

Trabajo Fin de Máster

Ingeniería Industrial

Proyecto de restauración de una cantera de áridos
mediante un vertedero de residuos inertes.

Autor: Genaro Juan Gil Maínez

Tutor: Antonio Morales Esteban

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, Julio 2020



Trabajo Fin de Máster
Ingeniería de Industrial

Proyecto de restauración de una cantera de áridos mediante un vertedero de residuos inertes.

Autor:

Genaro Juan Gil Maínez

Tutor:

Antonio Morales Esteban

Profesor titular

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020

Trabajo Fin de Máster: Proyecto de restauración de una cantera de áridos mediante un vertedero de residuos inertes.

Autor: Genaro Juan Gil Maínez

Tutor: Antonio Morales Esteban

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

Agradezco a mi familia y a mi pareja por el cariño incondicional que siempre me han dado en todos mis proyectos e inquietudes.

A mis amigos, por la ayuda y el apoyo que me muestran cada vez que paso un buen rato con ellos.

A todos mis profesores a lo largo de mi etapa académica, y en especial a D. Antonio Morales, por ayudarme en este proyecto y mostrar su disponibilidad desde el primer día.

Sevilla, 2020

En este proyecto se aborda la restauración y rehabilitación de una cantera de áridos. Dicha restauración se realiza mediante la instauración de un vertedero de residuos inertes. Estos residuos son caracterizados también a lo largo del documento. En el presente texto se exponen los diferentes requisitos para llevar a cabo dicho proyecto en función de la legislación aplicable y se explica con todo detalle la manera de proceder en el relleno del hueco minero. Mediante la creación del vertedero, no solo se consigue la restauración de la cantera, sino que además se consigue mejorar la gestión de residuos inertes de la zona y contribuir a la preservación del medio ambiente.

Además, una vez que el hueco está cubierto, se desarrolla la plantación de un olivar para la rehabilitación del terreno en todos sus aspectos. Por último se lleva a cabo un estudio sobre la viabilidad económica y el presupuesto necesario para acometer dicho proyecto.

Abstract

This project deals with the restoration of an aggregate quarry. This restoration is carried out by establishing an inert waste dump. These wastes are also characterized through the document. This text sets out the different requirements for carrying out the project in accordance with the applicable legislation and explains in detail how to proceed in filling the mining hole. By creating the landfill, not only is the restoration of the quarry achieved, but it is also possible to improve the management of inert waste in the area and contribute to the preservation of the environment.

Furthermore, once the hole is covered, an olive grove is planted to rehabilitate the land in all its aspects. Finally, a study on the economic viability and the budget necessary to undertake the project is carried out.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xiv
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xix
Notación	xxi
1. Antecedentes	1
1.1 <i>Introducción</i>	1
1.2 <i>Objetivo</i>	3
1.3 <i>Descripción y localización de la cantera</i>	3
2. Legislación aplicable	9
2.1 <i>Legislación europea</i>	9
2.2 <i>Legislación nacional</i>	10
2.3 <i>Legislación Autonómica</i>	12
3. Caracterización del emplazamiento	13
3.1 <i>Descripción del entorno afectado</i>	13
3.1.1 <i>Clima</i>	13
3.1.2 <i>Geología</i>	14
3.1.3 <i>Suelo.</i>	15
3.1.4 <i>Estudio de estabilidad de taludes.</i>	16
3.1.5 <i>Hidrología.</i>	21
3.1.6 <i>Flora</i>	22
3.1.7 <i>Fauna</i>	22
3.1.8 <i>Paisaje</i>	23
3.1.9 <i>Entorno social</i>	23
3.2 <i>Idoneidad del hueco minero para su restauración mediante RCD</i>	23
3.2.1 <i>Condicionantes técnico-mineros (CMIN)</i>	25
3.2.2 <i>Coste de transporte y suministro de RCD (CTsum)</i>	28
3.2.3 <i>Prioridad de restauración de espacios degradados por minería (PRrest)</i>	29
4. Plan de restauración y modelo de cierre	32
4.1 <i>Fase de remodelado y acondicionamiento del hueco</i>	32
4.1.1 <i>Estanqueidad físico-química del hueco y sistemas de drenaje interno</i>	33
4.1.2 <i>Sistemas de drenaje interno</i>	34
4.1.3 <i>Aspectos constructivos de los sistemas de impermeabilización y drenaje interno</i>	35
4.1.4 <i>Sistemas de captación y control de lixiviados: Balsa de almacenamiento</i>	35
4.2 <i>Fase de relleno y clausura</i>	36
4.2.1 <i>Admisión de los RCD</i>	36
4.2.2 <i>Procedimiento de relleno del hueco con RCD</i>	36

4.2.3	Fase de clausura	40
5.	Plantación de olivar	41
5.1	<i>Justificación de elección de plantación de olivar</i>	41
5.2	<i>Proceso de plantación de olivar</i>	42
5.2.1	Marco de plantación	42
5.2.2	Orientación	42
5.2.3	Preparación del terreno	43
5.2.4	Instalación del sistema de riego	44
5.2.5	Plantación	44
5.2.6	Entutorado y espalderas	47
5.2.7	Cuidados y operaciones tras la plantación	48
6.	Programa de vigilancia y control ambiental	50
6.1	<i>Situación preoperacional. Establecimiento de la red de control.</i>	50
6.1.1	Datos meteorológicos	50
6.1.2	Calidad de aguas	51
6.2	<i>Programa de vigilancia y control ambiental. Fase de relleno del hueco minero</i>	51
6.2.1	Vigilancia y control de las aguas superficiales y subterráneas.	52
6.2.2	Vigilancia de la red de drenaje de aguas superficiales y de evacuación de lixiviados	53
6.2.3	Calidad atmosférica: Polvo y ruido	53
6.2.4	Gestión de residuos	55
6.2.5	Control de la estructura de relleno de RCD	55
6.2.6	Estabilidad e integridad del relleno con RCD y de la capa de impermeabilización	56
6.2.7	Señalización y cerramientos	56
6.3	<i>Programa de vigilancia y control ambiental. Fase de clausura y postclausura</i>	56
6.3.1	Programa de mantenimiento	56
7.	Estudio de seguridad y salud	59
7.1	<i>Prevención de riesgos laborales</i>	59
7.2	<i>Descripción de los puestos de trabajo</i>	60
7.3	<i>Vigilancia de la salud</i>	61
8.	Presupuesto y análisis de rentabilidad	63
8.1	<i>Presupuesto fase de operación.</i>	63
8.1.1	Costes de inversión.	63
8.1.2	Costes anuales.	64
8.2	<i>Análisis de rentabilidad fase de operación.</i>	64
8.2.1	Ingresos.	64
8.2.2	Cálculo de la rentabilidad.	66
8.3	<i>Presupuesto fase postoperación.</i>	67
8.3.1	Costes de inversión.	67
8.3.2	Costes anuales.	67
8.4	<i>Análisis de rentabilidad fase postoperación.</i>	70
8.4.1	Ingresos.	70
8.4.2	Cálculo de rentabilidad.	70
8.5	<i>Conclusiones Presupuesto y Análisis de rentabilidad.</i>	71
	Conclusiones	72
	Referencias	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cálculo de la capacidad volumétrica del hueco minero	8
Tabla 2: Títulos de los RCD dentro de la Lista Europea de Residuos	9
Tabla 3: Normativa nacional para el desarrollo del proyecto	11
Tabla 4: Datos meteorológicos históricos de Arcos de la fra. (Cádiz)	13
Tabla 5: Escala de valoración de los índices de idoneidad.	25
Tabla 6: Criterios de valoración del factor hidrogeológico AGsub	26
Tabla 7: Criterios de valoración del factor de proximidad de aguas superficiales PAsup	27
Tabla 8: Grado de erosión de los taludes del hueco y/o presencia de inestabilidades ERest	27
Tabla 9: Escala de valoración del (DNUC) en función de la distancia a los centros de tratamiento de RCD	28
Tabla 10: Escala de valoración del (PNUC) en función de la población de los núcleos urbanos	28
Tabla 11: Escala de valores del (CAMB) en función de la calidad ambiental y/o del paisaje	29
Tabla 12: Escala de valores de la (AVIS) en función de diversos criterios	30
Tabla 13: Calendario fenológico del olivo	47
Tabla 14: Plan de vigilancia y control	58
Tabla 15: Costes de inversión en la fase de operación.	64
Tabla 16: Costes anuales costes de operación.	64
Tabla 17: Cálculo del VAN fase operación	66
Tabla 18: Costes de inversión olivar.	67
Tabla 19: Costes de poda anuales.	68
Tabla 20: Costes de mantenimiento del suelo anuales.	68
Tabla 21: Costes de fertilizantes anuales.	68
Tabla 22: Costes de protección del cultivo anuales.	68
Tabla 23: Gastos de recolección anuales	69
Tabla 24: Costes anuales.	69
Tabla 25: Ingresos de explotación anuales	70
Tabla 26: Cálculo del VAN en la fase de postoperación.	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Plano catastral de las parcelas 111 del polígono 9 de Arcos de la fra. (Cádiz)	4
Figura 2: Vista aérea de la cantera	4
Figura 3: Medición de la superficie de la superficie de la cantera.	5
Figura 4: Curvas de nivel del terreno.	6
Figura 5: Representación de las secciones transversales de 0 a 80 m.	6
Figura 6: Representación de las secciones transversales de 100 a 240 m.	7
Figura 7: Representación de las secciones transversales de 260 a 340 m.	8
Figura 8: Materiales autóctonos de la cantera	14
Figura 9: Situación de la cantera en plano geológico	14
Figura 10: Esquema regional de la situación de la cantera	15
Figura 11: Representación 3D del hueco minero.	17
Figura 12: Planta de las secciones transversales del plano de la cantera.	17
Figura 13: Sección transversal a una longitud de 100 metros.	18
Figura 14: Sección transversal a una longitud de 140 metros.	18
Figura 15: Sección transversal a una longitud de 160 metros.	19
Figura 16: Esquema de simulación del talud para una inclinación de 33°.	20
Figura 17: Esquema de simulación del talud para una inclinación de 55°.	20
Figura 18: Esquema de simulación del talud para una inclinación de 45°.	20
Figura 19: Mapa hidrológico de parte de la provincia de Cádiz	22
Figura 20: Capas a añadir para la preparación del terreno para la instauración del vertedero de RCD	33
Figura 21: Esquema de procedimiento de relleno de hueco minero	37
Figura 22: Fase del relleno, nivelación a 20 metros (1).	38
Figura 23: Fase del relleno, nivelación a 20 metros (2).	39
Figura 24: Orientación del olivar	43
Figura 25 : Variedad de olivo elegida	46

Notación

RCD	Residuos de Construcción y Demolición
INE	Instituto Nacional de Estadística
PEMAR	Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos
RD	Real Decreto
PNRCD	Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición
GICA	Gestión Integrada de Calidad Industrial
IGME	Instituto Geológico y Minero de España
LIG	Lugares de Interés Geológico
AEMET	Agencia Estatal de Meteorología

1. ANTECEDENTES

1.1 Introducción

Hoy en día la sociedad está cada día más concienciada de la importancia de preservar el medio ambiente y la Administración pública insta a particulares y empresas a colaborar en proyectos cuyo fin último sea la conservación del medio ambiente.

Las actividades mineras y de movimiento de tierras provocan grandes cambios en el entorno tanto en el medio físico como en el biótico afectando al equilibrio ecológico. Los ecosistemas que se destruyen proporcionan bienes y servicios fundamentales por lo que su degradación afecta negativamente tanto al ecosistema, como ya se ha comentado, como a la sociedad en su conjunto. Con objeto de evitar la pérdida de estos bienes y servicios proporcionados por la naturaleza, tras cualquier actividad minera, es absolutamente necesaria la recuperación de los procesos ecológicos que había antes del desarrollo de la misma lo que conlleva inherentemente planes de actuación para la rehabilitación del terreno y la recuperación del ecosistema. (Generales, 2009).

Es precisamente este contexto donde se encuadra el presente proyecto de restauración de una cantera mediante la creación de un vertedero para residuos inertes. Actualmente en España existe la obligación para las empresas que desarrollan una actividad minera, de presentar un plan de restauración del terreno que están modificando debido a su actividad (Generales, 2009). En la mayoría de ocasiones este plan de restauración debe llevarse a cabo al mismo tiempo que se realizan las tareas de extracción. Estos planes de restauración en ocasiones no se llevan a cabo por diversos motivos que no son objeto de desarrollo de este proyecto pero el no cumplimiento de los mismos causa una problemática ambiental a todos los niveles que sin duda es preciso solucionar.

Existen muchas soluciones posibles para la restauración de un hueco minero. Una opción sería la reforestación simplemente sin aporte de material para el relleno del hueco. Esta medida se podría clasificar como moderada en el contexto de restauración total y recuperación del ecosistema por lo que no se cumpliría el objetivo de preservar el medio ambiente lo máximo posible. Otra opción es el aprovechamiento del terreno para desarrollar una actividad recreativa como pudiera ser circuitos de mountain bike o similar, lo que tampoco cumpliría con el objetivo anteriormente mencionado.

Por tanto, en este proyecto se opta por una medida doblemente beneficiosa para el medio ambiente. Se propone la restauración del hueco minero mediante la creación de un vertedero de residuos inertes lo que presenta como bien se ha comentado, dos grandes ventajas o beneficios que se detallan a continuación:

- En primer lugar, se debe puntualizar que de este modo se cumple con el objetivo de recuperación del ecosistema anterior al inicio de la actividad minera ya que, posteriormente al relleno, se procederá a la plantación de un olivar. Dicha plantación cumple con los requisitos de reacodicionamiento de la zona ya que en zonas cercanas existe este tipo de plantación por lo que el hábitat natural de las especies allí presentes se vería claramente beneficiado.
- En segundo lugar, el material para el relleno serán residuos inertes lo que supone un aprovechamiento de los mismos para un fin útil ya que actualmente es difícil no encontrar restos de estos residuos en algunos lugares no aptos para el vertido de los mismos que conlleva una contaminación medio ambiental no solo a nivel visual o paisajístico sino a todos los niveles. De esta forma aunque el principal objeto del proyecto es la restauración de la cantera, haciéndolo mediante el relleno del hueco con residuos inertes se mantiene la idea principal del proyecto que es la preservación del medio ambiente en todos sus aspectos.

