandas</b>	<b>ER<sub>EST</sub></b>
Erosión hídrica extrema con abundantes regueros y cárcavas tanto grandes como pequeñas, frecuentes fenómenos de tubificación y/o presencia de movimientos en masa (deslizamiento, etc.)	1
Abundantes regueros con frecuentes cárcavas (> 1 m de profundidad) y algunos fenómenos de tubificación. O presencia de grietas de tracción verticales y en cabecera, significativas desde el punto de vista de estabilidad del talud.	2
Erosión con regueros frecuentes o abundantes con pocas cárcavas y pequeñas (de 30 cm a 1 m de profundidad)	3
Erosión laminar o erosión con pocos regueros (< 30 cm de profundidad)	4
<b>Huecos excavados en rocas duras (primera opción)</b>	<b>ER<sub>EST</sub></b>
Roturas generalizadas del talud o afección a uno o varios bancos en macizos rocosos muy fracturados y alterados	1
Macizo rocoso moderadamente fracturado y alterado. Riesgo de algún pequeño deslizamiento.	2
Macizo rocoso ligeramente fracturado y meteorizado. Riesgo de caída de algún bloque pequeño aislado.	3
Macizo rocoso inalterado sin fracturación o muy poco fracturado	4
<b>Huecos excavados en rocas duras (segunda opción)</b>	<b>ER<sub>EST</sub></b>
<b>Clasificación RMR (Bieniaeski, 1973; 1979; 1989)</b>	
Macizo rocoso de clase IV y V de calidad mala y muy mala (RMR ≤ 40)	1
Macizo rocoso de clase III de calidad media (RMR entre 41 y 60)	2
Macizo rocoso de clase II de calidad buena (RMR entre 61 y 80)	3
Macizo rocoso de clase I de calidad muy buena (RMR entre 81 y 100)	4
<b>Clasificación SMR (Romana, 1995)</b>	
Talud totalmente inestable o inestable (SMR ≤ 40)	1
Talud parcialmente estable (SMR entre 41 y 60)	2
Talud estable (SMR entre 61 y 80)	3
Talud totalmente estable (SMR entre 81 y 100)	4

**Fuente: guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de la construcción y la demolición (RCD), Ministerio para la Transición Ecológica (2018)**

En contraparte, en taludes de huecos de excavación en rocas duras, serán más significativos los problemas de inestabilidad asociados a las discontinuidades del macizo rocoso, frente a los derivados de la alteración o meteorización del mismo. En este tipo de taludes, al igual que en el caso anterior, se proponen criterios de valoración que pueden ser obtenidos directamente en el sitio mediante una inspección visual (primera opción en la tabla). No obstante, es posible el uso de criterios basados en clasificaciones geomecánicas del macizo rocoso de base empírica como la clasificación RMR (Rock

Mass Rating) desarrollada por Bieniawski (1973, 1979 y 1989), que considera diferentes aspectos como la resistencia de la roca matriz, las condiciones de diaclasado y su posición relativa respecto a la excavación y el efecto del agua (Ayala Carcedo y Andreu, 2006; González de Vallejo *et al.*, 2006); o bien, la clasificación SMR (Slope Mass Rating) que es una adaptación de la clasificación de Bieniawski para taludes (Romana, 1995). Sin embargo, el uso de este tipo de clasificaciones supone un conocimiento de campo mucho más exhaustivo y la realización de ensayos *in situ*. La valoración del factor  $ER_{EST}$  mediante alguno de estos índices se observan en la anterior tabla (segunda opción). En todo caso, la asignación de los valores a este factor parte de la premisa de que un mayor grado de erosión o gravedad de los problemas de estabilidad detectados, implica por lo general la aplicación de técnicas más complejas y/o una mayor inversión económica en las labores de acondicionamiento de los huecos de excavación, lo que representa un valor desde este factor desde el punto de vista de la idoneidad más bajo y viceversa.

### **Evaluación de los condicionantes técnico-mineros ( $C_{MIN}$ )**

El componente de los condicionantes técnico-mineros  $C_{MIN}$  es evaluado finalmente mediante la agregación ponderada de los factores descritos anteriormente: factor hidrogeológico ( $AG_{SUB}$ ), factor de proximidad a masas de agua superficiales ( $PA_{SUP}$ ) y el grado de erosión de los taludes del hueco y/o presencia de inestabilidades ( $ER_{EST}$ ), de acuerdo con la siguiente formula:

$$C_{MIN} = 0.7 AG_{SUB} + 0.2 PA_{SUP} + 0.1 ER_{EST}$$

Los huecos mineros que presentan valores  $C_{MIN}$  más altos serán aquellos que se localicen en zonas menos vulnerables o que proporcionen la máxima protección sobre las aguas subterráneas y superficiales, faciliten las operaciones de relleno en condiciones de seguridad y garanticen la estabilidad geotécnica del mismo con el menor coste técnico y económico y viceversa.

### **Coste de transporte y suministro de RCD ( $CT_{SUM}$ )**

Para la determinación de la idoneidad se ha contemplado el componente coste de transporte y suministro de RCD, cuya valoración va a depender de la distancia de los huecos mineros a los núcleos urbanos ( $D_{NUC}$ ) y del potencial de producción de RCD de los mismos ( $P_{NUC}$ )

#### **- Distancia a centros de producción de RCD ( $D_{NUC}$ )**

Este factor busca evaluar la viabilidad de las restauraciones en función del coste del transporte. La naturaleza de este tipo de residuos de elevado volumen propicia que este sea alto y condicione el uso de los mismos en la rehabilitación minera. En el primer Plan Nacional de Residuos de Construcción 2001-2006, se hace referencia al “principio de proximidad” como uno de los principales principios de gestión de los RCD. En dicho plan se recoge la previsión de una red de centros de transferencia en un radio de 25 km alrededor de los núcleos urbanos, y de 15 km en el caso de núcleos de población importantes. La “Guía técnica para el relleno de cantera con materiales naturales de excavación” (IHOBE, 2005), utiliza esta última distancia a centros urbanos como criterio de selección, además de otros.

Sin embargo, para algunos autores, la distancia considerada crítica para el transporte de RCD desde los centros de producción, a los vertederos o instalaciones de gestión, o transferencia en su caso, es de 30 km (Moreno Cayuela, 2000; IHOBE, 2012). Esta distancia crítica ha quedado recogida también en diversos planes autonómicos de gestión de RCD como es el caso de las Comunidades Autónomas de Madrid, Castilla-La Mancha, Comunidad Foral de Navarra, etc. se ha tomado también como referencia la explotación de un recurso mineral de bajo valor económico como es el caso de los áridos, que se encuentra condicionado por los elevados costes del transporte. En tal caso, se considera que a partir de 40 km la extracción de áridos no es viable económicamente (ANEFA, 2008; Casado, 2010), salvo algunas excepciones. De todas maneras, los costes por concepto de transporte se elevan notablemente a partir de una distancia de 50 km (SIEMCALSA, 2008; Mel *et al.*, 2014).

Teniendo en cuenta que el precio del material de rechazo del proceso de reciclado de los RCD es más barato que los áridos naturales, es posiblemente el coste del transporte el factor que

va a condicionar el uso de estos residuos en la restauración minera. Es por esto que en la guía se plantea que los huecos situados en un radio de hasta 15 km de los centros productores de RCD sean considerados como los más idóneos de acuerdo con este concepto.

- **Tamaño de población de los núcleos urbanos ( $P_{NUC}$ )**

El tamaño de población de los núcleos urbanos ( $P_{NUC}$ ) evalúa el potencial de producción de los RCD en función del número de habitantes y, por tanto, el potencial de disponibilidad de material para garantizar el relleno de los huecos mineros cercanos. En 2015, la producción media en España de RCD por habitante era de 0,435 T/hab/año (FERCD,2017). En España, solo seis municipios tenían más de 500.000 habitantes: Málaga, Zaragoza, Sevilla, Valencia, Barcelona y Madrid, y solo las dos últimas ciudades tenían una población mayor a 1.000.000 de habitantes. Estas grandes ciudades junto con sus áreas metropolitanas constituyen importantes centros generadores de RCD en España. Para efectos de la valoración de idoneidad de los huecos mineros para su rehabilitación con RCD, la guía ha asignado a los núcleos de población de más de 500.000 habitantes el valor más alto respecto al potencial suministro de RCD para restauración minera.

- **Evaluación del coste de transporte y suministro de RCD ( $CT_{SUM}$ )**

Por último, el factor coste de transporte y suministro de RCD ( $CT_{SUM}$ ) es evaluado integrando los dos componentes anteriores, que son valorados de acuerdo con los criterios recogidos en la siguiente tabla, y según la siguiente ecuación:

$$CT_{SUM} = 0.7D_{NUC} + 0.3P_{NUC}$$

**Tabla 10. Factor coste de transporte y suministro de RCD ( $CT_{SUM}$ )**

Distancia a centros de producción de RCD	$D_{NUC}$
> 50 km	1
> 30 - 50 km	2
> 15 - 30 km	3
≤ 15 km	4
Tamaño de población	$P_{NUC}$
< 10.000 habitantes	1
10.000- 100.000 habitantes	2
> 100.000 - 500.000 habitantes	3
> 500.000 habitantes	4

**Fuente: guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de la construcción y la demolición (RCD), Ministerio para la Transición Ecológica (2018)**

- **Prioridad de restauración de espacios degradados por minería ( $PR_{REST}$ )**

Este factor va a depender de la sensibilidad de los espacios y/o ecosistemas afectados y del grado de conservación, la calidad del paisaje y la incidencia visual de la alteración minera.

- **Calidad ambiental y/o calidad visual del paisaje ( $C_{AMB}$ )**

La urgencia en la rehabilitación es expresada en primer lugar a través del componente *calidad ambiental y/o calidad visual del paisaje* ( $C_{AMB}$ ). Se considera que los espacios naturales más sensibles o ecosistemas de más alto valor, o con una elevada calidad visual del paisaje, son los más prioritarios para su restauración. En este caso, la rehabilitación de estos espacios contribuye a mejorar, conservar o proteger el patrimonio natural más valioso.