El proyecto se centrará en las tareas a desarrollar en cuanto al relleno del hueco minero y la rehabilitación del espacio natural afectado pero, dado que este relleno se realizará mediante residuos inertes, se cree necesaria

una breve descripción de este tipo de residuos así como la situación a nivel nacional de los mismos.

Los residuos inertes son aquellos no peligrosos que no presentan transformaciones químicas, físicas o biológicas significativas. No son biodegradables pero no afectan negativamente a otras materias con las que pueden estar en contacto. Una característica fundamental de estos residuos es que la lixiviabilidad total, la ecotoxicidad del lixiviado y los contaminantes del residuo deben ser insignificantes y no suponer un riesgo para la contaminación de aguas, tanto subterráneas como superficiales. Además, estos residuos, como se abordará en el proyecto, deben taparse posteriormente con tierra vegetal para garantizar la recuperación del ecosistema y la calidad paisajística.

Este proyecto se basa en un tipo de residuo inerte: los residuos procedentes de construcciones y demoliciones (RCD, de aquí en adelante). Los RCD son los residuos generados en obras de construcción y demolición como pueden ser reformas o demoliciones de cualquier tipo de inmuebles. Algunos ejemplos de residuos inertes se presentan a continuación:

- Escombros: serán los más habituales y representarán el mayor porcentaje dentro de los residuos inertes a que se considerarán aptos para rellenar el hueco.
- Tierras y áridos: todo lo que se pueda aprovechar de tierras será bienvenido ya que es el mejor material para la rehabilitación del medio natural.
- Restos de hormigón: podrían encuadrarse dentro de escombros aunque no tienen las mismas propiedades, es por eso que se hace la distinción.
- Restos de pavimentos asfálticos.
- Materiales refractarios.
- Yesos.
- Materiales que se producen como consecuencia del movimiento de tierras.

Actualmente en España la producción de residuos de construcción representa el 27,7% del total de residuos generados en el país. Este alto porcentaje, sin duda, es un claro factor a tener en cuenta para el desarrollo del proyecto ya que la necesidad de aprovechamiento es evidente si se atiende a estos datos del último informe del INE (Maschinen et al., n.d.).

En Europa este porcentaje asciende al 30%. En 2008 la Unión Europea se marcó el objetivo de que un 70% de los RCD fueran reciclados o reutilizados de algún modo de tal manera que contribuyeran a la sostenibilidad y a la preservación del medio ambiente a través de la Directiva Marco Residuos 2008/98/CE (UE, 2008).

Los últimos datos de Eurostat (2016) sitúan a España como uno de los países de la Unión con una tasa de reciclado o reutilización de los RCD más baja (37%) y muy lejos del objetivo marcado. Países como Italia (78%), Bélgica (76%) o Francia (55%) llevan mucha ventaja con respecto a España y debe ser objetivo prioritario la equiparación de estos porcentajes. Bien es cierto que, según la Federación Española de Gestores de Residuos de RCD (FERCD), esta tasa tiene una cierta tendencia al alza, aunque el ritmo de crecimiento no es suficiente. Actualmente no existen datos exactos, pero se estima que en torno a un 50% de los RCD son gestionados de forma ilegal, se tratan de forma incorrecta y tienen un destino desconocido o van a plantas no autorizadas. Un ejemplo claro de mejora de esta tasa es mediante la creación de vertederos autorizados de RCD para el relleno de un hueco minero como el que se propone en el presente proyecto (Madrid, 2020).

El presente proyecto, por tanto, desarrollará el relleno del hueco minero y la restauración de la cantera mediante residuos RCD de acuerdo a la normativa aplicable europea, nacional y autonómica en materia de RCD y en materia medioambiental, fundamentalmente, para la rehabilitación a todos los niveles del terreno afectado por la actividad minera.

1.2 Objetivo

De todo lo comentado anteriormente se puede tener una idea clara de cuál es el objeto por el que se desarrolla este proyecto. Pues bien, el objetivo principal del proyecto es la rehabilitación de una cantera de áridos mediante la plantación de un olivar. Tal y como se ha comentado, se pretende alcanzar dicho objetivo atendiendo siempre al cuidado del medio ambiente. Es por eso que el relleno del hueco minero se realiza mediante RCD. Cabe destacar que aunque el objetivo común y el fin último del proyecto sea el ya comentado, el proyecto tiene una serie de subobjetivos marcados que se comentan a continuación:

- Corregir procesos erosivos.
- No afectar a la hidrología del terreno mediante la instauración del vertedero de RCD.
- Tener estabilidad en el terreno una vez el hueco esté relleno.
- Conseguir la rehabilitación de la flora y fauna del lugar.
- Lograr la rehabilitación paisajística del mismo.
- Contribuir al cuidado del medio ambiente mediante la reutilización de estos residuos RCD.
- Contribuir a alcanzar el objetivo europeo de que el 70% de los RCD se reutilicen.
- Elaborar un presupuesto del proyecto.

Todos estos objetivos marcados se llevarán a cabo siempre acorde a la normativa aplicable en cada caso que se explicará en el apartado 2 de este documento.

1.3. Descripción y localización de la cantera

El tipo de hueco minero y la geometría del mismo determinarán el volumen de RCD que es necesario aportar para la rehabilitación, así como el diseño y planificación de toda acción relacionada con el relleno del hueco minero. Es importante también saber la tipología del hueco para conocer la idoneidad del mismo para su conversión en vertedero de RCD. Este punto se abordará en el apartado 3.1 del proyecto.

El tipo de hueco minero depende del yacimiento mineral así como del método de explotación a cielo abierto que se haya aplicado en la extracción de recursos minerales.

El caso de este proyecto es una cantera. Las canteras son explotaciones de rocas industriales y ornamentales en las que los recursos minerales son extraídos de un macizo rocoso. El método de explotación normalmente es blanqueo de uno o varios niveles. En dichas explotaciones se extrae material para alimentar a las plantas de tratamiento para la obtención de áridos u otros materiales de construcción como pueden ser arcillas, cementos o diversos productos industriales. Cabe destacar que es muy común la presencia de bancos de gran altura que aparecen generalmente en canteras antiguas abandonadas. En este tipo de canteras la extracción de áridos y otros materiales de construcción presenta un ratio de aprovechamiento alto por lo que los deshechos de la propia actividad para la restauración del terreno son escasos. Este es el motivo principal por el que se producen abandonos y es un motivo también para proponer la restauración de este tipo de cantera mediante residuos inertes.

La cantera a restaurar en este proyecto pertenece precisamente a esta tipología mencionada anteriormente. Es una cantera de extracción de áridos situada en la Finca Barranco, ctra. A-372 Arcos-El Bosque km 5.6 (Cádiz). El acceso a la misma es precisamente mediante el punto kilométrico antes mencionado y a unos 100 metros se sitúa el acceso a la cantera plenamente condicionado para la entrada y salida de camiones. Concretamente la cantera se corresponde con la parcela 111 del polígono 9 de Arcos de la fra. (Cádiz). En la figura 1 se puede observar la situación de la misma obtenida de la sede catastral. Por otra parte, la figura 2 muestra una toma aérea.

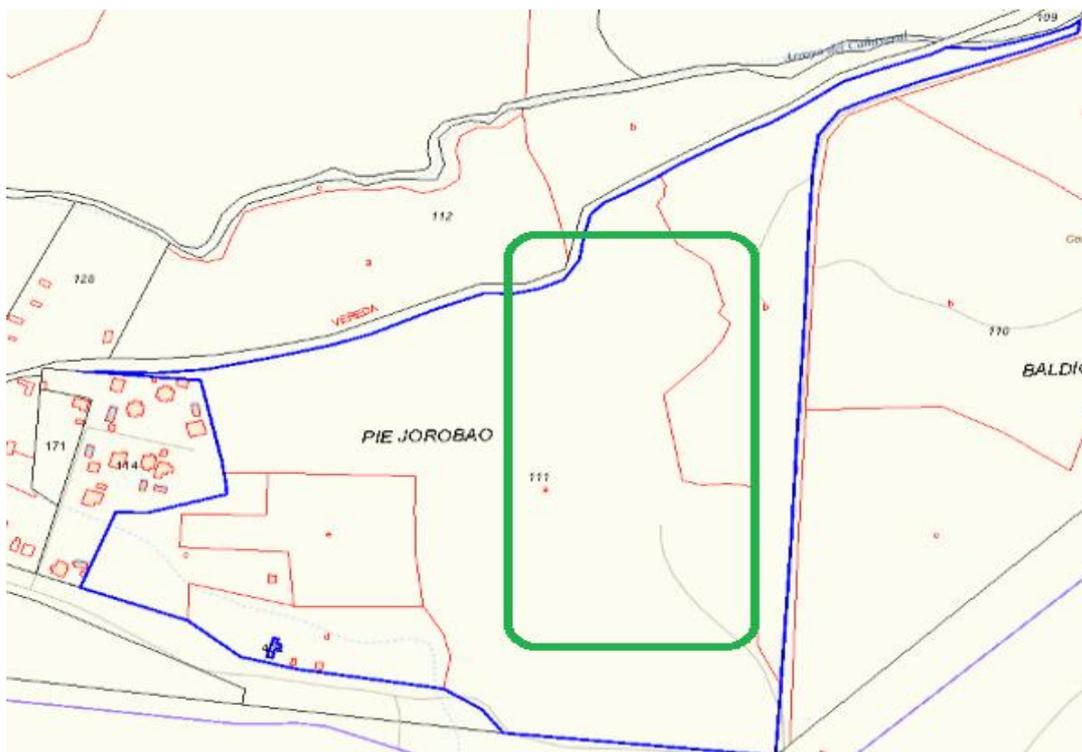


Figura 1: Plano catastral de las parcelas 111 del polígono 9 de Arcos de la fra. (Cádiz)



Figura 2: Vista aérea de la cantera

Es fundamental, además de la situación geográfica, conocer la geometría del hueco minero en cuestión. Esta geometría, entre otras cosas, es uno de los factores clave para la creación de un vertedero de residuos inertes

como el que se plantea en el proyecto ya que es necesario conocer el volumen o capacidad del hueco minero para albergar los residuos inertes. Ciertamente, que la geometría exacta es difícil de determinar, pero en este caso se ha recurrido a la herramienta informática Google Maps para determinar la superficie de la cantera. Dicha cantera tiene una superficie aproximada de $34\,217\text{ m}^2$ tal y como se observa en la *figura 3*.



Figura 3: Medición de la superficie de la superficie de la cantera.

Una vez se ha calculado la superficie aproximada de la cantera, es necesario estimar la profundidad del hueco minero para determinar el volumen del mismo. De nuevo conviene insistir que este cálculo será aproximado debido a que el terreno es muy tortuoso y nada uniforme, aunque no se alejará demasiado de la realidad ya que se han realizado mediciones en varios puntos y determinado la longitud desde el punto más alto al suelo en varios sectores lo que no representa la altura de los mismos. En la tabla 1 se puede observar los cálculos realizados para la determinación de la capacidad volumétrica total del hueco minero.

Para definir mejor el terreno, se opta por representar las curvas de nivel del mismo, así como los perfiles de las secciones transversales generadas cada 20 metros de longitud, para así poder calcular con facilidad el volumen total del mismo. La metodología que se ha seguido para el cálculo del volumen es la siguiente:

Se parte de las secciones de los perfiles transversales creadas cada 20 metros. Estos perfiles generan una curva. Se ha determinado el área transversal de esa curva de perfil generado. Una vez que se tiene esa área, fácilmente calculable, ya que tenemos las gráficas de cada uno de los perfiles, se multiplica por los 20 metros de longitud de los que se dispone en cada perfil. Así se obtiene de manera sencilla los volúmenes parciales de cada tramo. Finalmente, la suma de estos volúmenes determinará el volumen total aproximado del hueco minero que queda reflejado en la tabla 1.

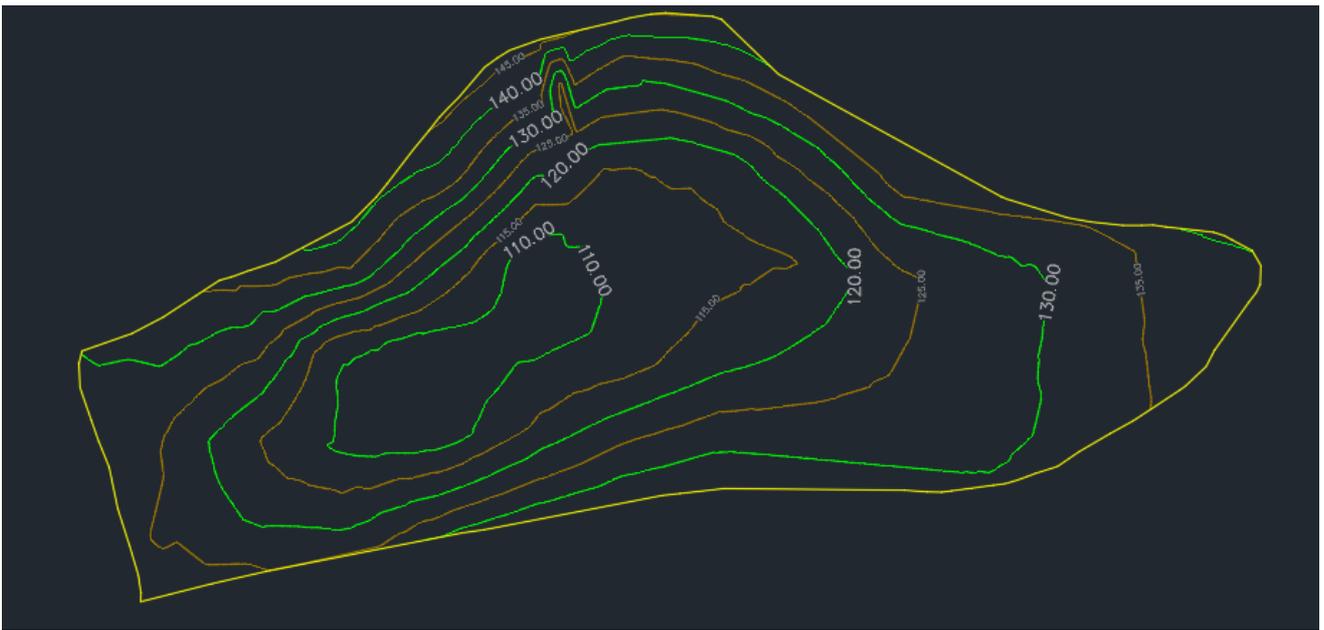


Figura 4: Curvas de nivel del terreno.