- **Accesibilidad visual ( $A_{VIS}$ )**

Para evaluar la incidencia visual de las zonas degradadas solo se ha considerado la *accesibilidad visual* ( $A_{VIS}$ ) o visibilidad del impacto paisajístico generado por la minería desde las zonas más frecuentadas por la población o con mayor potencial de observadores, es decir, núcleos urbanos y vías de comunicación (Alberruche *et al.*, 2015). No se ha considerado la fragilidad visual intrínseca o capacidad de absorción visual de las alteraciones mineras por el entorno, adoptando un criterio conservador de máxima fragilidad visual en todos los casos. La accesibilidad visual ha sido valorada en función del tamaño de población de los núcleos urbanos y/o vías de comunicación, según intensidades medias diarias de tráfico o el sistema jerárquico de la red de carreteras, desde donde las conas mineras son visibles. A mayor accesibilidad visual, mayor prioridad de recuperación de un espacio degradado, los criterios de valoración asignados son abiertos, pudiendo en algunos casos incluir en la evaluación nuevos elementos con alto potencial de observación (ferrocarril de cercanías de grandes ciudades con elevado tránsito de viajeros, usos recreativos y de ocio con gran afluencia de visitantes, etc.). En la tabla 11 se recogen los criterios que definen las clases de accesibilidad visual

**Tabla 11. Clases de accesibilidad visual**

<b>Clase</b>	<b>Criterios para la definición de la clase de accesibilidad visual (AVIS)</b>
Baja	No visible desde las vías de comunicación o núcleos urbanos
Media	Visible desde núcleos de población de < 5.000 habitantes Visible desde carreteras de la red local y autonómica Visible desde vías con IMD < 5.000
Alta	Visible desde núcleos de población de entre 5.000 y 50.00 habitantes Visible desde carreteras de la Red del Estado (RCE) Visible desde vías con IMD entre 5.000 y 10.000 vehículos
Muy alta	Visible desde núcleos de > 50.000 habitantes Visible desde autopistas y autovías (independiente de la titularidad) Visible desde vías con IMD de más de 10.000 vehículos

**Fuente: guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de la construcción y la demolición (RCD), Ministerio para la Transición Ecológica (2018)**

- **Evaluación de la prioridad de restauración de espacios degradados por minería ( $PR_{REST}$ )**

El factor de prioridad de restauración de espacios degradados por minería ( $PR_{REST}$ ) es valorado a partir de los componentes de calidad ambiental del paisaje ( $C_{AMB}$ ) y accesibilidad visual ( $A_{VIS}$ ), evaluados ambos con los criterios recogidos en la tabla 12 aplicando la siguiente ecuación:

$$PR_{REST} = 0.6C_{AMB} + 0.4A_{VIS}$$

**Tabla 12. Criterios de valoración del factor prioridad de restauración de espacios degradados por minería ( $PR_{REST}$ )**

<b>Calidad ambiental y/o calidad visual del paisaje</b>	<b>C<sub>AMB</sub></b>
Espacios muy degradados ambientalmente y calidad visual del paisaje baja o muy baja	1
Espacios moderadamente degradados y/o calidad visual del paisaje media	2
Ecosistemas bien conservados y/o calidad visual del paisaje alta	3
Áreas sensibles o espacios naturales protegidos y/o calidad visual del paisaje muy alta	4
<b>Accesibilidad visual</b>	<b>A<sub>vis</sub></b>
Baja	1
Media	2
Alta	3
Muy Alta	4

**Fuente: guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de la construcción y la demolición (RCD), Ministerio para la Transición Ecológica (2018)**

- **Índice de idoneidad del hueco para su rehabilitación con RCD (ID)**

El índice de idoneidad (ID) será función de todos estos componentes descritos anteriormente: condicionante técnico- mineros, coste de transporte y suministro de RCD y la prioridad de restauración de espacios degradados por minería. La determinación del mismo se lleva a cabo aplicando la siguiente ecuación.

$$ID = 0.6C_{MIN} + 0.3CT_{SUM} + 0.1PR_{REST}$$

El índice de idoneidad se aplica sobre todos los huecos considerados susceptibles de ser rehabilitados con RCD, y que no han sido previamente excluidos por la concurrencia de alguno de los criterios de exclusión definidos anteriormente. Este índice pone de manifiesto la aptitud del hueco minero para el relleno con este tipo de residuos en función de la vulnerabilidad del medio, el esfuerzo técnico y el coste económico necesarios para garantizar la protección ambiental, la viabilidad del uso de estos materiales en función del coste de transporte y distancia a los centros productores de RCD, y la prioridad social de protección y mejora del patrimonio natural y paisajístico más valiosos.

Los huecos mineros menos idóneos para su relleno con RCD ( $ID \leq 1$ ) serán aquellos que presentan un mayor riesgo ambiental, lo que implica una mayor inversión económica en tecnología para su eliminación, así como un elevado gasto en transporte por situarse lejos de áreas urbanas importantes, en zonas degradadas de escasa incidencia visual, cuya restauración no se considere prioritaria.

Mientras que los más idóneos para su relleno con RCD ( $ID > 3$ ) serán aquellos otros localizados en las proximidades de los principales centros productores de RCD, donde el impacto ambiental pueda minimizarse al menor coste técnico y económico, y cuya rehabilitación contribuya de forma significativa a la protección y mejora del patrimonio natural más valioso, incluyendo paisajes de calidad con una alta incidencia visual.

Este índice de idoneidad de carácter multifactorial se inscribe, por lo tanto, en el contexto de un análisis de carácter preliminar que tiene como objetivos:

- a. Seleccionar los huecos mineros aptos para el relleno con RCD.

- b. Valorar, clasificar y ordenar los huecos mineros seleccionados según los grados de idoneidad, a fin de establecer prioridades de actuación respecto a la recuperación de espacios mineros degradados, con este tipo de residuos de construcción y demolición.

En algunos casos, también se consideran criterios de planificación territorial, políticos o de interés social a la hora de establecer una estrategia de recuperación de espacios degradados por la minería o prioridades de actuación, independientemente de los resultados obtenidos de la aplicación del índice de idoneidad, siempre y cuando no concurren ninguno de los supuestos de exclusión recogidos en la metodología.

### Idoneidad de los huecos mineros según la tipología de explotaciones a cielo abierto

Todas las tipologías de huecos mineros pueden ser o no susceptibles de rehabilitación con RCD, siendo siempre necesario una evaluación de la aptitud de cada caso particular del hueco de excavación. Sin embargo, de manera general, en la guía se asigna una idoneidad potencial a cada una de las principales tipologías de huecos mineros, la cual es resumida en la tabla 13.

**Tabla 13. Idoneidad potencial de huecos mineros según tipología, para su rehabilitación con RCD**

Tipología de huecos mineros			Idoneidad Potencial			
			Baja	Media	Alta	Muy Alta
Grandes cortas de minería metálica y carbón			x			
Minicortas de carbón			x	x		
Minería por transferencia: descubiertas, terrazas, etc.			x	x		
Minería de contorno			x	x		
Canteras	Rocas Ornamentales	En materiales impermeables o de permeabilidad: explotaciones de mármol, caliza, pizarra, granito, arenisca, etc., en macizos rocosos masivos o poco karstificados y/o fracturados.		x	x	x
		En materiales de permeabilidad media y alta: explotaciones de mármol, calizas, pizarras, granitos, areniscas, etc., sobre macizos rocosos moderadamente fracturados o karstificados	x			
	Rocas Industriales	En materiales impermeables de permeabilidad baja: explotaciones de arcillas, yesos, áridos de machaqueo en macizos rocosos masivos o poco karstificados y/o fracturados, etc.		x	x	x
		En materiales de permeabilidad media y alta: canteras de áridos de machaqueo en macizos rocosos moderadamente karstificados y/o fracturados, etc.	x			
Graveras	Rocas Industriales	Graveras en terrazas medias y altas	x	x		

		Graveras en aluviales y terrazas bajas	x			
--	--	--	---	--	--	--

**Fuente: guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de la construcción y la demolición (RCD), Ministerio para la Transición Ecológica (2018)**

### **Caracterización de los RCD para relleno de huecos mineros**

El Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras, permite el uso de residuos de procedencia no minera, incluyendo los RCD, para el acondicionamiento y relleno de los huecos de explotación, según lo establecido en su artículo 13.1.d, y de acuerdo con las prescripciones del Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito de vertedero.

Los residuos procedentes de la construcción y la demolición se caracterizan por incluir una gran variedad de materiales de diferente naturaleza. Según establece el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001-2006, el 75% en peso respecto a la producción total, está constituido por escombros de la siguiente manera: ladrillos, azulejos y cerámicas 54%, hormigón 12%, piedras 5%, arena, grava y otros áridos 4%. El 25% restante está integrado por materiales diversos como basura 7%, asfalto 5%, madera 4%, metales 2.5%, vidrios 0.5%, plásticos 1.5%, papel 0.3% y otros materiales 4%.

La composición de los RCD varía según su procedencia, tipo de estructura o edificación, y así mismo, refleja en sus componentes mayoritarios el tipo distribución porcentual de materias primas que son usadas en la industria de la construcción (Romero, 2006). Por ende, es posible encontrar variabilidad en la composición de los RCD, en función de las características de los recursos geológico- mineros, según las diferentes regiones.

Para el 2015, en España, un 32% de los residuos procedentes de la construcción y la demolición eran procedentes de obras de licitación pública, un 24.6% de obras de reforma y rehabilitación, un 18.6% de obra nueva de tipo residencial y un 5.3% de carácter no residencial, un 6.1% de ampliaciones de obra, y un 12.5% de actuaciones que no exigían visado (FERCD, 2017)

Respecto a la valorización de estos residuos, la mayoría de las plantas de reciclaje autorizadas como "gestores recicladores de RCD" con emplazamiento fijo, por lo general, presentan una o dos líneas de producción de áridos reciclados dependiendo de los materiales o RCD procesados: hormigón y escombros mixtos o cerámicos. Estos últimos suelen proceder de la demolición de estructuras de edificación o de obras menores de reparación domiciliaria, siendo común que lleguen a la planta mezclados sin haber sido sometidos a una separación selectiva en el origen. El mayor volumen de RCD que se generan en España pertenecen a esta categoría.

En general, el proceso de reciclaje en estas plantas consta de las siguientes fases:

- a. *Control de admisión de los residuos.* Incluye procedimientos como el pesaje en báscula, identificación y evaluación del material a través de la inspección visual y documental, y el registro de entrada. El fin de esta fase es garantizar que el material cumpla las condiciones de admisibilidad y su trazabilidad durante el proceso.
- b. *Clasificación o triaje primario.* Tiene como finalidad separar, en la zona de descarga, los materiales voluminosos no pétreos reutilizables (madera, plásticos, metales, etc.) de los pétreos, así como aquellos materiales que puedan ser contaminantes o peligrosos mediante procedimientos manuales o mecánicos (martillos hidráulicos, palas y retroexcavadoras) la fracción pétreo, previo fraccionamiento de los grandes bloques hasta un tamaño adecuado con martillos hidráulicos y cizallas, se incorpora al resto del proceso de reciclaje a través de sistemas de alimentación (tolvas, alimentador precribador, etc.)
- c. *Precribado.* Su objetivo es separación de: fracciones pétreas excesivamente grandes para el equipo de trituración a través de un alimentador precribador, o fracciones muy finas mediante diversos sistemas (trómeles, cribas, etc.). en el precribado de finos se produce un rechazo de material pétreo (tamaño 0- 20 mm o 0- 40 mm), de calidad inferior a la zorra que se obtiene

tras el proceso de trituración por el alto contenido de tierra y arena (GERD, 2012). Este material se suele emplear para usos poco exigentes como relleno de jardines, camas de asiento de tuberías, etc., aunque suele ser difícil de comercializar, siendo eliminado en vertedero o acopiado en las plantas de tratamiento. El volumen de material pétreo que es rechazado en el precibado de finos en la línea de producción de áridos reciclados mixto-cerámicos es muy elevado: se estima que puede estar alrededor de un 50% del total de este tipo de RCD que ingresa en las plantas de reciclaje, como ha sido señalado por la mayoría de los gestores consultados, que están cerca de núcleos urbanos con una elevada producción de RCD. Por el contrario, el rechazo de la línea de hormigón suele ser muy bajo, y en la mayoría de los casos suele comercializarse en su totalidad. La valorización de estos materiales de rechazo del precibado de finos, se logra cuando estos son usados como material de relleno de excavaciones y huecos mineros.