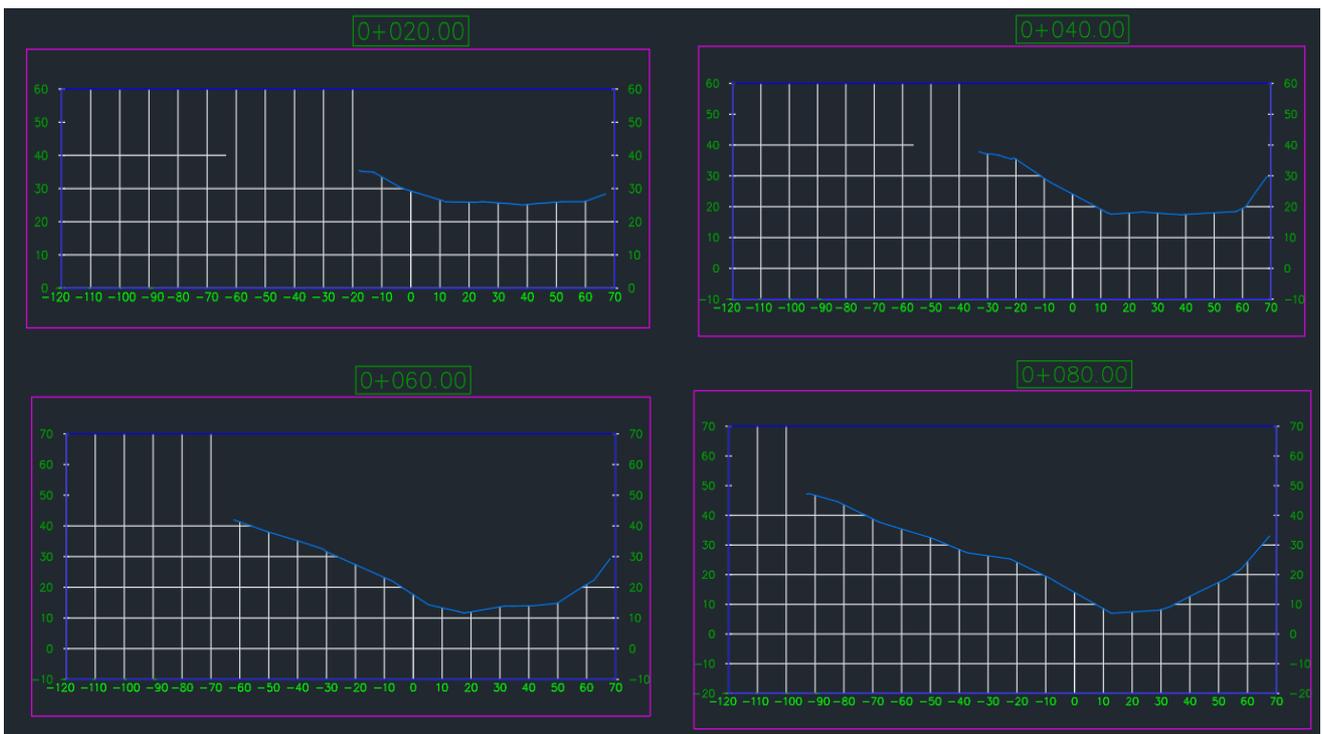


Figura 5: Representación de las secciones transversales de 0 a 80 m.



Figura 6: Representación de las secciones transversales de 100 a 240 m.

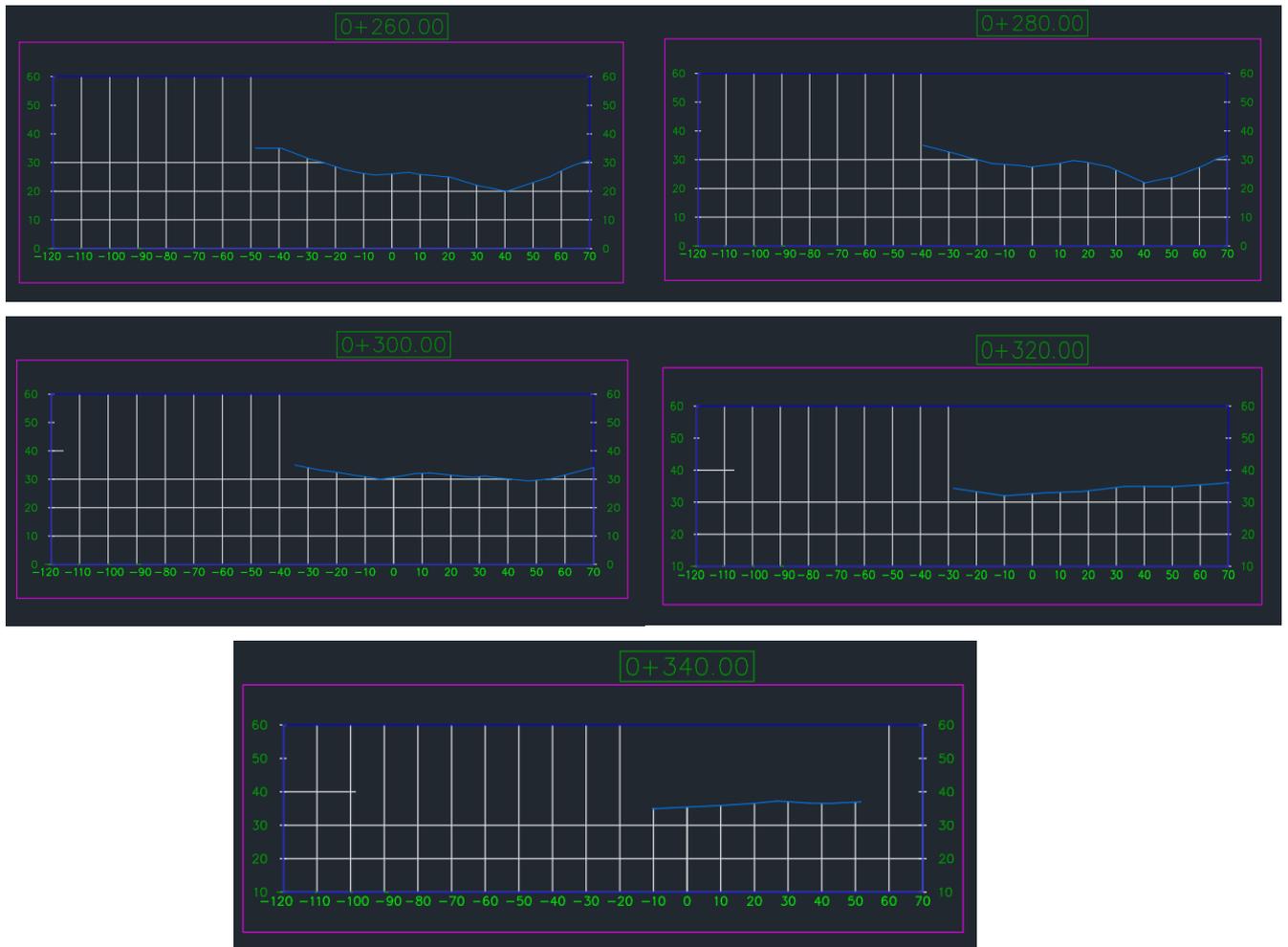


Figura 7: Representación de las secciones transversales de 260 a 340 m.

Tramo	Volumen (m^3)
0-20 m	16 000
20-40 m	18 000
40-60 m	25 000
60-80 m	38 000
80-100 m	56 000
100-120 m	60 000
120-140 m	70 000
140-160 m	72 000
160-180 m	54 000
180-200 m	30 000
200-220 m	24 000
220-240 m	18 000
240-260 m	18 000
260-280 m	12 000
280-300 m	8 000
300-320 m	4 000
320-340 m	1 000
Capacidad volumétrica (m^3)	524 000

Tabla 1: Cálculo de la capacidad volumétrica del hueco minero

2. LEGISLACIÓN APLICABLE

En este punto del proyecto se pretende poner de manifiesto la necesidad del cumplimiento de la normativa que se aplica a la planificación, desarrollo y ejecución del mismo. Las dos actividades principales están íntimamente relacionadas y son: la rehabilitación de la cantera y la creación de un vertedero de residuos inertes para la restauración de dicha cantera.

Para este tipo de proyectos conviene tener muy presente que existen diferentes niveles de normas y ninguna de ellas debe verse incumplidas por nuestro proyecto. En los siguientes subapartados se tratará este aspecto nombrando toda la normativa existente que incumbe al proyecto y haciendo especial hincapié en aquellos puntos que se han considerados oportunos.

2.1 Legislación europea

La Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos (UE, 2008), determina el marco jurídico europeo que regula la producción y gestión de dichos residuos. Cabe destacar que, aunque la Unión Europea considera los RCD como prioritarios en cuanto a su gestión, no se ha desarrollado ninguna norma comunitaria específica sobre este tipo de residuos.

Como se ha comentado en el apartado introductorio al proyecto esta Directiva se marcó el objetivo de que en 2020 el 70% de los RCD sean reutilizados bien sea reciclándolos o bien sea mediante operaciones de valorización como la que se realiza en este proyecto. De acuerdo con la Decisión 2014/955/UE de la Comisión de 18 de diciembre de 2014 (Consejo del Parlamento Europeo, 2014), mediante la que se modifica la Decisión 2000/532/CE, sobre el listado de residuos, atendiendo a la Directiva Marco de Residuos, los RCD están incluidos en el capítulo 17. En la tabla 2 se puede observar los diferentes títulos que hacen referencia a los RCD.

También cabe mencionar la legislación europea relacionada con los residuos que van a vertederos, que es la Directiva 1999/31/CE, del 26 de abril (European Council, 1999), sobre el vertido de residuos y la Decisión del Consejo 2003/33/CE, de 19 de diciembre de 2002 (Ue et al., 2020), mediante la que se determinan los criterios de admisión de los residuos en vertederos. Además, la Directiva 2006/21/CE regula los residuos provenientes de las industrias extractivas (Parlamento Europeo, 2004).

Capítulo 17	Residuos de Construcción y Demolición
17 01	Hormigón, ladrillo, tejas y materiales cerámicos
17 02	Madera, vidrio y plástico*
17 03	Mezclas bituminosas y alquitranes
17 04	Metales (Incluidas sus aleaciones)*
17 05	Tierras, piedras y lodos de drenaje
17 06	Materiales que contienen amianto*
17 08	Materiales de construcción a base de yeso
17 09	Otros residuos de construcción y demolición

Tabla 2: Títulos de los RCD dentro de la Lista Europea de Residuos

*No serán aptos para nuestro proyecto al no ser residuos inertes.

2.2 Legislación nacional

A nivel nacional hay una gran variedad de normativa. Es fundamental comprender esta normativa y tener claro los ámbitos de aplicación en el proyecto que se realiza así como los artículos clave vinculados con el desarrollo del mismo.

El Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, que regula la producción y gestión de los residuos procedentes de la construcción y demolición es la normativa básica que determina el régimen jurídico de la producción y gestión de los RCD, con el objetivo del fomento de la prevención, reutilización, reciclado y diversas formas de valorización para contribuir al desarrollo sostenible de la actividad de construcción (Ministerio de la Presidencia, 2008). La obra podría considerarse de valorización siempre que se cumplan los criterios mínimos establecidos en la norma. La Ley 22/2011, de 28 de Julio define el concepto de lo que se considera residuo (Autoridades, 2011). En base a esta normativa, se considera RCD cualquier sustancia u objeto que sea generado en obras de construcción y demolición tales como: La construcción, rehabilitación, reparación reforma o demolición de cualquier tipo de inmueble como edificios, carreteras, puertos, aeropuertos, etc. También se pueden incorporar a RCD los residuos procedentes de industrias extractivas que en este caso son regulados por la Directiva 2006/21/CE, como se ha comentado en el subapartado anterior. Este RD 105/2008 establece la reutilización de los RCD para la restauración de un espacio ambiental degradado siempre que se cumplan los siguientes requisitos contemplados en el artículo 13.1:

- Que el organismo competente en material medioambiental de la Comunidad autónoma haya dado el visto bueno antes del inicio de las operaciones de gestión de residuos.
- Que el resultado de la operación sea el restablecimiento de bienes naturales que habían quedado dañados por la actividad anteriormente realizada en ese terreno

El RD 105/2008 insta a las Administraciones Públicas al fomento del uso de estos materiales inertes para la restauración de espacios naturales degradados promoviendo también acuerdos entre los gestores de residuos y los responsables de la restauración del espacio natural degradado correspondiente.