- d. *Trituración*. Proceso mecánico de reducción del material pétreo a determinadas fracciones o tamaños. En algunos casos solo se realiza un único tratamiento primario de trituración empleándose normalmente triturados de mandíbula, o en una misma línea de producción también se puede incorporar una trituración secundaria con trituradoras de impacto o de cono.
- e. *Clasificación y limpieza*. Tiene por objeto una separación más fina de materiales no pétreos o impropios, algunos de los cuales pueden ser reutilizados o reciclados, a través del uso de electroimanes para la captación de elementos férricos, cabinas de triaje (plástico, madera, etc.) y sistemas de limpieza con flujo de aire (sopladores o ciclones) o agua (lavadoras, etc.). estos sistemas de clasificación y limpieza pueden localizarse antes o después del proceso de trituración, o en ambas partes.
- f. *Cribado*. Proceso de separación y clasificación del material procesado según granulometrías específicas a través de cribas y cintas transportadoras que van distribuyendo el mismo en distintos acopios.

### **Caracterización básica del residuo de precibado**

Los aspectos más relevantes del análisis de lixiviabilidad de estos residuos de precibado, de acuerdo con la Orden AAA/661/2013, han sido los siguientes: a) únicamente, algo menos de una cuarta parte del total de muestras analizadas de este tipo de RCD cumplían los valores límite de lixiviación de: metales pesados y metaloides, sales solubles (cloruros, fluoruros y sulfatos), índice de fenol, carbono orgánico disuelto (COD) y sólidos totales en disolución (STD) establecidos por dicha orden para residuos "inertes". b) Mientras que el resto de las muestras de este material, la mayor parte de ellas, debían ser calificadas como residuos "no peligrosos" según la normativa debido a:

- El elevado contenido de sulfatos y sólidos totales disueltos presentes en el lixiviado de muchas de ellas fundamentalmente, y muy especialmente en las muestras obtenidas del residuo de precibado de RCD mixto-cerámico, e incluso de hormigón, de gestores autorizados de la Comunidad de Madrid.
- La presencia de concentraciones de antimonio (Sb) en la extracción, estuvo ligeramente por encima del valor límite establecido para residuos inertes, en muestras obtenidas de gestores de RCD del País Vasco, Cantabria, Comunidad Valenciana y Cataluña.

Por otra parte, de las treinta muestras recogidas, sólo se analizaron los contenidos totales de COT (Carbono Orgánico Total), BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos), PCB (Policlorobifenilo, 7 congéneres), HPA (Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos, 16 congéneres) y aceite mineral (C10 a C40) en diez muestras (30% del total) procedentes de plantas de reciclaje de RCD de la Comunidad de Madrid. El resultado en todos los parámetros orgánicos analizados, fueron contenidos totales en todos ellos por debajo del valor límite fijado por la Orden AAA/661/2013 para residuos inertes.

## **Caracterización geotécnica del residuo de precibado para el relleno de huecos mineros.**

Tal como establece el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), los RCD de finos son equiparables, granulométricamente, con los suelos para rellenos de terraplenes. Así mismo, según diversos criterios como el contenido de materia orgánica, sales solubles, y yesos, granulometría, plasticidad del material, colapsabilidad o expansividad del suelo, entre otros; estos materiales de rechazo pueden ser clasificados desde el punto de vista de su uso en terraplenes como suelos tolerables o marginales, según sea el caso, debido al contenido de sales solubles. No obstante, dos muestras de este tipo de material se clasificaron como suelos “adecuados” para este tipo de rellenos: las dos corresponden con residuos de precibado de hormigón de carácter inerte y mixto-cerámico con concentraciones de sulfato muy bajas, respectivamente.

## **Composición mineralógica de residuos de precibado**

Los RCD mixtos cerámicos, procedentes del precibado, incluyendo mezclas de materiales cerámicos con hormigón, generalmente su composición mineralógica es la siguiente: feldespato potásico, (microlina) cuarzo, plagioclasa (albita), filosilicatos (moscovita y clorita), en menor medida yesos. En los materiales de rechazo del precibado se ha encontrado la presencia de los mismos componentes con mayor presencia de cuarzo y calcita

## **Recomendaciones técnicas para el relleno y rehabilitación de huecos mineros**

La Guía de Rehabilitación de Huecos Mineros con Residuos de Construcción y Demolición, plantea una serie de recomendaciones técnicas en cada una de las fases de un proyecto de este tipo

### **Fase preparatoria: caracterización del emplazamiento**

Como recomienda el Real Decreto 975/2009, todos los proyectos de restauración de áreas afectadas por labores mineras, deben incluir una caracterización y una descripción detallada del emplazamiento. Esta caracterización se puede resumir en tres grandes bloques:

#### **a. Datos administrativos, de localización y delimitación**

Estos datos deben conocerse mediante consulta en la delegación territorial correspondiente de la consejería u organismo autonómico competente en minería. Son relevantes los datos de delimitación del proyecto minero, el Plan de Restauración aprobado para esa explotación minera. También, es importante conocer la fecha de finalización del proyecto minero, el estado administrativo y la titularidad de los terrenos. Cuando la titularidad de la explotación y la propiedad de los terrenos no correspondan a la misma entidad o persona, se necesitará la aceptación de ambas partes.

También se debe conocer con exactitud el término o los términos municipales afectados por el hueco minero y sus infraestructuras asociadas, así como los nombres locales del paraje o parajes de su entorno.

Se recomienda que la localización quede plasmada en un plano de situación a escala 1:25.000, tomado del mapa Topográfico Nacional, sobre otro a escala 1: 100.000. se debe describir también la situación del área del proyecto en cuanto a carreteras y caminos. Todos los detalles sobre localización y delimitación son imprescindibles para determinar con exactitud la posición relativa de los límites del emplazamiento con respecto a zonas de peligrosidad sísmica, zonas inundables, embalses y cuencas vertientes a embalses, canalizaciones de riego, calificaciones urbanísticas, servidumbres de paso, límites de figuro de protección, etc.

Se deben describir con exactitud las diferentes superficies que serán afectadas por el proyecto: plaza de cantera, taludes, accesos, pistas interiores, superficies ocupadas por instalaciones, etc., así como desniveles entre estos. Para cada una de estas superficies se debe realizar una descripción de los aspectos que no se puedan conocer por medio del Mapa Topográfico, como serían sus características constructivas y el estado actual.

## **b. Características del hueco minero**

### Tipología del hueco minero:

Como se ha mencionado antes, la tipología del hueco minero determina su idoneidad para su rehabilitación con RCD. Esta depende del tipo de yacimiento mineral del método de explotación a cielo abierto aplicado en la extracción del recurso mineral

### Características geométricas y capacidad:

La geometría del hueco minero condiciona la capacidad de RCD que este puede acoger, así como la relación espacial del hueco con el sustrato geológico, las condiciones geotécnicas y de drenaje del relleno a realizar. Las dimensiones que determinan la geometría de un hueco minero son: perímetro y superficie total excavada, diferencia máxima de cota entre coronación del frente y el fondo o plaza de explotación, superficie de la plaza, número de bancos, pendiente y altura de los blancos, ancho de las bermas, y pendiente general de las pendientes. Así mismo, se deben describir los accesos y las pistas interiores a la explotación, en especial su ancho y su pendiente

Se recomienda mostrar estas características en un plano topográfico detallado, a escala 1:1.000 o 1:500, acompañado del mapa topográfico detallado, donde se plasmen las secciones longitudinales y transversales del terreno antes de iniciarse el relleno. Se debe realizar un análisis de cubicación que determine el volumen total de RCD que pueden ser depositados en el hueco minero. En el mapa topográfico se deben reconocer elementos referenciales de valor como son carreteras, caminos, arroyos, ríos, etc., los cuales deben ser debidamente identificados.

## **c. Condicionantes derivados del tipo de explotación minera**

### Infraestructuras asociadas a la explotación minera

Las infraestructuras que más importancia tendrán al momento de realizar un relleno de un hueco minero con RCD, son los accesos, pistas interiores y sistemas de drenaje superficiales existentes: canales, zanjas de derivación y cunetas. Se debe realizar un análisis de su estado actual y determinar si estas son de utilidad para las operaciones de relleno del hueco minero.

En la mayoría de los casos se encontrarán instalaciones, que pueden ser fijas o móviles, construidas y usadas para la fase extracción de hueco minero. También se pueden encontrar edificaciones como plantas de tratamiento, cargaderos, almacenes, estacionamientos de maquinaria, laboratorios, oficinas y edificios diversos. Estas instalaciones auxiliares pueden ser de gran utilidad durante la fase de restauración y/o relleno del hueco minero, siempre y cuando estas se encuentren en buenas condiciones para su uso. En caso contrario, la recomendación es que estas sean demolidas, a menos que su valor como patrimonio histórico- minero aconseje su preservación, cumpliendo en la producción y gestión de los RCD con todas las prescripciones del Real Decreto 105/2008.

De la misma manera, resulta importante reconocer los depósitos de materiales de origen de la explotación minera o de origen diferente como materiales desmonte, estériles mineros o material de rechazo del tratamiento del recurso mineral, acopios del recurso, acopios de los horizontes edáficos o de suelos y vertidos de materiales procedentes del exterior de la explotación minera. Cada uno de estos depósitos debe ser objeto de un estudio orientado a reconocer su utilidad o capacidad de interferencia con el proyecto de relleno

### Análisis del medio natural

- Topografía y relieve: teniendo en cuenta que la mayor parte de los huecos mineros se justifican por la posibilidad de mejorar la integración morfológica y paisajística, resulta imprescindible el análisis de la fisiografía y relieve del entorno más cercano. Con el propósito de dar una mayor estabilidad general, el relleno puede proporcionar una restitución topográfica del terreno, así como unas condiciones más favorables para la revegetación e integración de paisaje, siempre y cuando se ajuste al relieve que le rodea.

Cuando el objetivo es la rehabilitación con los usos de suelo o la vegetación del entorno más cercano al hueco minero, se debe considerar la pendiente del terreno, para comprender los usos del suelo, ya que esta es un factor importante para determinar la productividad primaria del terreno, además de condicionar los riesgos de erosión del mismo.

En cuanto a la fisiografía del terreno se debe dar una descripción de aquellos aspectos relativos con su relieve como la complejidad topográfica, altitudes y desniveles, accesibilidad natural, pendientes, exposición, etc.

En el caso de los huecos situados en ladera o divisoria de aguas, la adecuación de las pendientes exteriores de los taludes del relleno con respecto a las que están presentes en su entorno, se deberá realizar en consideración el mapa de pendientes. Estos mapas muestran una serie de contornos que delimitan superficies comprendidas entre intervalos de valores de pendiente. Estos mapas se pueden obtener a través de Sistemas de Información Geográfica generado por medios automáticos a partir del Modelo Digital de Elevaciones (MDE). En la leyenda del mapa se asignan tramas o colores a cada uno de los intervalos de pendiente prefijados. Aunque no existe una leyenda de aplicación universal, la Guía muestra una leyenda de clases de pendiente que se puede aplicar en España, teniendo en cuenta las características del relieve y el aprovechamiento del suelo.