En este marco es donde aparece otro documento importante a tener en cuenta en el proyecto que es el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) (Agricultura & Ambiente, 2016), para establecer convenios entre las empresa de la industria extractiva y las Comunidades Autónomas con el objetivo de utilizar los huecos mineros abandonados para la valorización de los RCD y la restauración y rehabilitación de los espacios degradados por la actividad minera de forma que se cumplan los requisitos establecidos en los Planes de Restauración contemplados en el RD 975/2009 de 12 de junio (Generales, 2009).

El RD 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de residuos de industrias extractivas y de protección y rehabilitación de espacios afectados por actividades mineras establece las medidas, procedimientos y orientaciones para prevenir y reducir en la medida que se pueda los efectos adversos que puedan ocasionar al medio ambiente y a la salud de las personas el aprovechamiento de los yacimientos minerales, así como la gestión de los recursos mineros. En el artículo 2.1 (Título I) se trata la rehabilitación de los espacios afectados por la actividad minera y se define el término rehabilitación como “tratamiento del terreno afectado por dicha actividad de forma que se devuelva este a un estado satisfactorio, en particular en lo que se refiere, según los casos, a calidad del suelo, la fauna, los hábitats naturales, los sistemas de agua dulce, el paisaje y los usos beneficiosos apropiados”.

Cabe destacar también que la entidad explotadora debe registrar y certificar, sin perjuicio de la normativa vigente, el origen y naturaleza de los residuos además de la correspondiente eliminación mediante depósito en vertedero, anotándose en el Libro de Registro que corresponda que deberá estar a disposición de la autoridad competente. Según el RD 975/2009, el relleno para la restauración de huecos mineros mediante RCD debe llevarse a cabo según lo dispuesto en el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante el depósito en vertedero (BOE, 2013). Por tanto, además de otros aspectos el relleno de huecos mineros, deberá cumplir los requerimientos de protección de suelos y aguas establecidos en el RD 1481/2001 de acuerdo con las instrucciones técnicas del Anexo I de dicha norma. Se establecen varios criterios para la protección del suelo y de las aguas:

1. Existencia de una barrera geológica natural con un coeficiente de permeabilidad (k) menor o igual de 10^{-7} m/s y de 1 m de espesor.
2. Cuando no exista esta barrera se añadirá una barrera geológica artificial que consistirá en una capa

mineral de un espesor no inferior a 0,5 m.

3. Sobre estas capas geológicas se colocan unas capas de filtro y de drenaje para la recogida de lixiviados.
4. Por último, sobre dichas capas deben depositarse los residuos.

De todos modos, en cuanto a la legislación de vertederos, la Comunidad Autónoma correspondiente puede decidir sobre los riesgos para el medio ambiente teniendo en cuenta el control sobre las aguas y la gestión de los lixiviados siendo posible que no sea necesaria la recogida y tratamiento de estos lixiviados. Por tanto, destacar que en este caso estos requisitos previamente nombrados podrán ser modificados y/o reducidos en consecuencia por el órgano ambiental de cada Comunidad Autónoma conforme el Anexo I apdo. 3.5 del RD 1481/2001 (BOE, 2013).

Por otra parte, los residuos RCD susceptibles de valorización para el relleno de huecos mineros deberán cumplir los criterios de admisión para residuos inertes establecidos en la Orden AAA/661/2013, de 18 de abril, por la que se modifican los Anexos I, II y III del RD 1481/2001 de 27 de diciembre, anteriormente mencionado (BOE, 2013).

La Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados (Jefatura del Estado, 2011), de acuerdo con la Directiva Marco de Residuos, contempla la elaboración de planes de gestión tanto a nivel estatal como autonómico. Respecto a los RCD destacan: El II Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (II PNRCD) y el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022 (Agricultura & Ambiente, 2016).

En la tabla 3 se puede observar, a modo de resumen, la normativa aplicable a nivel nacional:

Normas	Descripción
Ley 22/2011	Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
RD 105/2008	Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero por el que se regula la producción y gestión de RCD.
RD 1481/2001	<ul style="list-style-type: none"> • Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. • Real Decreto 1304/200, de 31 de julio, por el que se modifica el RD 1481/2001.
Desarrollo Técnico RD 1481/2001	Desarrollo Técnico del RD 1481/2001 relativo a las instalaciones de vertido de residuos.
Orden AAA/661/2013	Orden AAA/661/2013 de 18 de abril por la que se modifican los Anexos I, II y III del RD 1481/2001, de 27 de diciembre.
Orden MAM/304/2002	Orden MAM/304/2002 de 8 de febrero por la que se publican las operaciones de valorización de residuos y la lista europea de residuos.
Ley 22/1973	<ul style="list-style-type: none"> • Ley 22/1973 de 21 de julio, de Minas • Ley 54/1980 de 5 de noviembre de modificación de la Ley 22/1973, de 21 de julio.
RD 2857/1978	Real Decreto 2857/1978 de 25 de agosto por el que se aprueba el Reglamento General para el Régimen de la Minería.
RD 975/2009	<ul style="list-style-type: none"> • Real Decreto 975/2009 de 12 de junio sobre la gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras. • Real Decreto 777/2012 de 4 de mayo por el que se modifica el Real Decreto 975/2009 de 12 de junio anteriormente citado.

Tabla 3: Normativa nacional para el desarrollo del proyecto

2.3 Legislación Autonómica

Según lo dispuesto en la Ley 22/2011 y el RD 105/2008 las Comunidades Autónomas y las Entidades Locales tienen la competencia para la elaboración de planes y programas de gestión específicos para el caso de los RCD procedentes de obras menores o reparación domiciliaria. También dichas administraciones públicas tienen competencia en la autorización, vigilancia, inspección y sanción de la producción, posesión y gestión de los RCD.

Hay un consenso general de todas las Comunidades Autónomas que consideran que las tierras y piedras de excavación y desmonte (LER 17 05 04) como las más aptas para operaciones de relleno. También destacar que la mayoría de Comunidades en cuanto a normativa del uso de RCD para la restauración de huecos mineros, se rige por el RD 105/2008 presentando algunas salvedades en algunas de las Comunidades Autónomas, no siendo el caso de Andalucía.

En Andalucía, aparte del ya mencionado RD 105/2008, una norma a tener en cuenta para la regulación de estas actividades de restauración de huecos mineros a través de RCD es el Decreto 73/2012, de 22 de marzo por el que se aprueba el Reglamento de Residuos de Andalucía (*1. Disposiciones Generales*, 2012).

Por último la Ley 7/2007 de Gestión Integrada de Calidad Ambiental (GICA) también es de aplicación en este proyecto ya que el objetivo principal del mismo es la preservación del medio ambiente (Law of Integrated Environmental Quality Management 7/2007, 2007).

3. CARACTERIZACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

El objetivo de este apartado es explicar el impacto en el medio ambiente, que ha provocado la actividad minera en el emplazamiento definido en el proyecto. Este impacto se expondrá clasificado según afecciones al clima, a las aguas, terreno, vegetación, fauna, paisaje, etc. Además, se establecerá una base medioambiental justificada para la restauración de la cantera mediante RCD. Para la elaboración de esta base medioambiental, se recurrirá a un método propuesto por el Ministerio para la Transición Ecológica en 2018 mediante el que se clasifica la idoneidad de un hueco minero para su restauración mediante RCD a través de una serie de índices que se detallan en el punto 3.2 de este documento.

3.1 Descripción del entorno afectado

3.1.1 Clima

Cabe señalar que la climatología del lugar en sí, no se ha visto afectada, por el desarrollo de la actividad minera, pero las consecuencias que el clima puede causar en el entorno si pueden afectar al proyecto. El clima de Arcos de la Frontera es un clima mediterráneo templado con veranos secos y calurosos e inviernos de temperaturas suaves. Un parámetro importante en el mismo es la filtración y evacuación del agua procedente de precipitaciones. Además, otros datos como la temperatura también pueden ser relevantes para tenerlos en cuenta a la hora de la repoblación vegetal.

En la tabla 4 se puede observar lo comentado anteriormente.

Meses	Temp. Máx (°C)	Temp. Media (°C)	Temp. Mín(°C)	Precipitación media (mm)
Enero	14,4	10,7	7,1	86
Febrero	15,6	11,6	7,7	83
Marzo	17,5	13,6	9,7	90
Abril	19,4	15,4	11,4	56
Mayo	23	18,6	14,2	34
Junio	26,2	21,6	17,1	13
Julio	29,5	24,4	19,4	1
Agosto	29,7	25	20,4	3
Septiembre	27,1	22,8	18,5	19
Octubre	22,8	18,8	14,8	76
Noviembre	18	14,2	10,4	101
Diciembre	14,6	11	7,5	106

Tabla 4: Datos meteorológicos históricos de Arcos de la Fra. (Cádiz)

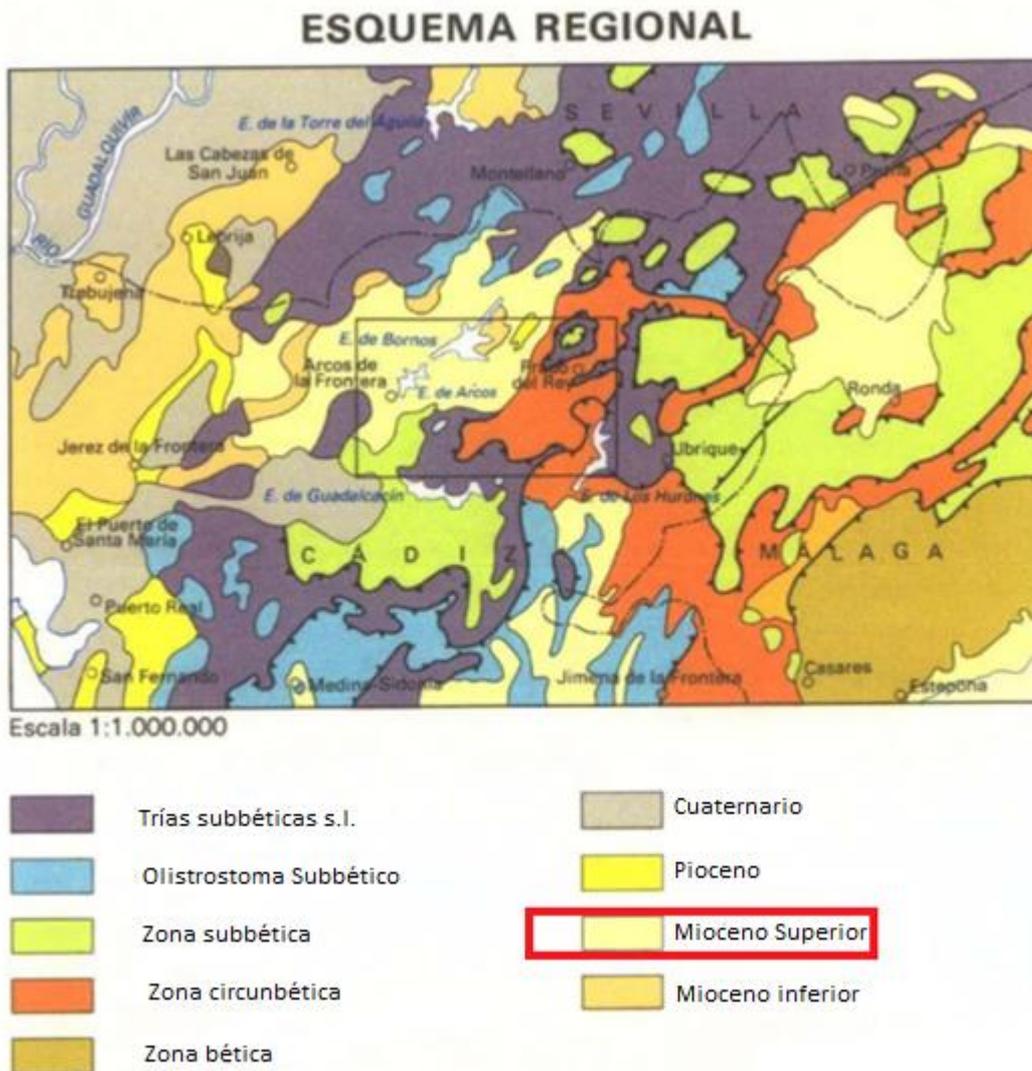


Figura 10: Esquema regional de la situación de la cantera

Además de estos datos, será importante saber la permeabilidad del terreno para saber si está por debajo de $k=10^{-7}$ m/s y de 1 m de espesor para cumplir con lo dispuesto en el RD 1481/2001 citado anteriormente. No obstante la cercanía de arroyos y del lago de Arcos de la Fra. motivan a impermeabilizar artificialmente el vertedero que se tratará a lo largo del desarrollo del documento presente.

3.1.3 Suelo

El suelo se puede definir como un agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas (Hughes, 2008).

En primer lugar, destacar que no se tienen datos experimentales de laboratorio, pero se va a clasificar el suelo y se van a determinar las propiedades características del mismo en base a la bibliografía y a estudios realizados en otras zonas, pero del mismo material de la cantera. Dado que el material de la cantera en cuestión pertenece al grupo de las arenas conviene definir de manera global el concepto de arena. Las partículas de arena están formadas principalmente por cuarzo y feldespatos, aunque, como se especificará a continuación, también puede presentar otros minerales.

Entrando más en profundidad se puede asegurar que las características que tiene la arenisca del terreno serán las que se han obtenido del estudio de arenisca que se cita a continuación (VII. CARACTERIZACIÓN DEL, n.d.):

- Composición mayoritaria de cuarzo (69-81%).
- Como accesorios destaca la presencia de zircón, turmalina y feldespatos potásicos.
- La porosidad varía entre el 14-28%.
- Porcentaje de arcillas de infiltración es relativamente bajo (0-10%).
- El tamaño del grano varía entre 0,2 y 0,42 mm.