**Tabla 14. Clases de pendientes propuestas para el análisis fisiográfico y topográfico**

Clase de pendiente	Intervalo (%)	Intervalo (° sexagesimal)
Llana o de pendiente muy suave	<5	<2° 52'
Pendiente suave	5-10	2° 52' – 5° 43'
Pendiente moderada	10-15	5° 43' – 8° 32'
Pendiente acentuada	15-20	8° 32' – 11° 19'
Pendiente fuerte	20-30	11° 19' - 16° 42'
Pendiente muy fuerte	30-50	16° 42' – 26° 34'
Pendiente escarpada	>50	>26°-34'

**Fuente: guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de la construcción y la demolición (RCD), Ministerio para la Transición Ecológica (2018)**

Los intervalos de pendiente propuestos en la tabla se basan en consideraciones de aptitud para el aprovechamiento agrícola o forestal de los terrenos. Hasta el 5% del grado de pendiente, prácticamente no existen limitaciones para el cultivo agrícola y el riesgo de erosión el ligero, incluso para suelos erosionables.

Entre 5% y 10%, es deseable que se apliquen buenas prácticas de cultivo. Desde el punto de vista de la posibilidad de mecanización de labores en terrenos de 0% a 15% de pendiente, se puede mecanizar en curva de nivel con tractor agrícola normal.

En el intervalo de 15% y 20%, los terrenos solo pueden soportar un cultivo ocasional. Con una pendiente superior al 15%, el riesgo de erosión es alto, incluso en suelos que sean de baja erosionabilidad. Para pendientes mayores al 20% los terrenos tienen un uso pascícola, forestal o reserva de vegetación natural. Entre el 15% y el 30% de pendiente, las labores mecanizadas requieren normalmente el empleo de tractores de cadena.



Una pendiente del 30% es el máximo admisible para pastizales con buen estado vegetativo. Por encima de esto, las tareas de implantación de vegetación son más complicadas y requieren de medidas más intensas. En pendientes mayores al 50%, se tienen muchas limitantes para poder realizar una repoblación forestal.

El mapa de pendientes y su orientación, incluyendo la topografía del terreno del relleno a la finalización del proyecto, permite proyectar las modificaciones que este aspecto ejerce sobre la insolación, con consecuencias sobre la temperatura; factor que debe considerarse en la revegetación y en la integración paisajística (zonas iluminadas o en penumbra)

- Geología y geomorfología: el sustrato geológico cumple dos funciones fundamentales en un proyecto de relleno de huecos mineros con RCD. Por un lado, determina la estabilidad durante las operaciones de relleno y en situación final o de clausura. Así mismo, constituye la primera barrera natural entre las aguas de percolación a través del relleno y las aguas subterráneas, o frente a la entrada de aguas freáticas que pudiesen saturar el relleno.

El estudio previo de idoneidad del hueco, para su relleno con RCD, debe considerar aquellos fenómenos de inestabilidad no compatibles con esta operación de manera segura, el mantenimiento de la integridad de los elementos de sellado y recogida de los lixiviados o la estabilidad general final como: pareas con suelos compresibles, materiales con capacidad de hinchamiento, fenómenos de lavado, arrastre de finos o sifonamientos, pareas con suelos de baja resistencia, suelos arcillosos hinchables, suelo sujetos a subsidencias como las arcillas no consolidadas, laderas sujetas a movimientos en masa, caída de bloques, etc.

En concordancia con lo que se establece en Desarrollo Técnico del Real Decreto 1481/2001, es conveniente elaborar un mapa del sitio donde se hará el relleno y su entorno, para representar cartográficamente las unidades litológicas y su distribución estructural. La cartografía debe estar adecuada en escala al mapa topográfico detallado, según las características y la complejidad del lugar. Se debe acompañar de una interpretación geomorfológica previa, preferiblemente a escala 1: 5.000.

La cartografía geológica debe estar acompañada de cortes geológicos y columnas estratigráficas representativas del lugar y su entorno. Así mismo, se debe complementar con las correspondientes leyendas y memorias explicativas que deben centrarse en correlacionar de manera clara los datos geológicos con los aspectos geotécnicos, de estabilidad, hidrogeológicos, edafológicos, etc.

Por otro lado, si durante la realización del estudio geológico se concluye que hay evidencia de fallas neotectónicas con desplazamientos en el Holoceno, en las proximidades de la ubicación del hueco minero (a menos de 100 m de su perímetro), será necesario justificar la ausencia de riesgos de inestabilidad. Para esto, se debe consultar la base de datos *Quaternary Active Faults Database of Iberia (QAFI)* del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

En relación con las limitaciones sobre ubicación de vertederos establecidas en el Desarrollo Técnico del Real Decreto 1481/2001, será obligatorio tener en cuenta los criterios de análisis incluidos en la Norma de Construcción Sismorresistente (NCS) vigente. Además, se deben considerar los datos y criterios de referencia del IGME y/o del Instituto Geográfico Nacional (IGN) respecto a la zonificación de áreas sísmicas.

La base de la caracterización de los condicionantes geotécnicos y de estabilidad de los taludes, es el estudio de la geología de detalle del hueco minero. Así mismo, resulta importante extraer este tipo de información durante el proceso de extracción, consultando a técnicos de la explotación minera y a través de los servicios de minas.

Cabe resaltar que también es de gran importancia un reconocimiento de tipo geotécnico orientado por el estudio geológico y geomorfológico, desde el punto de vista de la estabilidad de los taludes del hueco minero. Se deben reconocer los grupos de materiales con las mismas propiedades geomecánicas (litotipos); caracterizar las variaciones, la profundidad, los parámetros específicos, la extensión y las características de los materiales que forman el hueco que se va a rellenar con los residuos. Se debe constatar la presencia de rellenos de productos de descalcificación. Además,

debe realizarse un análisis estructural de la estratificación, la esquistosidad, la fracturación o la presencia de cualquier clase de discontinuidades que puedan incidir en el comportamiento geotécnico de los taludes.

En este mismo sentido, es necesario identificar y caracterizar las acumulaciones de suelos y otros depósitos que pudieran estar presentes, con el fin de darles un uso más adecuado. Es obligatorio realizar una prospección que identifique las posibles evidencias de inestabilidad de taludes: grietas de tracción en cabecera, caída de bloques, zonas extraplomadas, deslizamientos, fenómenos de erosión interna, etc., así como sus posibles causas. Para llevar a cabo el estudio geotécnico es imprescindible el conocimiento geomecánico de los materiales que forman los taludes que delimitan el hueco minero. De los resultados de estos estudios se pueden analizar los posibles modelos o mecanismos de rotura que puedan tener lugar, y de los factores que influyen, condicionan y desencadenan inestabilidades (IHOBE, 2005)

De acuerdo con las recomendaciones del documento de Desarrollo Técnico del Real Decreto 1481/2001, Apéndice 1, se considera necesario realizar calicatas (excavaciones de hasta 5 m de profundidad), en los puntos donde afloran suelos y materiales que se asemejen a suelos, también se recomienda realizar sondeos de tipo geotécnico. En este documento se recomienda que las calicatas se realicen en una malla que cubra el área donde se encuentra el hueco minero, con un mínimo de seis calicatas en lugares de área menor o igual a 2 hectáreas, y mínimo tres calicatas, por hectárea, para áreas mayores a 2 hectáreas. De cada una de las calicatas se debe obtener una descripción sistemática de los materiales presentes, la cual debe ser realizada y registrada por el personal competente. Esta descripción también debe incluir las coordenadas, la cota del punto, la fecha y la identificación de la persona que está realizando el reconocimiento. Se puede realizar una descripción de la parte superior de las calicatas, esta puede ser en términos edafológicos, muestreando los horizontes de diagnóstico visibles en los perfiles.

Para la realización de los sondeos, el Desarrollo Técnico del Real Decreto 1481/2001 (Apéndice 1), recomienda una cantidad mínima de tres por cada 5.000 m<sup>2</sup> de extensión en los lugares homogéneos, con una distribución y profundidad de los niveles geotécnicos. La profundidad de los sondeos debe ser tal, que permita por un lado valorar la inexistencia de problemas de índole geotécnica debidos al relleno y, adicionalmente, facilite la caracterización geológica del material del sustrato en aras de valorar el grado cumplimiento de los requisitos de la barrera geológica exigibles para este tipo de construcciones. Al menos uno de los sondeos debe realizarse con testificación continua para obtener información precisa de los materiales del subsuelo. Se admite que la profundización se pueda interrumpir si se alcanza antes un sustrato impermeable de gran potencia conocido en la zona. El conjunto de los sondeos permitirá conocer la columna estratigráfica representativa de las zonas de apoyo inferior y laterales del hueco. Como mínimo se empotrará cada sondeo 5 m en dicha formación de apoyo inferior. En suelos, se tomarán muestras inalteradas cada 3 m de profundidad para los ensayos y análisis de laboratorio y se realizarán ensayos de penetración estándar SPT con la misma frecuencia, como mínimo uno por cada nivel geotécnico.

En suelos arcillosos, se pueden efectuar ensayos in situ de penetración con penetrómetro manual o de molinete, cada metro. Si la zona es geológicamente compleja o de más de 5.000 m<sup>2</sup> de extensión, se deben realizar ensayos de permeabilidad y sondeos adicionales para poder identificar las variaciones estratigráficas, estructurales y geotécnicas. Al menos se recomienda efectuar dos sondeos adicionales por cada unidad geológica identificada en cartografía y no caracterizada por los sondeos iniciales, o uno por cada 5.000 m<sup>2</sup> de incremento en la superficie ocupada por el relleno.

De los sondeos se busca obtener información sobre la clasificación de los materiales asimilables a suelos, con atención a la textura, color, mineralogía, humedad, grado de alteración, procedencia, etc. Las descripciones visuales de los sondeos deben estar acompañadas de ensayos de laboratorio sobre muestras representativas de cada horizonte estratigráfico. La identificación de niveles de agua, zonas de alta permeabilidad o muy fracturadas es fundamental. Las ricas testificadas se clasificarán de acuerdo con su litología, mineralogía, color, tamaño de grano, grado de cementación y de alteración, índice RQD (Rock Quality Designation), densidad y orientación de fracturas y otras características y otras características físicas. En cuanto al desarrollo de la operación de perforación es importante registrar las características técnicas y las posibles incidencias tales como: tipo de revestimiento y método de perforación, tipo y volumen de los fluidos o aditivos usados, resistencia a la penetración, intervalos de muestreo y porcentaje de recuperación, posibles contaminaciones,

registro de pérdidas de lodos u otras dificultades encontradas. De cada sondeo se debe obtener una descripción sistemática de los materiales presentes, realizada y registrada por personal competente en un estadiillo, en él se recogerán igualmente: las coordenadas, la cota del punto, la fecha, el diámetro de perforación y la profundidad, la identificación de la compañía perforadora y del técnico responsable del sondeo, y el autor de la descripción.

En laboratorio se determinan los siguientes parámetros sobre muestras de los suelos: a) *de identificación*: granulometría por tamizado y sedimentación, límites de Atterberg, humedad natural, densidad real y aparente. b) *de compactación, resistencia y deformabilidad*: Proctor modificado, curvas de compactación, ensayo edométrico, expansividad, ensayos de resistencia (compresión simple, corte directo, triaxial) e hinchamiento Lambe (solo en materiales arcillosos). Los ensayos de identificación se efectuarán en un mínimo del 50% de las muestras obtenidas y los de compactación, resistencia y deformabilidad en un mínimo del 25%. Se dispondrá en cualquier caso de un mínimo de tres analíticas competas. Los ensayos se adecuarán a la naturaleza de cada suelo.

Con toda la información obtenida se deberá tener una buena capacidad de predicción sobre el comportamiento de los materiales situados en el fondo del hueco. Igualmente, con los datos obtenidos se deberán realizar análisis de estabilidad de los taludes, seleccionando los perfiles adecuados, utilizando software específico.

- Hidrogeología: el estudio hidrogeológico es de vital importancia ya que en este se evalúan las posibilidades de la entrada de aguas subterráneas al hecho minero, y la infiltración de los lixiviados desde el relleno hacia los acuíferos.

En la fase de valoración de idoneidad del hueco minero para su relleno con RCD, se puede realizar un mapa hidrogeológico, a una escala de 1:25.000, abarcando un radio mínimo del 10 km alrededor del hueco minero. Allí, se deben representar las unidades hidrogeológicas, la piezometría, la dirección de flujo y la localización de los puntos de descarga conocidos. Se debería conocer el nivel freático en relación con el fondo del vaso, a partir de la información obtenida sobre captaciones de agua. Esto es necesario para tenerlo en cuenta en el momento que se esté realizando la evaluación de los factores de exclusión propuestos anteriormente.

Si se cuenta con el estudio geológico y con la información obtenida durante el reconocimiento geotécnico, se tendrán buenas bases para la elaboración del estudio hidrogeológico. todo esto permitiría interpretar adecuadamente la cartografía hidrogeológica para obtener un mapa de unidades hidrogeológicas sobre la base del mapa topográfico de detalle de la ubicación del hueco minero.

En los mapas, se deben localizar todos los cuerpos de agua conocidos dentro del área representada: manantiales, pozos, excavaciones o piezómetros que permitan tener acceso a las aguas subterráneas. Los datos se pueden obtener a partir de bancos de datos existentes, seleccionando aquellos de mayor importancia para el proyecto en particular.

Para conocer con certeza la posición del nivel freático, se recomienda realizar sondeos piezométricos en el entorno del hueco minero, de manera que este sirva para control y vigilancia del mismo durante todas las fases del proyecto. Lo ideal es que se pueda observar el comportamiento en épocas en las que disminuyen los niveles del agua y en épocas de recarga.

Con estos datos, también se pueden seleccionar ciertos puntos para llevar un control de la calidad de las aguas, por medio de muestreos, para conocer sus características físico-químicas antes de iniciar con el proyecto. Sería ideal tomar muestras en estos mismos puntos, durante todas las fases del proyecto, incluyendo el periodo de vigilancia.

La caracterización de la calidad de las aguas en dichos puntos de control debe incluir los siguientes parámetros: pH, oxígeno, Arsénico, Bario, Cadmio, Cromo total, Cobre, Helio, Molibdeno, Níquel, Plomo, Antimonio, Selenio y Zinc, cloruros, fluoruro, sulfatos, índice de fenol, sólidos totales disueltos y carbono orgánico disuelto.

- Climatología: para el relleno de un hueco minero con RCD, el análisis del clima sirve de base para el estudio de la hidrología y el diseño de las infraestructuras de drenaje de esto. Además, es la base de la clasificación climática, permitiendo una primera aproximación al conocimiento de la potencialidad climática para la implantación de vegetación.

Para conocer el clima del lugar donde está ubicado el hueco minero, lo ideal sería disponer de una estación termo-pluviométrica en las proximidades, en una cota igual o muy cercana a la del hueco minero y con orientación hacia este. Esto pocas veces se cumple en la práctica, por lo que se recomienda seleccionar estaciones localizadas en la región. Como mínimo, se considera que se deben obtener datos de tres estaciones termo-pluviométricas, estas pueden ser completas o automáticas, que se ubiquen de manera que se forme un polígono alrededor de la ubicación del hueco minero. Se recomienda obtener datos de los últimos 30 años para precipitaciones, 15 años para las temperaturas y 10 años para los demás factores como vientos, días de lluvia, nieve y granizo. Estos datos pueden encontrarse en la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Para tener una visión general de la incidencia del viento sobre el lugar donde se localiza el proyecto se puede consultar el Mapa Eólico Nacional, el cual fue desarrollado por el Centro Nacional de Energías Renovables. Este también ofrece información sobre la distribución de velocidades y frecuencia de direcciones del viento, así como histogramas de distribución de velocidades del viento por rangos.

En las temperaturas, conviene obtener la siguiente información, para un periodo determinado:

- Media de máximas absolutas ( $T'a$ ) media de las temperaturas máximas
- Media de máximas (T): media de las temperaturas medias de máximas
- Media ( $T_m$ ): medias de las temperaturas medias
- Media de mínimas (t): media de las temperaturas medias de mínimas
- Media de mínimas absolutas ( $T'a$ ): media de las temperaturas mínimas.

Los datos de precipitación de mayor interés son los de pluviometría media mensual, estacional y anua, así como la precipitación máxima en 24 horas o la máxima diaria ( $P_d$ ). La precipitación máxima en 24 horas en un periodo establecido, se usa para calcular los caudales máximos a desaguar

También, conviene analizar la evapotranspiración, puede ser potencial o la evapotranspiración para un cultivo de referencia ( $E_{Tr}$ ), para el diseño de la revegetación del lugar del proyecto, y para realizar los balances hídricos

- Edafología: la rehabilitación del entorno del hueco minero luego de su relleno puede beneficiarse del conocimiento previo de los suelos presentes en el entorno cercano. este se debe iniciar con una revisión minuciosa de la información disponible.

En particular, el análisis de los factores formadores, especialmente el clima (edafoclima) puede ser de gran utilidad para orientar la prospección edafológica. En cuanto a la información cartográfica sobre suelos, lamentablemente en España es bastante limitada a escalas detalladas, por lo que la identificación de las unidades geomorfológicas mediante fotointerpretación será, normalmente, la base para elaborar la cartografía de suelos o de unidades geomorfoedáficas en el entorno del proyecto. Aunque de modo intuitivo es posible asignar tipologías de suelos a las unidades geomorfoedáficas, partiendo de una buena revisión bibliográfica, los tipos de suelos presentes en el entorno del hueco han de ser definidos y clasificados de acuerdo con las propiedades que pueden ser observadas o medidas en perfiles de suelos. La descripción de perfiles de suelos resulta necesaria para conocer y clasificar los suelos, por lo que se considera imprescindible la descripción de un perfil, como mínimo, por cada unidad geomorfoedáfica definida. Como es sabido, el perfil de un suelo es un corte vertical en profundidad que permite observar la capa superficial y todas las capas internas del suelo (horizontes), las cuales son sensiblemente paralelas a la superficie. En principio, la parte superior de todas las calicatas que pudieran hacerse para la caracterización geotécnica pueden servir para el estudio de los suelos desde la perspectiva edafológica. El personal que se ocupe de estas tareas debe estar entrenado en la descripción y toma de muestras de perfiles de suelos. La descripción debe seguir un método sistemático como, por ejemplo, el que se expone

en FAO (2009). Las calicatas específicamente realizadas para el conocimiento de los suelos desde la perspectiva edafológica serán normalmente de un metro de profundidad o algo más, salvo que se encuentren impedimentos a menor profundidad. La calicata es el tipo de aproximación al conocimiento del perfil de mayor calidad, por lo que todas las que se realicen deben ser muestreadas, horizonte por horizonte. Como se ha mencionado, el número mínimo de perfiles descritos y muestreados debe ser uno por cada unidad geomorfoedáfica. Además, el número total de perfiles debe ser como mínimo de una por cada hectárea de terreno representado en el mapa. Esto quiere decir que no todos los perfiles descritos han de serlo en paredes de calicatas, pues a los perfiles descritos en calicatas se pueden añadir observaciones y sondeos edafológicos.

Las observaciones se realizarán escarbando someramente la superficie visible en cunetas, ribazos o taludes ya excavados, como los de los propios frentes del hueco minero, siempre que sea factible desde el punto de vista de la seguridad. Estos puntos se suelen describir, pero no muestrear, puesto que para que el muestreo sea correcto la muestra de suelo debe ser fresca y, en general, los taludes suelen llevar mucho tiempo a la intemperie. Los sondeos edafológicos son agujeros cilíndricos excavados con sondas manuales o barrenas también limitadas a profundidades pequeñas que rara vez superarán 1 m. Este sistema permite describir y también muestrear perfiles, si lo realiza personal entrenado. Es recomendable que la suma de calicatas, sondeos y observaciones alcance el valor de tres por cada hectárea.

Con toda la información, las unidades geomorfoedáficas originales, pueden verse modificadas en número y delimitación. Las que se consideren definitivas agruparán normalmente tipos de suelos clasificados siguiendo alguna de las clasificaciones más comunes en España: Soil Taxonomy o FAO (IUSS, 2007; Soil Survey Staff, 2014b). Lo normal es que las unidades cartográficas no sean puras, desde el punto de vista taxonómico. Se admite que las unidades cartográficas representarán consociaciones de tipos de suelos si un tipo determinado supera el 75% de la superficie de la unidad. Estas unidades pueden contener, por tanto, las llamadas inclusiones: suelos ocasionales dentro de la unidad, que no deberían ocupar más del 25% del área. Se puede admitir que algunas unidades cartográficas representen asociaciones: unidades complejas, conformadas por más de una clase de suelo en proporciones semejantes. También es previsible que aparezcan las llamadas áreas misceláneas (zonas sin suelo), que pueden aglutinar superficies muy diversas: polígonos industriales, afloramientos rocosos, estériles mineros, etc.

En cuanto a las muestras de suelos tomadas, los análisis que deben aportarse han de incluir:

- Porcentaje de elementos gruesos (>2 mm). - Porcentaje de humedad después de secado en estufa. Análisis granulométrico de la fracción tierra fina (tamizado en seco, más método de la pipeta de Robinson o automatizado) para determinar las fracciones según criterio USDA-SCS.
- Contenido en materia orgánica. - pH en suspensión suelo/agua 1:2,5 o 1:1.
- Capacidad de intercambio catiónico. - Cationes ácidos de cambio (acidez cambiante). - Cationes básicos de cambio (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup> de cambio).
- Prueba previa de salinidad (conductividad eléctrica en extracto suelo/agua 1/5).
- Determinación de la capacidad de retención de agua disponible: capacidad de retención de humedad a 33 kPa (0,33 atm) y 1500 kPa (15 atm) en la fracción tierra fina.
- Contenido en sulfato soluble medido mediante el ensayo EN 12457-4.