Teniendo en consideración los porcentajes de porosidad y que las características petrográficas como la redondez, esfericidad y tamaño del grano son similares cabe destacar que las muestras que tengan un porcentaje más alto en arcillas presentarán menos porosidad que las que presenten un porcentaje bajo en las mismas. Esto se debe a que las arcillas ocupan gran parte del volumen intergranular.

En términos de compactación, en este mismo estudio, se ha relacionado el tamaño de grano con la compactación y con la litificación. Las conclusiones que se han sacado de este estudio es que se suele perder en torno al 30-40% del volumen intergranular cuando se aplica la compactación. Además se observa que las muestras finas sufren mayor compactación, como era de esperar.

Un aspecto fundamental que también ha sido objeto de estudio es la resistencia que presenta la arenisca a la compresión. En base a los datos del estudio y a la bibliografía se ha concluido que los valores de resistencia a la compresión oscilarán en torno a 23 000-34 000 kPa.

Otros aspectos importantes a destacar del suelo presente en el proyecto y, con lo que se concluye este apartado, serán los siguientes:

- El peso específico es de aproximadamente 24 kN/m^3
- La resistencia a la flexión, aunque no será un aspecto muy relevante en nuestro proyecto, se establece en torno a los 50 kPa
- La resistencia al choque toma un valor de 45 cm aproximadamente.
- El coeficiente de absorción, al ser materiales muy porosos se sitúa en torno al 10%, motivo por el cual se impermeabilizará el vertedero artificialmente como se comentará en posteriores apartados del proyecto.

3.1.4 Estudio de estabilidad de taludes

En este apartado se evaluará la estabilidad de los taludes que se han formado en el hueco minero, como consecuencia de la actividad. El estudio de estabilidad de los taludes se considera fundamental para el desarrollo del proyecto. La realización defectuosa del mismo o la no realización, podría suponer consecuencias muy graves tanto a nivel económico como a nivel personal, para las personas que trabajen en la restauración del hueco minero.

Por todo ello se ha recurrido al software STB 2010 para realizar los cálculos oportunos y garantizar la estabilidad de los taludes ya mencionados. Se ha seguido la siguiente metodología:

- 1) Se parte de la superficie en 3D generada por las curvas de nivel que se han representado en el apartado 1.3 del presente documento.

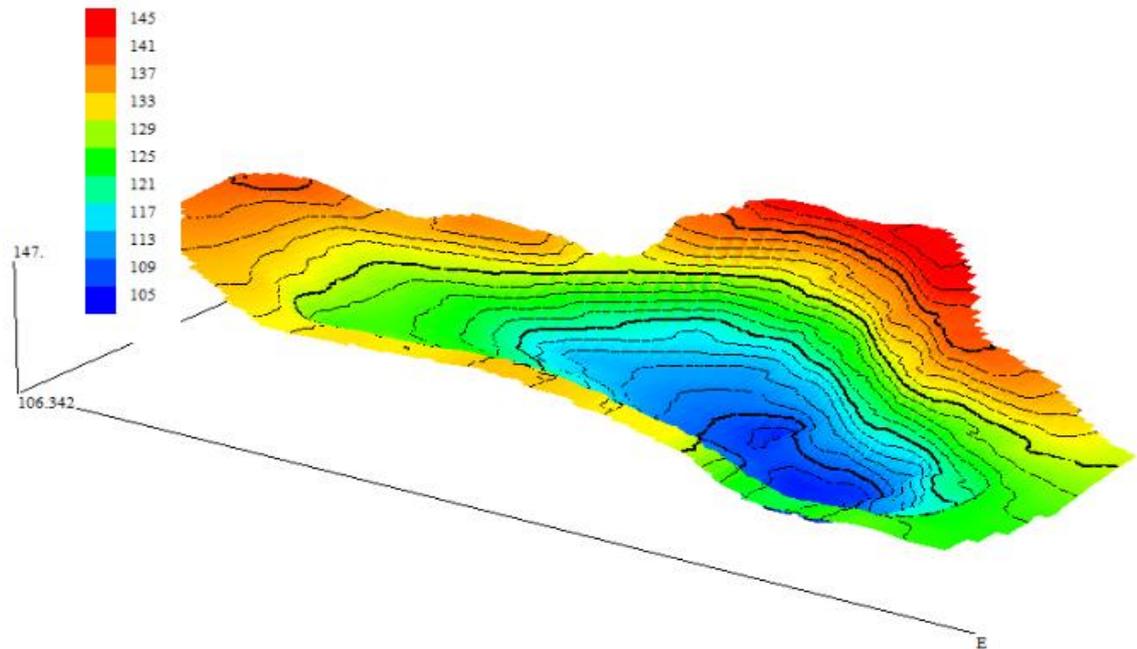


Figura 11: Representación 3D del hueco minero.

- 2) A partir esas curvas de nivel que definen el terreno, se han realizado una serie de secciones transversales cada 20 metros para representar los perfiles del hueco minero. obteniendo así las pendientes de los taludes que se han generado debido a la actividad minera.

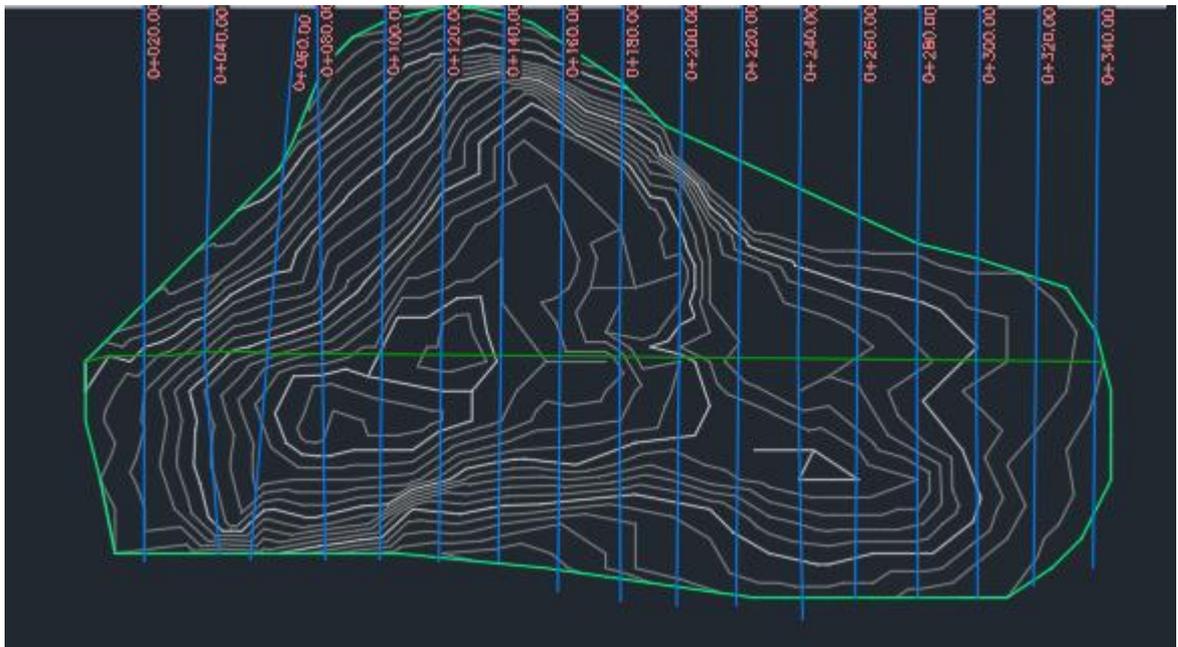


Figura 12: Planta de las secciones transversales del plano de la cantera.

- 3) Se han obtenido así las pendientes de los taludes que se han generado debido a la actividad minera. Se generan 17 perfiles transversales de los que se consideran 3 los más representativos por tener la mayor pendiente en los taludes. Las 3 pendientes máximas que se dan son de 33°, 55° y 45°, respectivamente, en alguno de los tramos que se representan en las siguientes figuras.

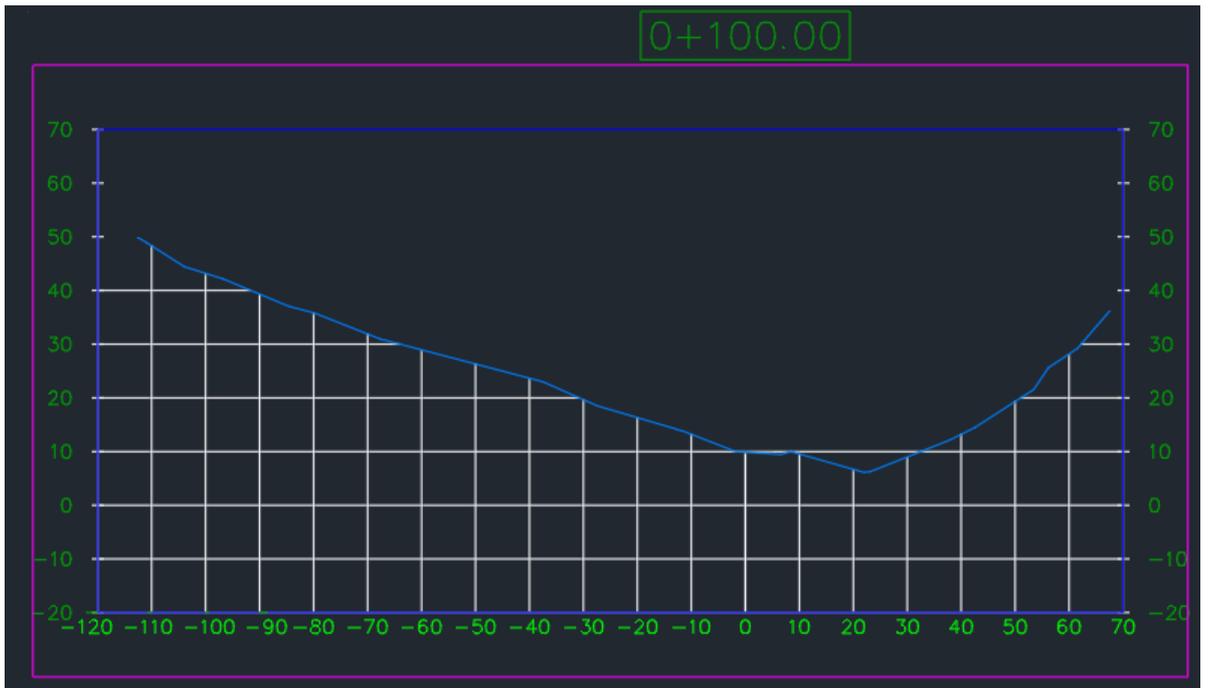


Figura 13: Sección transversal a una longitud de 100 metros.

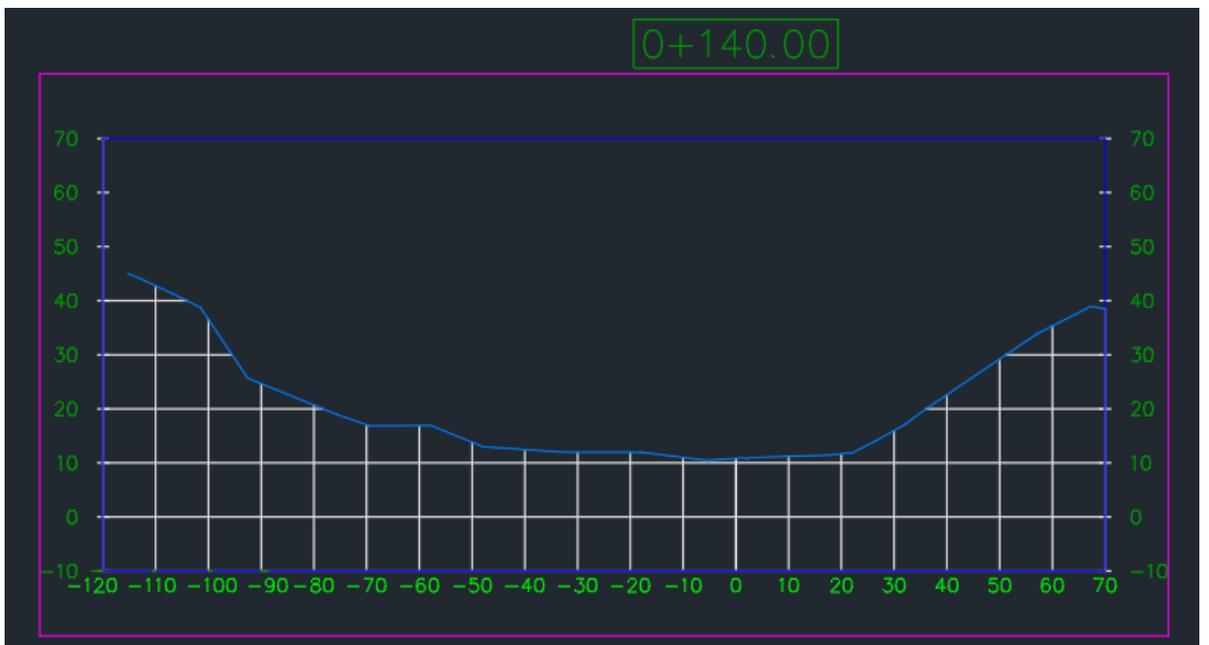


Figura 14: Sección transversal a una longitud de 140 metros.