La selección de los métodos de análisis del complejo de cambio debe estar orientada y justificada por el pH. Opcionalmente, y dependiendo de la localización y circunstancias del emplazamiento, puede ser interesante añadir otros ensayos, tales como estabilidad de agregados, conductividad eléctrica en extracto de saturación, contenido en carbonato cálcico, contenido en yeso, disponibilidad de nutrientes principales, contenido en elementos traza totales por digestión ácida y solubles (EN 12457-4), así como algunos destinados a valorar aspectos biológicos del suelo, como por ejemplo: grado de descomposición de la materia orgánica y ensayo de respiración. Para todo lo relacionado con los análisis mencionados se recomienda la consulta de los documentos referenciados como Soil Survey Staff (2014a) y ECS (2002). La clasificación edafológica debe traducirse para que pueda tener utilidad.

Estas valoraciones van desde características específicas tales como erodibilidad, espesor útil, capacidad de retención de humedad, a valoraciones de carácter más global sobre la calidad del

suelo o la vulnerabilidad. La interpretación práctica de la información básica de suelos en términos evaluativos puede aportar elementos de juicio a un proceso de toma de decisiones sobre rehabilitación. Esta interpretación deberá hacerse para cada una de las unidades geomorfoedáficas reconocidas

- Medio biótico: en cuanto al medio biótico del lugar donde se realizará la explotación minera, interesa obtener datos sobre los hábitats de interés comunitario e interés prioritario en el entorno. Esto permitirá la toma de decisiones y medidas de conservación de estos, de acuerdo con la Directiva 92/43/CEE, modificada y adaptada por la Directiva 97/62/CE), la cual tiene como principal objetivo el mantenimiento y restablecimiento, en un estado de conservación adecuado, de los hábitats y de las especies silvestres de la fauna y la flora de interés comunitario. En caso de ausencia de este tipo de hábitats, se debe plasmar las posibles causas de ello.

Igualmente, se deben identificar las zonas sensibles y los espacios protegidos que pudieran ser afectados por el proyecto minero.

En este mismo sentido, se debe identificar la distribución de la vegetación natural del entorno del proyecto, ya que esta no solo desarrolla un papel importante como hábitat y a nivel paisajístico, sino que desarrolla un rol importante por las relaciones que establece con el resto de elementos bióticos y abióticos del medio. Esto permite obtener información sobre el potencial del medio.

En primera instancia, para el conocimiento de la vegetación natural del entorno, se puede encuadrar el mismo en términos bioclimáticos. Existen varias subdivisiones del territorio español que se basan en el análisis del clima como factor determinante de la distribución de la vegetación española, en base al estudio de los datos climáticos, como el trabajo de Allue- Andarade (1990). Otra aproximación en España, es la subdivisión bioclimática de Rivas Martínez (1990, 2004), por ende, es posible encontrar documentación referida a muchas localizaciones, al margen de que los datos climáticos permiten realizar el análisis particular de los observatorios seleccionados.

Puntualmente, para un proyecto de relleno y rehabilitación de un hueco minero, interesa la búsqueda de un ecosistema de referencia, el reconocimiento de formaciones de matorral o bosque, cuando estas presentan alta cobertura del suelo natural.

Es sabido que, cuanto mayor es la gravedad de la perturbación del medio, más cuestionable será realizar acciones dirigidas a recomponer o recuperar un ecosistema a su estado previo a perturbación, como es el caso de un hueco minero relleno con RCD, clausurado y cubierto con un suelo artificial.

Hay diferentes protocolos establecidos para la localización y el estudio de ecosistemas de referencia. En la guía, se hace énfasis en la propuesta de Jorba y Vallejo (2010), para la localización de los que estos autores denominan paisaje de referencia. Se establecen los siguientes pasos:

1. Definir un cinturón de aproximadamente 5 km de ancho alrededor del hueco minero. Este ancho se puede ajustar dependiendo de la topografía o los usos de suelo de las zonas adyacentes, pero debe ser representativo de la región geográfica.
2. Identificar a partir de fotografías aéreas recientes y cartografía de las diferentes unidades de paisaje de esta zona, en función de su cubierta vegetal, su topografía y su distribución espacial.
3. Comprobar la clasificación realizada en el numeral anterior, y definir una clasificación y estructura definitiva a partir de visitas de campo y de la consulta de otra información disponible como pueden ser mapas litológicos, inventarios de especies consultas locales, etc.
4. Describir las características de las diferentes unidades en base a su composición florística, estructura y presencia de especies y poblaciones emblemáticas, raras o en peligro de extinción.

En caso de que en el entorno del proyecto dominen las zonas urbanizadas, explotaciones mineras, zonas agrícolas, etc., es necesario buscar las referencias de vegetación natural en lugares más distantes. La delimitación de unidades, se puede orientar a la rehabilitación, en el caso de que se opte por establecer vegetación natural, identificando las unidades a representar y distribuyéndolas en el espacio de acuerdo con las características de una sectorización basada en las características del terreno.

Por otro lado, el conocimiento de la fauna, se puede limitar al reconocimiento de los valores faunísticos y la comprensión de su importancia en el contexto general del proyecto. Se puede partir de una consulta del Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad depositado en el banco de datos de la Naturaleza. Es de gran importancia la descripción de la fauna protegida y de la avifauna que pueda nidificar en el área de actuación del proyecto. Así mismo, se recomienda consultar a expertos en la materia, para establecer relaciones entre biotipos y especies en el entorno del proyecto.

- Paisaje e incidencia visual: el estudio del paisaje y de la incidencia visual del proyecto se debe realizar en su etapa preoperacional, realizando una simulación de un análisis de la fase posterior a la rehabilitación.

La base de este análisis puede ser una delimitación cartográfica de las unidades de paisaje, a una escala menos detallada que la que se usó para el mapa topográfico, en la mayoría de los casos se trabaja con escalas de 1: 10.000 o 1:5.000.

Sobre cada una de las unidades identificadas, se puede realizar una valoración de la calidad visual o su grado de excelencia para ser preservado. Suele ser el resultado del valor atribuido a los componentes y las características visuales que la definen. La calidad visual de cada una de las unidades de paisaje es función de su calidad visual intrínseca y de su potencial de vistas o calidad visual adquirida.

La valoración de la calidad visual intrínseca del paisaje se realiza en base a la calidad visual y singularidad de los componentes biofísicos y biológicos que lo integran: relieve, vegetación y usos del suelo, agua y elementos artificiales, sus características visuales y estéticas. La calidad visual intrínseca representa una evaluación de la unidad de paisaje como emisora de vistas. Uno de los métodos que se puede aplicar es se explica en Alberuche *et al.*, (2015), que consiste en la desagregación de la calidad visual en componentes cuya evaluación individualizada dará, por agregación, el valor total. El método consta de las siguientes fases:

1. Identificación de los componentes que definen la calidad visual, hasta el nivel de desagregación que sea necesario.
2. Evaluación individual de cada componente en una escala homogénea.
3. Determinación del peso o importancia relativa de cada componente respecto al valor total de calidad visual.
4. Obtención del valor agregado de calidad visual mediante la suma ponderada de los valores de los componentes que la integran. La asignación de los coeficientes de ponderación puede realizarse siguiendo trabajos publicados con anterioridad o basándose en la opinión experta del equipo de trabajo.

También, se debe realizar un análisis de la incidencia visual de la alteración minera, la cual va a depender la fragilidad visual intrínseca o de la capacidad de absorción visual de dichas alteraciones por el medio; así como de su visibilidad y accesibilidad visual desde zonas frecuentadas por la población o con mayor potencial de observadores (núcleos urbanos, vías de comunicación visual, etc.)

Esta metodología permite la evaluación del impacto residual sobre el paisaje, una vez finalizada la fase del relleno, y permite estimar el resultado del proceso de rehabilitación en diversos momentos del seguimiento posterior

- Usos de suelo y afecciones territoriales: es importante realizar una descripción de cómo ha sido aprovechado y utilizado el territorio por el hombre. A su vez, esto refleja cómo se han percibido las potencialidades y limitaciones del territorio a lo largo de la historia. En el caso en el cual no se haya producido modificaciones o afecciones por el hombre, la cartografía permitiría identificar las formaciones vegetales originales.

La cartografía de los usos del suelo del entorno del proyecto se debe delinear sobre un mapa topográfico básico y se debe elaborar de acuerdo con la leyenda del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SISOE). Este sistema se encuentra integrado dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT), cuyo objetivo es generar una base de datos de ocupación del suelo para toda España, a una escala de referencia 1:25.000. este debe ser el punto de partida para

realizar el mapa de ocupación de usos del suelo, desagregando las unidades que lo permitan a través de fotointerpretación y reconocimiento del terreno.

Es recomendable trabajar la cartografía bajo estos parámetros ya que las cartografías disponibles y sus actualizaciones a escalas más detalladas en España, hagan uso de esta leyenda. Además, esta es coherente con la leyenda del CORINE *land cover*.

Igualmente, es sabido que las disposiciones legales, administrativas o de planeamiento, condicionan el uso del suelo, y con ello la localización de las actividades. Por ende, se debe investigar todas aquellas afecciones territoriales o normativas con incidencia territorial que pudieran tener relación directa con el proyecto que pudiesen marcar pautas para la selección de los métodos y los objetivos de la rehabilitación. Las afecciones, generalmente, son consecuencia de la legislación de la ordenación del territorio y el urbanismo, conservación y protección de patrimonio natural y cultural, y otras normas de carácter sectorial. Con una representación cartográfica a una escala 1:10.000 bastaría para conocer las afecciones territoriales.

Si en la selección de la localización del hueco minera se han seguido los criterios de idoneidad de la guía, el entorno cercano del proyecto se encontrará fuera de alguna de las siguientes figuras de protección: humedales RAMSAR, no estarán incluidos en el Inventario Español de Zonas Húmedas u otros inventarios de las Comunidades Autónomas, Lugares de Interés Geológico (LIG), Bienes de Interés Cultural (BIC) u otra figura de protección similar, y correspondiente al perímetro de protección. Sin embargo, también se debe comprobar la existencia de las siguientes figuras de protección

- Espacios naturales protegidos por el Estado o las Comunidades Autónomas, en sus diferentes categorías, Parque Nacionales, Reservas Integrales, Monumentos Naturales, Paisajes Protegidos, etc.
- Elementos de la Red Natura 2000. Dicha red fue creada por la Directivas 92/43/CE relativa a conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres ( o Directiva de Hábitats), con el objeto de garantizar el mantenimiento o restablecimiento en un estado de conservación de los hábitats naturales y de los hábitats de determinadas especies en su área de distribución natural considerados de interés comunitario, mediante el establecimiento de Zonas Especiales de Conservación (ZEC), incluyendo además las Zonas Especiales de Protección para las Aves (ZEPA) designadas en virtud de la Directiva 79/409/CEE relativa a la conservación de las aves Silvestres. El procedimiento para declaración de una ZEC conlleva su previa aprobación como Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) por la Comisión Europea, a propuesta del Estado Español y de la correspondiente Comunidad Autónoma.
- Hábitats de interés. La Directiva Hábitats (92/43/CEE) considera *hábitat natural*, aquellas zonas terrestres o acuáticas diferenciadas por sus características geográficas, abióticas y bióticas, sean estas seminaturales o completamente naturales. La directiva enumera en su Anexo I, distintos tipos de hábitats existentes en el territorio de la Unión Europea considerados de interés comunitario. Esta Directiva distingue como “prioritarios” desde el punto de vista de la aplicación de medidas de conservación a aquellos hábitats amenazados de desaparición.
- Áreas protegidas por convenios internacionales. En esta categoría se incluyen las figuras de protección asignadas a algunos espacios naturales por convenios y Acuerdos Internacionales suscritos por España, tales como Reservas de Biosfera declaradas por la UNESCO, humedales de Importancia Internacional del convenio RAMSAR, etc.
- Cualquier espacio afectado por otra figura de protección, o que haya sido reconocido por su valor desde el punto de vista de la conservación, tales como zonas de interés para aves esteparias, montes de especial protección

Para reconocer la existencia de algún espacio o lugar con alto valor para la conservación, se puede consultar primero el Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, el cual está depositado en el Banco de Datos de la Naturaleza.