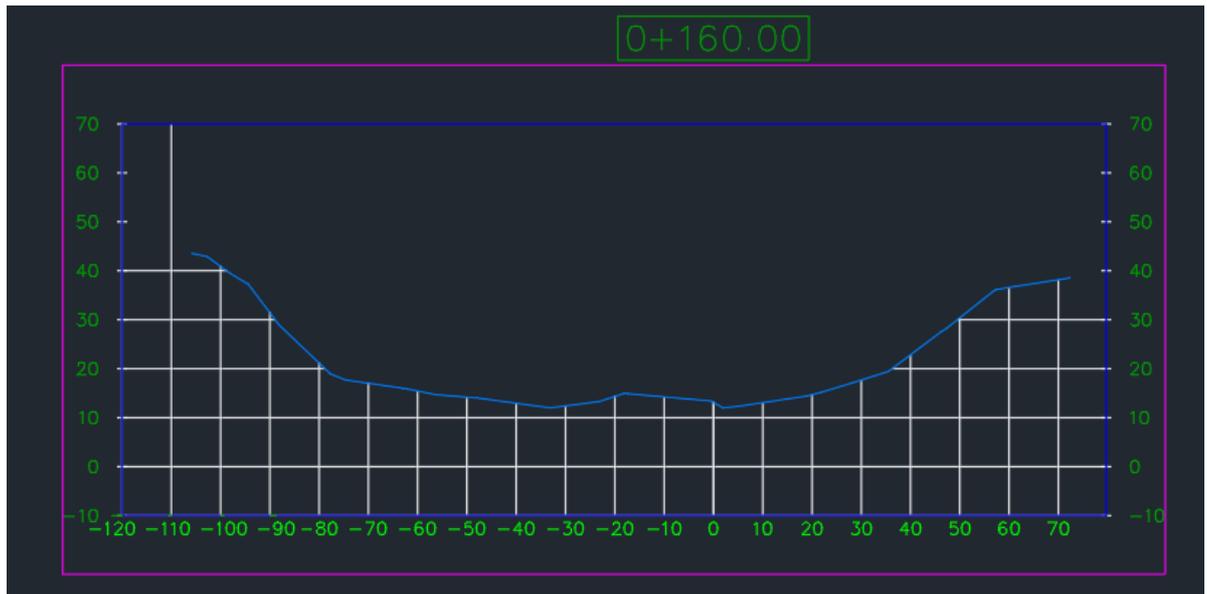


Figura 15: Sección transversal a una longitud de 160 metros.

- 4) Una vez se tienen las pendientes de las secciones, se recurre al programa STB 2010 para el cálculo de estabilidades de los taludes. El objetivo es calcular el factor de seguridad de cada talud. Se considerará que el talud es totalmente estable, siempre que el factor de seguridad que devuelva el programa sea igual o superior a 1,8. Se irá probando en diferentes puntos la estabilidad del talud aunque solo se refleja en este documento una imagen de un punto para cada una de las inclinaciones previamente mostradas.

Se representa un esquema de simulación del talud para cada uno de las inclinaciones de los perfiles. Además de la inclinación de los taludes, los datos que se necesitan aportar al programa son los siguientes:

- Peso específico seco (W_d): $24 \frac{KN}{m^3}$
- Peso específico húmedo (W_s): $30 \frac{KN}{m^3}$
- Coeficiente de tensión horizontal (k_0): 0,4
- Ángulo de rozamiento interno (ϕ): 33°
- Cohesión (c): 45 kPa
- Condición de agua subterránea (P/F): P (Phreatic)
- Profundidad del agua subterránea (cap.): 6 m

Se observa que en el primer caso, con todas las características mostradas anteriormente, y con una inclinación de 33° , se obtiene un factor de seguridad de 2,097. En el segundo caso, con una inclinación de 55° se obtiene un factor de seguridad de 6,223. Por último para una inclinación de 45° se ha obtenido un factor de seguridad de 2,218.

En todos los casos se obtiene un factor de seguridad mayor que 2 y, aunque no han sido representados, se han calculado también factores de seguridad para otras inclinaciones y así se ha corroborado, por lo que se puede asegurar que la estabilidad de los taludes está controlada y se cumplen las condiciones de seguridad para realizar los trabajos de restauración en el hueco minero.

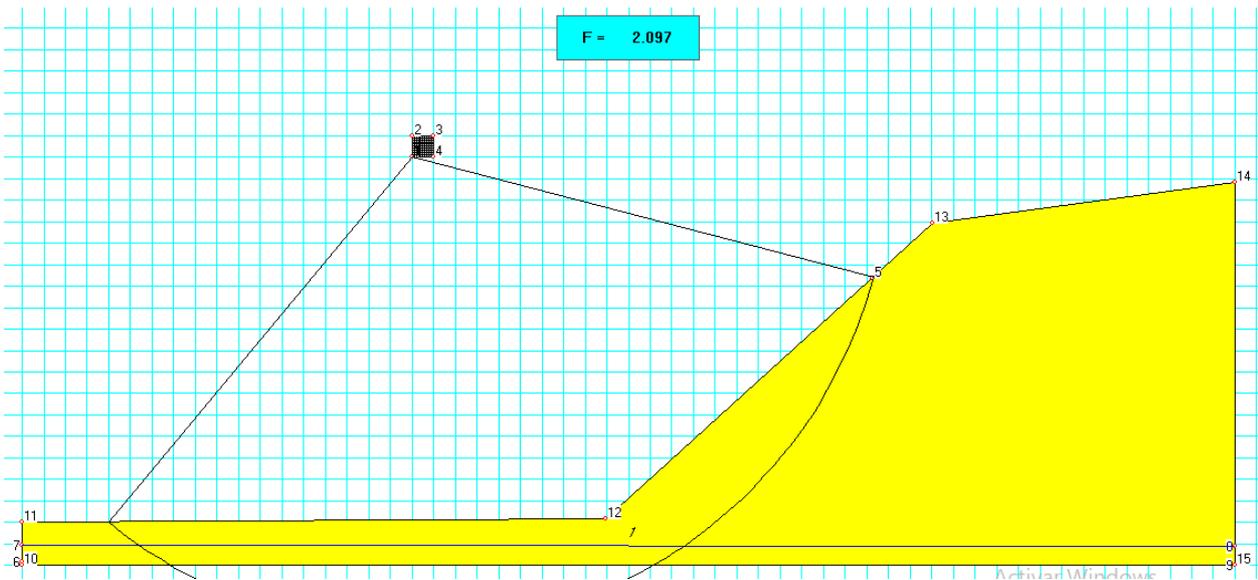


Figura 16: Esquema de simulación del talud para una inclinación de 33°.

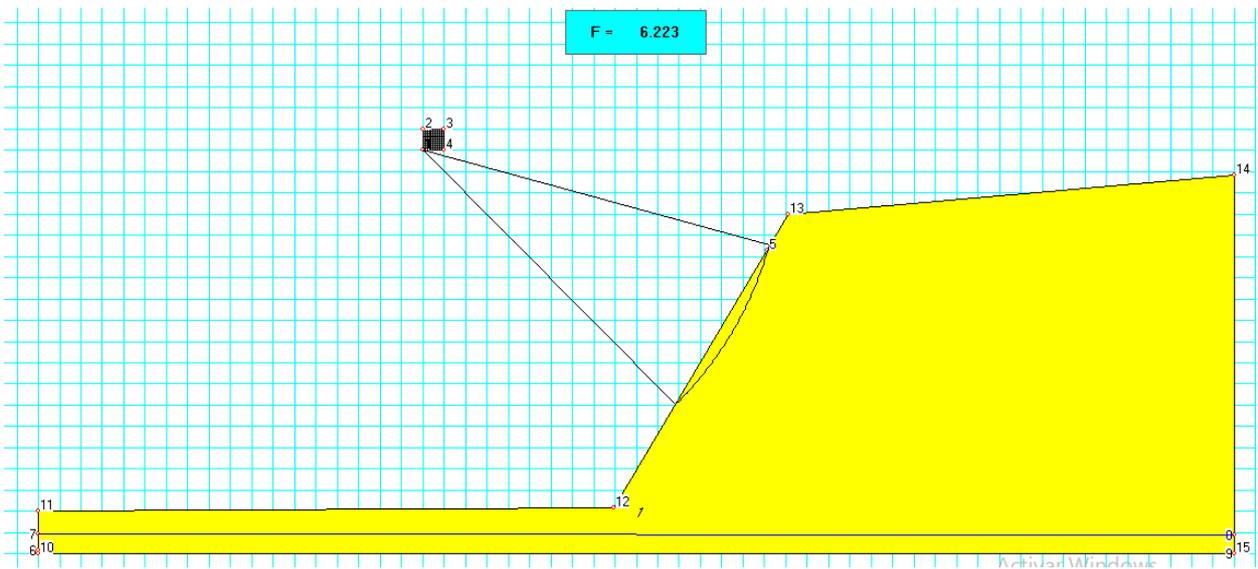


Figura 17: Esquema de simulación del talud para una inclinación de 55°.

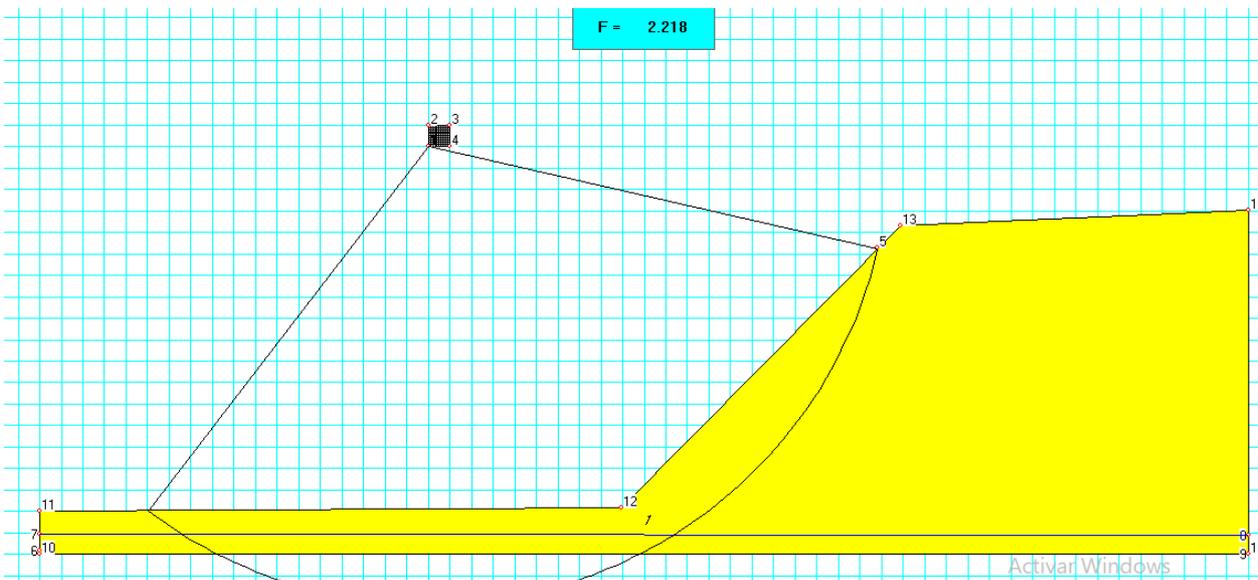


Figura 18: Esquema de simulación del talud para una inclinación de 45°.

Para finalizar con este apartado de cálculo de estabilidad de taludes, cabe destacar que se conoce la posibilidad

de que surjan pequeños deslizamientos o desprendimientos en el terreno debido al deterioro del mismo. Dado que en todo caso la estabilidad de los taludes está garantizada, simplemente se informa de esto último a modo de comentario.

3.1.5 Hidrología

- **Aguas superficiales:** los cauces de arroyos y demás aguas superficiales no se han visto afectados por la implantación de la cantera. A unos cien metros de la cantera se encuentra el Arroyo del Cañaveral representando el agua superficial más cercana. Además, a un kilómetro y medio se encuentra un pequeño lago formado a causa de la actividad minera para la extracción de arenas. En cambio, cabe destacar que el agua superficial fundamental en Arcos de la Fra. es el río Guadalete y el lago de Arcos que se encuentran a unos dos kilómetros del hueco minero.

Por otra parte, cabe destacar que en el hueco minero en cuestión, no se ha formado ninguna laguna como causa de las precipitaciones, lo que indica la permeabilidad del terreno y la necesidad de impermeabilizarlo, lo que se tratará en apartados posteriores.

- **Aguas subterráneas:** existe una clasificación de aguas subterráneas para la provincia de Cádiz. Dentro de la misma la cantera está en la zona de Bajo Guadalete, es decir las aguas subterráneas presentes van a parar al río Guadalete o al lago de Arcos. Por tanto, nuestra cantera tendrá una importante masa de aguas subterráneas en base a lo que se expone a continuación.

Como se ha señalado anteriormente la masa de aguas de Arcos de la Fra. es fundamentalmente la del río Guadalete y lago de Arcos. A continuación se detallan las características más importantes de las mismas (Agencia Andaluza del Agua, 2007):

- **Características geológicas:** predominan los materiales detríticos del Mioceno, Plioceno y Cuaternario con una superficie permeable de 65 km^2 y un espesor medio de 80 m.
- **Funcionamiento hidrogeológico:** los materiales detríticos postorogénicos constituyen un acuífero permeable y libre, excepto los materiales Miocenos confinados bajo afloramientos margosos. La alimentación a los acuíferos es mediante la infiltración de agua de lluvia en sectores libres de los acuíferos, por retornos de riego y por los embalses de Bornos y Arcos. Las descargas son mediante bombeo o mediante descarga natural al río Guadalete.
- **Calidad de las aguas:** las aguas del acuífero presentan en general facies bicarbonatadas cálcicas, de mineralización débil y dureza media-alta. En cuanto a su uso, presentan una excelente calidad tanto para abastecimiento urbano como para el riego de cualquier cultivo.

A continuación se muestra en la figura 19 una vista aérea de la masa de aguas en el entorno de la provincial de Cádiz, señalando la cantera objeto de este proyecto y concluyendo que Arcos de la Fra. presenta una importante cantidad de masas de agua en su territorio lo que será importante tener en cuenta en el desarrollo del Plan de rehabilitación de la cantera.

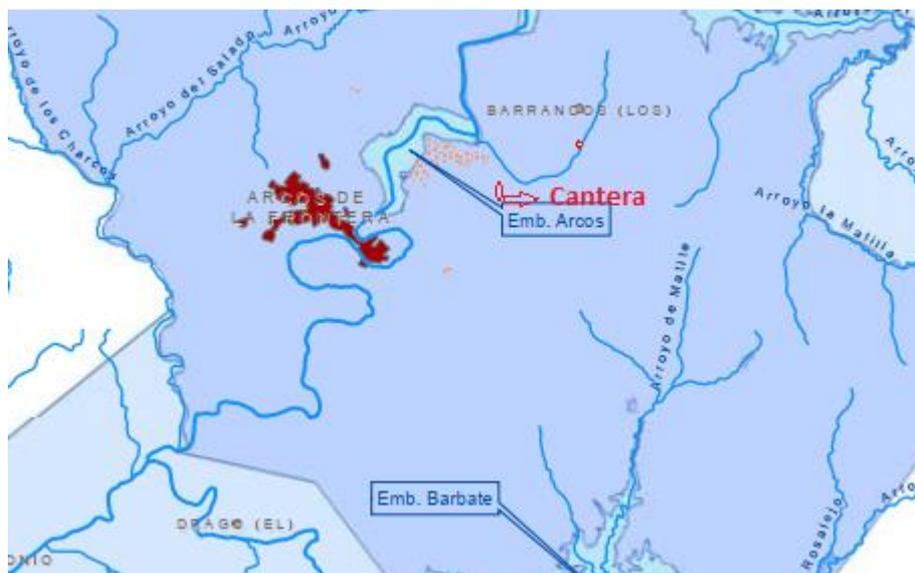


Figura 19: Mapa hidrológico de parte de la provincia de Cádiz

3.1.6 Flora

La cantera se encuentra en una zona intermedia entre monte y cultivo, a un lado tiene tierras de cultivo y al otro lado monte y zonas forestales por lo que la flora del lugar es muy variada aunque previamente toda la cantera era zona de monte.

En las zonas de monte y zonas forestales la vegetación está compuesta por zonas de matorral denso con especies como el acebuche, la coscoja, el lentisco, el palmito o la zarza; zonas con matorral degradado como el romero, la retama, el jaramago amarillo, el tomillo; y arbolado medio y denso como el pino.

Con respecto a las zonas agrícolas la mayor parte de las tierras que la rodean la zona son de secano. Las especies más destacadas son: el olivo, existe un olivar a escasos cien metros y es precisamente con lo que se quiere rehabilitar el terreno de la cantera, lo que se tratará más adelante; el trigo y el girasol que son los cultivos por excelencia en la zona donde se encuentra el hueco minero.

3.1.7 Fauna

La fauna del lugar es muy variada y claramente se ha visto afectada por la implantación de la cantera en el terreno. Animales que tenían sus nidos o madrigueras en ese terreno han tenido que desplazarse a otros lugares quedando el terreno de la cantera con una capacidad escasa para acoger estas especies.

Las especies predominantes en la zona son:

- Aves: pájaros silvestres como el jilguero, la golondrina común, el petirrojo europeo, la oropéndola, el herrerillo, el gorrión, el vencejo o el verderón. Aves de un tamaño medio como la paloma torcaz, paloma zurita, perdiz roja, tórtola turca o estornino también se han visto afectadas. Además, aves de gran tamaño como águilas, halcones, cernícalos, mochuelos, hurracas, búhos, cuervos etc., también son habituales en la zona.
- Mamíferos: existe una población destacada de roedores como el conejo, la ardilla, la rata común el ratón de campo o la liebre. Depredadores carnívoros como el zorro y el meloncillo están cada vez más presentes en la zona.
- Anfibios: existen, aunque en menor proporción en la zona. Algunos ejemplos son: el sapo común o el sapo corredor.
- Reptiles: los más habituales son la salamanquesa común, el lagarto ocelado, la lagartija ibérica, además de varios tipos de culebra.

Dada la degradación de la zona afectada por las actividades extractivas parte de esta fauna potencial no se encuentra o es muy escasa en la zona debido a la pérdida del hábitat que la explotación supone. Por otro lado, destacar que no existen especies en extinción en la zona, es decir, pueden no estar presentes en la zona pero no

existe riesgo de extinción global de ninguna de las especies nombradas, por lo que cabe esperar que algunas de las especies que hoy en día no se encuentren en dicho terreno, puedan reaparecer.

Indudablemente y como se ha comentado anteriormente, todas estas especies en mayor o menor medida han visto como su hábitat natural se veía modificado con la implantación de la cantera. En este proyecto tratará la rehabilitación de ese hábitat mediante la implantación de un olivar lo que supondrá un gran beneficio para todas las especies de la zona.

Se concluye, por tanto, que es de consideración el hecho de que tras la rehabilitación propuesta, una vez se implante el olivar, se producirá una mejora sustancial en el entorno y hábitat de estas especies, de forma que la nueva zona permita la recuperación y readaptación de las mismas con el objetivo de devolver al terreno todas sus capacidades para acoger a los animales autóctonos de la zona e intentar que el efecto provocado por la actividad minera haya sido el menor posible.

3.1.8 Paisaje

El paisaje es evidente se ha visto modificado por la actividad minera. En la cantera en cuestión, se ha dejado un hueco minero de grandes dimensiones que rompe con la armonía de un entorno natural situado en plena sierra de Cádiz con vistas a Arcos de la Frontera y a su precioso lago. Uno de los aspectos más importantes, medioambientalmente hablando, es la integración paisajística de todos los elementos de un medio natural. Es por eso que uno de los objetivos de este proyecto y, que se desarrollará más adelante, es la rehabilitación paisajística del hueco minero para que el espacio natural vuelva a su estado inicial para poder así contemplar un paisaje que no se vea afectado por la mano del hombre.

3.1.9 Entorno social

El entorno social se verá beneficiado por el proyecto en el sentido que es un proyecto que supone la creación de puestos de trabajo. Además, el proyecto contribuye al dinamismo económico de Arcos de la Fra. Transportistas pueden ver incrementada su tarea, empresas de venta de materiales impermeabilizantes, empresas dedicadas a materiales de construcción, etc. Algunos de los puestos de trabajo que pueden crearse son los siguientes:

- Operarios encargados de inspección visual de los residuos para su admisión.
- Operarios en maquinaria específica para las labores de relleno.
- Operarios de limpieza previa al relleno del hueco minero.
- Jornaleros de recogida de aceituna en temporada, una vez que esté plantado el olivar y los olivos den fruto.

Estos son algunos de los puestos principales de trabajo que se podrán crear aunque claro está que en el desarrollo del proyecto surgirán nuevas necesidades y oportunidades para el trabajo, así como nuevas contribuciones al dinamismo económico anteriormente mencionado.

3.2 Idoneidad del hueco minero para su restauración mediante RCD

Todos los huecos mineros deberían ser rehabilitados y, una vez que terminase la actividad minera volver a su estado anterior. Lamentablemente la realidad no es esa, se encuentran muchos huecos mineros abandonados alrededor del territorio español. Una de las razones puede ser que no es una tarea sencilla la rehabilitación de los mismos ya que hay que cumplir la estricta normativa existente comentada en el apartado 2 de este documento. En el presente apartado se tratará de explicar la idoneidad o no de los huecos mineros para ser rehabilitados en base a una serie de criterios medioambientales, técnico-económicos y sociales. Se valorará la idoneidad del hueco minero mediante un índice de idoneidad, en términos cualitativos. Se tendrán en cuenta múltiples factores y, al final, se obtendrá un parámetro indicador de la idoneidad de dicho hueco minero para su rehabilitación. Toda la metodología utilizada en este apartado se corresponde con lo descrito en la Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de construcción y demolición publicada por el Ministerio para la Transición Ecológica en 2018 (Residuos, n.d.).

Los huecos mineros con mayor índice de idoneidad y por tanto más idóneos serán aquellos que:

- Proporcionen la mayor protección ambiental por sus características intrínsecas.
- Estén localizados en medios poco vulnerables a la contaminación y poco expuestos a riesgos naturales.
- Se encuentren próximos a instalaciones gestoras de RCD o que puedan garantizar el suministro suficiente de material reduciendo los costes de transporte.
- Que la recuperación del espacio degradado se considere prioritaria por hacer que la calidad del ambiente o del paisaje mejore sustancialmente.

Antes de comenzar con el desarrollo del cálculo del índice de idoneidad, conviene destacar que hay una serie de criterios de exclusión de huecos mineros para su rehabilitación con RCD expuestos en el RD 1481/2001 (BOE, 2013).

- Huecos mineros situados en zonas con evidencias de un peligro significativo asociado a deslizamientos, movimientos en masa o caída de bloques, o localizados a una distancia menor o igual a 100 metros de estas zonas inestables, así como evidencias de riesgos de subsidencia (incluida la minera).
- Huecos mineros situados en calderas, conos y cráteres volcánicos activos, o inactivos si se encuentran catalogados de interés cultural protegido o en trámites de protección; y en zonas con evidencias de un peligro significativo asociado a procesos de erupción (coladas de lava, etc.).
- Huecos mineros situados en áreas kársticas con inestabilidades (asientos, colapsos, etc.), o con colonias estables de quirópteros o patrimonio catalogado de tipo cultural, histórico-artístico, turístico o deportivo que pudieran verse afectados, así como los localizados a una distancia menor de 100 metros de estas zonas kársticas inestables y/o con valor patrimonial natural o cultural.
- 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.
- Huecos mineros situados en zonas de Dominio Público Hidráulico definido en la Ley de Aguas (Capítulo I del Título 1 del RDL 1/2001), riberas y márgenes en sus zonas 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) (BOE, 2001).
- 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 sea menor o igual a 2 m, o que el nivel freático pueda alcanzar dicha cota.
- Huecos mineros que pudieran localizarse en humedales RAMSAR, o incluidos en el Inventario Español de Zonas Húmedas u otros Inventarios de las Comunidades Autónomas.
- Huecos mineros situados en la zona de inundación de periodo de retorno de 100 años.
- Huecos mineros próximos a embalses para abastecimiento situados aguas arriba, a menos de 500 metros.
- Huecos mineros que hayan sido catalogados e inventariados como Lugares de Interés Geológico (LIG), cuando el relleno represente su destrucción o la pérdida de valor patrimonial.
- 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.
- Huecos mineros que puedan afectar a una captación de agua (subterránea o superficial) para abastecimiento con un volumen medio diario igual o superior a 10 m^3 o que abastezca a más de 50 personas (núcleos urbanos, etc.), o al perímetro de protección de aguas minerales y termales aprobado por la legislación específica, situados a menos de 100 metros aguas abajo, o en la dirección del flujo del agua subterránea si se conoce.

Se ha comprobado que el hueco minero en cuestión en este proyecto no cumple con ninguno de los criterios de exclusión anteriormente mencionados. Por tanto, a continuación se desarrolla la metodología del cálculo del índice de idoneidad en base a lo descrito en la Guía para rehabilitación de huecos mineros con residuos de construcción y demolición publicada por el Ministerio para la Transición Ecológica en 2018 (Residuos, n.d.).

La tabla 5 muestra la escala de valoración de los índices de idoneidad y su clase de idoneidad en función del valor que tome este índice.

Valores del ID	Clase de idoneidad
<1	Baja
De 1 a 2	Media
De 2 a 3	Alta
>3	Muy alta

Tabla 5: Escala de valoración de los índices de idoneidad.

3.2.1 Condicionantes técnico-mineros (C_{MIN})

Son el conjunto de aspectos, ya sean ambientales o de otro tipo, que condicionan el diseño técnico-minero del proyecto de la rehabilitación de la cantera. Serán tres los factores a tratar dentro de este campo y a los que se le dará valor numérico.

1. Protección de aguas subterráneas (AG_{sub})

Se evalúa la probabilidad de afectar a las aguas subterráneas mediante el factor hidrogeológico (AG_{sub}). En este sentido son de consideración los siguientes aspectos:

- Características hidrogeológicas del hueco minero (H_{sub}):

Hace referencia a la impermeabilidad del terreno respecto a la infiltración de lixiviados que pudieran ser generados por los residuos. A pesar de estar catalogados como inertes, los RCD a veces presentan concentraciones de sulfatos en los lixiviados que exceden los valores límites establecidos. La normativa que regula la eliminación de residuos en vertederos inertes RD 1481/2001 (BOE, 2013), de acuerdo con el RD 975/2009 (Generales, 2009) establece la necesidad de que exista una barrera geológica natural con coeficiente de permeabilidad $k = 10^{-7}$ m/s y con 1 m de espesor, con el objetivo de garantizar la protección de las aguas subterráneas y el suelo. En caso de que esta barrera geológica no exista, la normativa exige la implantación de una barrera geológica artificial de al menos 0,5 m, salvo que la autoridad medioambiental competente no lo considere necesario, para garantizar dicha permeabilidad. Este será el caso de nuestro proyecto, que se instalará una barrera geológica artificial para garantizar la calidad y protección de las aguas subterráneas y del suelo al ser un terreno mayoritariamente formado por areniscas y cuyo coeficiente de permeabilidad difícilmente será menor de 10^{-7} m/s. Esto supondrá un coste económico importante que se desarrollará a lo largo del proyecto.

- Vulnerabilidad de las masas de aguas subterráneas (V_{sub}):

La probabilidad de que una masa de agua se vea afectada va a depender, primeramente, de que exista este tipo de masa de agua. Se toma como base que todo acuífero es vulnerable en mayor o menor medida. Entonces, si hay acuífero a mayor vulnerabilidad menor será la protección natural y viceversa.

- Profundidad del nivel freático (P_{NF}):

Es un factor importante dada la importancia de proteger las aguas subterráneas frente a infiltraciones como se ha comentado anteriormente. En el caso de nuestro proyecto el nivel freático se encuentra a 6,5 metros de profundidad según el último informe de la Agencia Andaluza del Agua (Agencia Andaluza del Agua, 2007).