También se deben tener en cuenta los elementos de Patrimonio Histórico que pudiesen existir en el entorno inmediato del proyecto, especialmente aquellos que están declarados como Bienes de Interés Cultural. Estos elementos están regulados por una normativa específica, contenida en la Ley 16/1985, de 25 de junio del Patrimonio Histórico Español. No obstante, casi todas las Comunidades Autónomas han redactado su propia legislación al respecto, la cual incluye sus correspondientes figuras de protección.

Igualmente es importante conocer si en el entorno del proyecto existen vías pecuarias. La Ley Estatal 3/1995, de 23 de marzo, de vías pecuarias, señala que estas constituyen un patrimonio natural y cultural que, a pesar de su deterioro, siguen prestando servicio al tránsito ganadero y contribuyendo a la preservación de la flora y fauna silvestres, y potencialmente, resultan útiles para el fomento de los usos turísticos recreativos y de desarrollo rural. Esta Ley crea la Red Nacional de vías pecuarias, en las que se integran la Cañadas y otras vías pecuarias de carácter supracomunitario, a las que han de sumarse las que hayan sido reconocidas por las Comunidades Autónomas.

Es de gran importancia reconocer los instrumentos de ordenación como Planes de Ordenación, Planes directores, y el planeamiento urbanístico municipal, como los planes generales de ordenación urbana, las normas subsidiarias, etc.

Los huecos mineros deben respetar una distancia mínima de 500 m a zonas urbanizables y reservadas para equipamientos educativos o sanitarios, según las normas de planeación vigente. Y, así mismo, se debe respetar la distancia con respecto a núcleos urbanos.

Es importante resaltar que la caracterización hidrogeológica y geotécnica es relevante para el diseño del relleno con RCD, mientras que en la fase de restauración puede tener mayor peso los aspectos climáticos, el medio biótico y el paisaje.

### **Fase preparatoria: remodelado y acondicionamiento del hueco**

El acondicionamiento del hueco minero se refiere a las operaciones que se deben destinar a la limpieza, al mejoramiento de la estabilidad de los taludes del hueco y a regularizar las superficies del fondo del mismo.

Estas labores se hacen necesarias cuando existen vertidos de diferente origen o cuando quedan restos del material explotado en el hueco minero, por ende, su gestión se hace necesaria. Los materiales inertes procedentes de la explotación pueden ser objeto de estudio para evaluar sus diferentes alternativas de reutilización o valorización.

Una vez se conocen las características geotécnicas de los materiales de los taludes del hueco minero, se suelen realizar las siguientes acciones de limpieza y estabilización.

- Retaluzado: Corregir las diferentes formas d inestabilidad con de taludes mediante la aplicación de diferentes técnicas que permitan alcanzar pendientes que brinden estabilidad.
- Retranqueo del talud para la creación de bermas con el uso de maquinaria
- Saneamiento selectivo: se aplica en puntos específicos e incluye el retiro de bloques de material en la cresta o en el talud. En ocasiones se hace necesario el uso de maquinaria como grúas
- Limpieza de bermas originales: permitiendo el acceso a puntos que puedan ser inaccesibles, con el uso de maquinaria de saneo y vehículos de mantenimiento.

Todas estas labores deben realizarse desde la parte superior del talud, hacia la parte inferior.

Cuando se culminan las labores de saneo, se debe realizar nuevamente un mapa topográfico con la nueva situación, de modo que esta será el punto de partida para la definición de las fases de relleno y

las cubicaciones de material. Deben quedar plasmadas las zonas de paso y los accesos a las plataformas debe vertido, así como los siguientes aspectos:

- Cota máxima de relleno
- Capacidad total del relleno
- Zonas de acceso y transporte interior
- Cotas de acceso
- Cota base del sistema de drenaje

Las vías interiores deben estar en óptimas condiciones para la circulación de maquinaria durante las labores de restauración.

### **Fase preparatoria: estanqueidad físico-química del hueco y sus sistemas de drenaje**

Se debe contar con las capas drenantes y los sistemas de drenaje del hueco que receptor de acuerdo con lo establecido en el Desarrollo Técnico del Real Decreto 1481/2001

- Barrera geológica natural e impermeabilización del hueco: los materiales que constituyen el hueco minero deben cumplir las siguientes condiciones de permeabilidad y espesor, con el fin de garantizar la estanqueidad:
  - Para residuos inertes:  $k=1 \times 10^{-7}$  m/s en un espesor de 1 m-
  - Para residuos no peligrosos:  $k= 1 \times 10^{-9}$  m/s en un espesor 1 m.

Si de manera natural no se cumplen estas condiciones, se debe añadir una barrera geológica artificial con un espesor no menor a 0.5 m

- Sistemas de drenaje interno: las capas de drenaje deben contar con una pendiente mínima del 2% y el nivel de lixiviados presente, debe ser siempre menor al espesor de la capa drenante. Estas deben cubrir el fondo y los taludes del hueco minero y, por ningún motivo, deben dañar las capas inferiores

Los elementos de drenaje pueden ser: capas de grava, geosintéticos de drenaje o geodrenes y tuberías.

- Sistemas de captación, tratamiento y control de lixiviados: balsas de almacenamiento y pozos de registro: las balsas de almacenamiento estarán en funcionamiento en la etapa de relleno del hueco minero, previendo que la entrada d aguas de pluviometría será mayor. Luego, esta estructura se podrá sellar, en tanto la cantidad de lixiviados que se generarán disminuirá y será mínima, por lo que se pueden gestionar mediante un pozo de registro.

### **Fase preparatoria: obras auxiliares**

Las condiciones específicas del hueco minero objeto de relleno serán las que determinen las obras auxiliares que se necesitarán, así como los equipamientos de servicios, cerramientos de instalaciones asociadas a control de accesos, recepción de residuos. Probablemente, en todos los casos será necesario el acondicionamiento de la malla vial de acceso y de las pistas interiores, así como un sistema de la escorrentía superficial exterior al hueco.

### **Fase de relleno y clausura**

Las acciones de esta fase deben dirigirse a garantizar la adecuada disposición de los residuos admitidos

- Criterios de admisión de RCD para relleno:
  - No se admiten RCD que no cuenten con un certificado que acredite que estos han sido sometidos a tratamiento previo u operación de valorización por un gestor autorizado RCD.

- La fracción “todo uno” para el relleno de huecos mineros con RCD, debe tener un tamaño máximo de 100 mm, considerándose más óptimas las fracciones 0-20 mm o 0-40 mm.
- Procedimiento de relleno del hueco con RCD: el objetivo principal es reducir al máximo la producción de lixiviados. Esto se controla estableciendo un porcentaje de humedad de los residuos admitidos, controlando la cantidad absoluta de agua, minimizando el contacto de aguas lluvias con los residuos, disponiendo estos en capas controlables.

Los materiales se deben depositar en espesores de entre 20 cm y 50 cm y deben ser compactadas, con rodillos lisos, alcanzando una densidad Próctor del 95%. Las capas de material deben ser dispuestas de manera que queden con una pendiente transversal que permita la evacuación de aguas pluviales.

- Fase de clausura: los materiales de sellado final serán seleccionados con el fin de reducir el riesgo para las personas y el medio ambiente, y para que estos induzcan procesos de estabilización deseables sobre la masa de residuos. Este diseño dependerá específicamente de las características de los residuos, las condiciones de compactación, la climatología, el uso previsto para el terreno, la impermeabilización de fondo y las condiciones químicas de los suelos y aguas del entorno

### **3.2 Idoneidad del hueco minero de la cantera Palito Hincado para su relleno con RCD**

#### **3.2.1 Tipología del hueco minero**

De acuerdo con lo establecido por la guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de la construcción y la demolición, y el estudio de impacto ambiental de la cantera “Palito Hincado”, este hueco minero, que estará a cielo abierto, es de la tipología de una cantera, pues de allí se extraerán principalmente alberos, actividad que se realizará por banqueo, con máximo dos bancos, de 10 metros de altura cada uno. Por lo general, del total del material que se extrae de este tipo de canteras, un porcentaje mínimo se utiliza para su aprovechamiento en el relleno del hueco minero y, además, la distancia de estas a una planta de gestión de residuos de la construcción y la demolición suele ser muy larga y por costes de transporte, no resulta viable su relleno con RCD. Sin embargo, en el emplazamiento de esta explotación minera se construirá una planta de gestión de residuos RCD.

#### **3.2.2 Cumplimiento de los criterios de selección de huecos mineros para su rehabilitación con RCD**

El hueco minero resultante de la explotación de la cantera Palito Hincado, cumple con los criterios de selección de huecos mineros para su rehabilitación RCD

- Se localiza en un medio poco vulnerable a la contaminación y poco expuesto a riesgos naturales
- Dentro del emplazamiento, se construirá una planta de gestión de residuos RCD, que garantizaría el suministro de material para el relleno, reduciendo notablemente los costos por transporte del mismo.
- La calidad del paisaje del lugar de la explotación es nula, ya que allí había una explotación abandonada la cual no fue restaurada, por lo que al final de esta explotación se mejorará la calidad ambiental del entorno y del paisaje, contribuyendo a la protección del patrimonio natural.

#### **3.2.3 Evaluación de los criterios de exclusión de huecos mineros para su rehabilitación con RCD.**

Teniendo en cuenta las características del hueco minero, mencionadas en el estado del arte del presente documento, el hueco minero resultante de la explotación de la cantera Palito Hincado, no se encuentra dentro ninguno de los criterios de exclusión de huecos mineros para su rehabilitación con RCD, determinados en la guía.

### 3.2.4. Idoneidad potencial del hueco minero para su relleno con RCD

De acuerdo con lo que se establece en la tabla 13, las canteras de explotación de áridos industriales de donde se pretende obtener áridos de machaqueo, como es el caso de la cantera Palito Hincado, tiene una baja idoneidad potencial para su relleno con RCD.

### 3.2.5 Índice de idoneidad del hueco minero para su relleno con RCD

El índice de idoneidad del hueco minero para su relleno con RCD, se determina usando la siguiente expresión:

$$ID = 0.6 * C_{MIN} + 0.3 * CT_{SUM} + 0.1 * PR_{REST}$$

#### Condicionantes Técnico Mineros ( $C_{MIN}$ )

Los condicionantes-técnico mineros, se determinan por la siguiente expresión:

$$C_{MIN} = 0.7 AG_{SUB} + 0.2 PA_{SUP} + 0.1 ER_{EST}$$

$PA_{SUP}$ , es la proximidad a masas de aguas superficiales, que mide la distancia del hueco a una masa de agua superficial. Como se menciona en el estudio de impacto ambiental del proyecto, no hay ríos u arroyos cerca del lugar donde se hará la extracción. Por lo que, para efectos de este trabajo, se considerará que la distancia es mayor a 1000 metros. Así, el factor de proximidad, de acuerdo con la tabla 8, tendrá un valor de **4**.

$ER_{EST}$ , es el grado de erosión de los taludes del hueco minero y/o presencia de inestabilidades. De acuerdo con los datos de la tabla 9, el hueco será excavado en suelos y rocas blandas con erosión laminar o con pocos regueros, dando un valor a este factor de **4**.

El factor hidrogeológico  $AG_{SUB}$ , se determina con la siguiente expresión:

$$AG_{SUB} = 0.3H_{SUB} + 0.3V_{SUB} + 0.3P_{NF} + 0.1M_{SUB}$$

$H_{SUB}$ , hace referencia a las características hidrogeológicas del hueco de la explotación, donde los materiales presentes son de permeabilidad baja, teniendo este factor un valor de **3**

$V_{SUB}$ , hace referencia a la vulnerabilidad de las masas de agua subterránea, se podría considerar que la vulnerabilidad intrínseca es baja, teniendo este factor un valor de **3**

$P_{NF}$ , hace referencia a la profundidad del nivel freático, el cual se encuentra a 9 metros de la cota más baja prevista para la explotación, por lo que este factor tiene un valor de **3**

$M_{SUB}$ , es la distancia a captaciones de agua para abastecimiento. Como se indica que no hay ríos u arroyos cerca del lugar de la explotación, se considera que esta es mayor a 1000 metros, por lo que este factor tendrá un valor de **4**

Así el factor hidrogeológico será:

$$AG_{SUB} = 0.3 * 3 + 0.3 * 3 + 0.3 * 3 + 0.1 * 4$$

$$AG_{SUB} = 2.8$$

Y, por tanto, el factor de condicionantes técnico-mineros será:

$$C_{MIN} = 0.7 * 2.8 + 0.2 * 4 + 0.1 * 4$$

$$C_{MIN} = 3.16$$

Continuando con el cálculo del índice de idoneidad del hueco minero para su relleno con RCD (ID), ahora se calcula el factor de coste de transporte y suministro de RCD  $CT_{SUM}$ , con la siguiente expresión:

$$CT_{SUM} = 0.7D_{NUC} + 0.3P_{NUC}$$

$D_{NUC}$ , es la distancia a centros de producción de RCD. Como se ha mencionado en varias partes del documento, dentro del emplazamiento de la explotación, se construirá una planta de gestión de residuos de RCD, por lo que esta distancia es menor a 50 km, y este factor tiene un valor de **1**.

$P_{NUC}$ , es el factor que mide el tamaño de la población de los núcleos urbanos cercanos. En este caso es Alcalá de Guadaíra, que, según el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, a 2020 tenía una población total de 75.533 habitantes, teniendo este factor un valor de **2**

Por tanto, el factor de transporte y suministro de RCD será:

$$CT_{SUM} = 0.7 * 1 + 0.3 * 2$$

$$CT_{SUM} = 1.3$$

$PR_{EST}$ , es el factor de prioridad de restauración de espacios degradados por minería, que se determina usando la siguiente expresión:

$$PR_{EST} = 0.6C_{AMB} + 0.4A_{VIS}$$

$C_{AMB}$ , hace referencia a la calidad ambiental y/o calidad visual del paisaje, teniendo en cuenta que allí había una explotación minera finalizada y no restaurada, los espacios se encontraban muy degradados y la calidad visual del paisaje era muy baja, por lo que este factor tiene un valor de **1**.

$A_{VIS}$ , la accesibilidad visual es baja, teniendo en cuenta que no es visible desde vías de comunicación o centros de población, por lo que este factor tiene un valor de **1**.

Por ende, la prioridad de restauración de espacios degradados por minería será:

$$PR_{EST} = 0.6 * 1 + 0.4 * 1$$

$$PR_{EST} = 1$$

Así, el índice de idoneidad del hueco minero para su relleno con RCD (ID) será

$$ID = 0.6 * 3.16 + 0.3 * 1.3 + 0.1 * 1$$

$$ID = 2.39$$

De acuerdo con los parámetros de la tabla 5, la idoneidad del hueco minero de la cantera Palito Hincado para su relleno con RCD es alta.

### 3.2.6 Tipo de RCD recomendado para el relleno del hueco minero

El perfil geológico de la zona donde se hará la explotación, se compone principalmente por calcarenitas o arenas, en las cuales apenas es posible distinguir la estratificación. Así mismo, su nivel freático se encuentra a nueve metros de profundidad, desde la cota más baja proyectada para este hueco minero.

De acuerdo a lo plasmado en la tabla 6 del presente documento, el hueco minero es apto para su relleno con RCD Tipo I (hormigón) y tipo II (cerámicos /mixtos). RCD que, además, serán aptos para su gestión en la planta de tratamiento a construir en el emplazamiento.



## CAPITULO 4. CONCLUSIONES

Usando como referencia los factores y parámetros establecidos en la Guía de Rehabilitación de Huecos Mineros con Residuos de la Construcción y la demolición; y, de acuerdo con la información suministrada por el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de Ampliación de la explotación minera Palito Hincado, se ha logrado determinar que esta cantera tiene una idoneidad alta para relleno con RCD. En este caso, su relleno se recomienda con residuos tipo I, hormigón, y residuos tipo II, cerámicos/mixtos.

La cantera “Palito Hincado” será una explotación a cielo abierto, de la cual se espera la extracción de alberos, por el método de banqueo. Esta se ubica en un medio poco vulnerable a la contaminación y poco expuesto a riesgos naturales. En el sitio, actualmente hay una explotación minera abandonada, la cual nunca fue restaurada, por lo que la calidad del paisaje y la incidencia visual son nulas. Se espera que al final de la explotación, relleno y restauración, la calidad del paisaje y la calidad ambiental mejoren considerablemente, contribuyendo a la protección del patrimonio natural del entorno de la explotación

Se considera que uno de los factores más importantes en este resultado, es que, dentro del lugar de la explotación, se construirá una planta de gestión de residuos RCD, disminuyendo costes de transporte que, por lo general, es el rubro con mayor valor en este tipo de procedimientos, influyendo considerablemente en la factibilidad de este tipo de actividades.

De la misma manera, es importante resaltar que al contar con la planta de gestión de RCD dentro del lugar donde se realizará la explotación y el relleno del hueco minero, se espera tener una trazabilidad eficiente del manejo y tratamiento de los materiales con los cuales se realizarán las operaciones de relleno. Con esto, además, se espera, que estos materiales cumplan con las condiciones físico-químicas para el manejo escorrentías, lixiviados, y aguas superficiales durante las diferentes etapas del proyecto.

Como se mencionó anteriormente, fue posible determinar que el relleno se puede realizar con RCDs como el hormigón y cerámicos mixtos, realizando con este tipo de residuos una operación de valorización y no de eliminación, contribuyendo significativamente al cambio que se está teniendo de un modelo lineal de la economía, hacia una economía circular.

De acuerdo con las recomendaciones de la guía de rehabilitación de huecos mineros con residuos de la construcción y la demolición, es importante que durante todas las fases del proyecto se cuente con personal técnico y especializado que realice el seguimiento a los diferentes factores que afectan directamente al proyecto, topografía, climatología, edafología, hidrología, etc., de manera que las labores propias del proyecto no perjudiquen al medio ambiente y al entorno cercano al proyecto. Se considera importante llevar registros periódicos de estos factores, con el fin de generar alertas tempranas ante cualquier alteración en los mismos.





## CAPITULO 5. REFERENCIAS

Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (2007). *Ley 7/2007, de 09 de julio, de Gestión Integrada de Calidad Ambiental*. Recuperado de: <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2007/143/boletin.143.pdf>

Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (2012). *Decreto 73/2012, de 20 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de Residuos de Andalucía*. Recuperado de: <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2012/81/fasciculo-2.pdf>

Consejo de la Unión Europea (1999). *Directiva 1999/31/CE, de 26 de abril, relativa al vertido de residuos*. Recuperado de: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A31999L0031>

Ecorys & Comisión Europea (2016). *Protocolo de gestión de residuos de la construcción y demolición en la UE*. Recuperado de: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/20509/attachments/1/translations/es/renditions/native>

Ingeniería MinerAmbiental S. L. U. (2019). *Estudio de Impacto Ambiental de Plantas de RCDs Proyecto de Ampliación de Explotación Minera Cantera "Palito Hincado" RSA No. 347*

Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (2020). *Andalucía pueblo a pueblo- fichas municipales, Alcalá de Guadaíra*. Recuperado de: <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/sima/ficha.htm?mun=41004>

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2017). *Orden APM/1007/2017, sobre normas generales de valorización de materiales naturales excavados para su utilización en operaciones de relleno y obras distintas a aquellas en las que se generaron*. Recuperado de: <https://www.boe.es/boe/dias/2017/10/21/pdfs/BOE-A-2017-12043.pdf>

Ministerio de Fomento de España (s. f.). *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), Parte 1ª Introducción y generalidades*. Recuperado de: [https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/pg3\\_parte\\_1.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/pg3_parte_1.pdf)

Ministerio de Medio Ambiente de España (2001). *Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula eliminación de residuos mediante depósito en vertedero*. Recuperado de: [https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/pdf/2E38D357-5A12-4881-BDD1-FAD1C15AF926/115190/RD\\_1481\\_2001\\_consolidado.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/pdf/2E38D357-5A12-4881-BDD1-FAD1C15AF926/115190/RD_1481_2001_consolidado.pdf)

Ministerio de Medio Ambiente de España (2011). *Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados*. Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-13046-consolidado.pdf>

Ministerio de la Presidencia de España (2008). *Real Decreto 105/2009, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de la construcción y demolición*. Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2008/BOE-A-2008-2486-consolidado.pdf>

Ministerio de la Presidencia de España (2009). *Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades de mineras*. Recuperado de: <https://www.boe.es/boe/dias/2009/06/13/pdfs/BOE-A-2009-9841.pdf>

Ministerio para la Transición Ecológica de España (2018). *Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de la construcción y la demolición (RCD)*.

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (2006). *Directiva 2006/21/CE, sobre la gestión de los residuos en las industrias extractivas y por la que se modifica la Directiva 2004/35/CE*. Recuperado de: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32006L0021>

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (2008). *Directiva 2008/1/CE, de 15 de enero de 2008, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación*. Recuperado de: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32008L0001>

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (2008). *Directiva 2008/98/CE, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas*. Recuperado de: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0098&qid=1623549395821>

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (2018). *Directiva (UE) 2018/850, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 1999/31/CE relativa al vertido de residuos*. Recuperado de: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32018L0850>

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (2018). *Directiva (UE) 2018/851, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos*. Recuperado de: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0851>