- Distancia a captaciones de agua para abastecimiento o consumo humano (M_{sub}):

Entrarán en consideración aquellos pozos o manantiales que proporcionen más de $10 m^3$ diarios o que provean de suministro a más de 50 personas.

El cálculo numérico del factor hidrogeológico (AG_{sub}) anteriormente mencionado atenderá a la siguiente expresión dependiente de cada uno de los factores anteriormente mencionados que se recogen en la *tabla 6* (Residuos, n.d.).

$$AG_{sub} = 0,3 * H_{sub} + 0,3 * V_{sub} + 0,3 * P_{NF} + 0,1 * M_{sub}$$

Características hidrogeológicas del hueco de explotación	H _{sub}
Calizas, dolomías y yesos muy karstificados con cavidades	Exclusión
Permeabilidad alta: Arenas limpias, gravas	1
Permeabilidad moderada: Calizas, dolomías y yesos débilmente karstificados	2
Permeabilidad baja: Areniscas, calizas, dolomías y yesos masivos	3
Permeabilidad muy baja: Arcillas y margas compactas	4
Vulnerabilidad de las masas de agua subterránea	V _{sub}
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
Profundidad del nivel freático	P _{NF}
< 2 m	Exclusión
2 - 3 m	1
3 - 5 m	2
5 - 10 m	3
> 10 m	4
> 3 m en litologías impermeables	4
Sin nivel freático	4
Distancia a captaciones de agua para abastecimiento	M _{sub}
< 100 m	Exclusión
100 - 200 m	1
200 - 500 m	2
500 - 1000 m	3
> 1000 m	4

Tabla 6: Criterios de valoración del factor hidrogeológico AG_{sub}

En base a esta tabla los valores que toman los diferentes parámetros y el resultado del factor hidrogeológico se muestran a continuación:

- H_{sub} : 3. Debido a que la cantera está formada por areniscas de permeabilidad baja.
- V_{sub} : 3. No existen masas de aguas cercanas potencialmente contaminables.
- P_{NF} : 3. El nivel freático es 6,5 m.
- M_{sub} : 4. La población más cercana está a 2 km y aunque existen algunas viviendas alrededor no llegan a tener ni 50 personas ni $10 m^3$ diarios de uso de agua.

$$AG_{sub} = 0,3 * H_{sub} + 0,3 * V_{sub} + 0,3 * P_{NF} + 0,1 * M_{sub}$$

$$AG_{sub} = 3,1$$

2. Proximidad de aguas superficiales (PA_{sup})

Este factor valora la posible afección de aguas procedentes de escorrentías procedentes de áreas mineras

restauradas con RCD. Mientras más distancia haya entre el hueco minero en el que se va a instalar el vertedero y las masas de aguas superficiales, menor será la probabilidad de que estas escorrentías lleguen a esas masas superficiales de agua.

Al mismo tiempo estas escorrentías favorecen la eliminación de posibles sólidos en suspensión contaminantes como sulfatos u otros componentes perjudiciales para el medio ambiente que se pueden infiltrar, precipitar o depositar sobre la tierra.

La tabla 7 muestra los valores que toma el factor (PA_{sup}) en función de la distancia de estas masas de aguas superficiales. En el caso de la cantera del proyecto, no existen masas de agua superficiales a menos de 1 km.

En base a lo descrito anteriormente y atendiendo a los valores proporcionados por la tabla, se determina el factor de proximidad de aguas superficiales ($PA_{sup} = 4$).

Distancia del hueco a una masa de agua superficial	PA _{sup}
< 30 m	Exclusión
30 - 100 m	1
100 - 500 m	2
500 - 1000 m	3
> 1000 m	4

Tabla 7: Criterios de valoración del factor de proximidad de aguas superficiales (PA_{sup})

3. Grado de erosión de los taludes del hueco y/o presencia de inestabilidades (ER_{est})

Tanto el grado de erosión como la posible presencia de inestabilidades afectarán a la adecuación del terreno para el uso como vertedero y podrán aumentar significativamente los costes económicos derivados del acondicionamiento y saneado del terreno.

La asignación de los valores (ER_{est}) toma como base que un mayor grado de erosión o gravedad de los problemas detectados relacionados con la estabilidad, tiene como consecuencia la aplicación de técnicas complejas y/o una mayor inversión económica en las tareas de acondicionamiento de los huecos mineros, lo que representa un valor de este factor desde el punto de vista de la idoneidad, más bajo y viceversa. La metodología propone un criterio visual a la hora de determinar este índice que para cálculos de idoneidad es bastante aceptable.

En la tabla 8 se muestra el valor del coeficiente (ER_{est}) en función de varios criterios.

Huecos excavados en suelos y rocas blandas	ER _{est}
Erosión hídrica extrema con abundantes regueros y cárcavas grandes y pequeñas	1
Abundantes regueros con frecuentes cárcavas menores	2
Erosión con regueros frecuentes o abundantes cárcavas pequeñas (0,3-1 m)	3
Erosión laminar o erosión con pocos regueros (<0,3 m)	4

Tabla 8: Grado de erosión de los taludes del hueco y/o presencia de inestabilidades (ER_{est})

Tras la inspección visual del terreno se ha determinado que el factor (ER_{est}) = 3.

Evaluación del coeficiente técnico-minero: C_{MIN}

Todos los factores calculados anteriormente, tienen como finalidad la contribución al cálculo del coeficiente técnico-minero que formará parte de la ecuación del índice de idoneidad.

Los huecos mineros que presenten un mayor coeficiente técnico-minero C_{MIN} serán aquellos que se localicen en zonas poco vulnerables, que puedan garantizar la protección de las aguas subterráneas y superficiales, y garanticen la estabilidad geotécnica.

La ecuación para determinar dicho coeficiente es:

$$C_{MIN} = 0,7 * AG_{sub} + 0,2 * PA_{sup} + 0,1 * ER_{est}$$

Siendo:

- $AG_{sub} = 3,1$
- $PA_{sup} = 4$
- $ER_{est} = 3$

Se obtiene, por tanto, un valor de:

$$C_{MIN} = 3,17$$

3.2.2 Coste de transporte y suministro de RCD (CT_{sum})

Según la metodología seguida, el siguiente coeficiente a tener en cuenta es el coste de transporte y suministro de RCD. Minimizar estos costes será un gran aliciente para el desarrollo del proyecto. Los factores a tener en cuenta para el cálculo del mismo se detallan a continuación.

1. Distancia a centros de producción de RCD (D_{NUC})

El objeto de este factor no es más que evaluar la viabilidad de las restauraciones en función del ya mencionado coste del transporte. Los huecos mineros situados en un radio de hasta 15 km de una planta de tratamiento de residuos RCD serán los más idóneos para la rehabilitación mediante este tipo de material. En el caso de la cantera del proyecto que nos ocupa la distancia a centros de tratamiento de RCD se sitúa en torno a 30 km debido a que no existe constancia de zonas de producción y tratamiento de RCD cercanas en Arcos de la Fra. Existen en poblaciones como Jerez de la fra., El Cuervo o El Puerto de Santa María aunque una posibilidad que se contemplará a lo largo del proyecto será la de llegar a un acuerdo con la administración pública competente para la cesión del terreno para la actividad que se propone en este documento.

La tabla 9 muestra el valor del factor (D_{NUC}) en función de la distancia del hueco minero a estos centros de tratamiento de residuos RCD.

Distancia a los centros de tratamiento de RCD	D_NUC
> 50 km	1
30 - 50 km	2
15 - 30 km	3
< 15 km	4

Tabla 9: Escala de valoración del (D_{NUC}) en función de la distancia a los centros de tratamiento de RCD

2. Tamaño de la población de los núcleos urbanos (P_{NUC})

Este parámetro expone que mientras mayor sea la población del núcleo urbano donde se encuentre el hueco minero, más capacidad de generar residuos RCD se tendrá por lo que mayor posibilidad de abastecimiento tendrá el vertedero de RCD a instalar. En definitiva, se evalúa el potencial de producción de RCD.

La tabla 10 muestra el valor del factor (P_{NUC}) en función de la población de los núcleos urbanos donde se encuentre el hueco minero. En el caso de la cantera de este proyecto se sitúa en Arcos de la Fra. que tiene una población de 30 741 habitantes, según datos de 2018.

Tamaño de la población de los núcleos urbanos	P_NUC
< 10 000 habitantes	1
10 000 – 100 000 habitantes	2
100 000 – 500 000 habitantes	3
> 500 000 habitantes	4

Tabla 10: Escala de valoración del (P_{NUC}) en función de la población de los núcleos urbanos

Evaluación del coste de transporte y suministro de RCD (CT_{sum})

Finalmente, se integran los dos componentes calculados para determinar el coeficiente (CT_{sum}) mediante la siguiente ecuación:

$$CT_{sum} = 0,7 * D_{NUC} + 0,3 * P_{NUC}$$

Siendo:

- $D_{NUC} = 2$
- $P_{NUC} = 2$

Finalmente se obtiene:

$$CT_{sum} = 2$$

3.2.3 Prioridad de restauración de espacios degradados por minería (PR_{rest})

Otro de los factores considerados para el cálculo del índice de idoneidad es la prioridad que exista para la restauración del hueco minero en cuestión. La prioridad en cuanto a la rehabilitación dependerá de la sensibilidad de los espacios y/o ecosistemas afectados, la calidad del paisaje y la incidencia visual de la alteración minera.

1. Calidad ambiental y/o calidad visual del paisaje (C_{AMB})

Se va a considerar que los espacios naturales más sensibles, ecosistemas de más alto valor, o de elevada calidad visual del paisaje, son los prioritarios en cuanto a su restauración. Por tanto la rehabilitación de estos espacios contribuirá a conservar y proteger el patrimonio natural considerado como más valioso.

La tabla 11 muestra la escala de valores que puede tomar el parámetro (C_{AMB}) en base a una serie de criterios. En el caso del hueco minero de este proyecto, se encuentra en plena sierra de Cádiz con vistas a Arcos de la Fra. y al lago de modo que parece claro que la calidad del paisaje es alta.

Calidad ambiental y/o calidad visual del paisaje	C_AMB
Espacios muy degradados ambientalmente y/o con calidad del paisaje muy baja	1
Espacios moderadamente degradados y/o con calidad del paisaje media	2
Ecosistemas bien conservados y/o con calidad del paisaje alta	3
Espacios naturales protegidos y/o con calidad del paisaje muy alta	4

Tabla 11: Escala de valores del (C_{AMB}) en función de la calidad ambiental y/o del paisaje

2. Accesibilidad visual (A_{VIS})

Con el objetivo de evaluar la incidencia a nivel visual en las zonas afectadas por la actividad minera se ha considerado la accesibilidad visual (A_{VIS}) o, lo que es lo mismo, la visibilidad del impacto paisajístico ocasionado por las actividades mineras desde zonas habitualmente frecuentadas por la población, es decir, básicamente desde núcleos urbanos o vías de comunicación.

En la tabla 12 se definen los criterios adoptados para establecer el valor de la accesibilidad visual (A_{VIS}). En el entorno que se sitúa la cantera se puede decir que tiene muy cerca la carretera A372 de Arcos-El Bosque, además de ser claramente visible desde varias zonas de Arcos de la Frontera, cuya población, como se ha comentado con anterioridad es de más de 30 000 habitantes.

Criterios para determinar la Accesibilidad Visual	A_VIS
BAJA: No visible desde vías de comunicación o núcleos urbanos	1
MEDIA: Visible desde población < 5 000 hab y/o desde carreteras locales o autónoma.	2
ALTA: Visible desde población 5 000-50 000 hab y/o carreteras nacionales	3
MUY ALTA: Visible desde población > 50 000 hab y desde autopistas o autovías	4

Tabla 12: Escala de valores de la (A_{VIS}) en función de diversos criterios

Evaluación de la prioridad de restauración de espacios degradados por minería (PR_{rest})

En base a los dos factores comentados anteriormente, se calcula el coeficiente de prioridad de restauración de los espacios degradados atendiendo a la siguiente ecuación:

$$PR_{rest} = 0,6 * C_{AMB} + 0,4 * A_{VIS}$$

Siendo:

- $C_{AMB} = 3$
- $A_{VIS} = 3$

Finalmente se obtiene:

$$PR_{rest} = 3$$

Valoración final del índice de idoneidad (ID)

Este índice de idoneidad se va a calcular, como se ha explicado, dependiente de todos los factores comentados anteriormente siempre y cuando no se cumpla ninguno de los criterios de exclusión. Este índice por tanto, pone de manifiesto la aptitud del hueco minero para el relleno con RCD.

Los huecos mineros poco apropiados para su relleno con RCD ($ID \leq 1$) son los que presentan un riesgo elevado ambiental que implica una gran inversión económica en tecnología para su eliminación, además de un alto gasto en transporte pudiendo situarse lejos de áreas urbanas importantes, en zonas afectadas de poca incidencia visual en la que la restauración no se considere prioritaria. Por otra parte, los más idóneos ($ID > 3$), son otros huecos mineros localizados relativamente cerca de los principales centros productores de RCD donde el impacto ambiental pueda ser bajo, con el mínimo coste económico y técnico, y con una rehabilitación que afecte de forma significativa a la reserva y mejora del patrimonio natural con más valor, incluyéndose los paisajes de calidad con una elevada incidencia visual.

La ecuación para el cálculo de la idoneidad del hueco minero es la siguiente:

$$ID = 0,6 * C_{MIN} + 0,3 * CT_{sum} + 0,1 * PR_{rest}$$

Siendo:

- $C_{MIN} = 3,17$
- $CT_{sum} = 2$
- $PR_{rest} = 3$

Finalmente, realizando los cálculos oportunos se obtiene:

$$ID = 2,8$$

Por tanto, el hueco minero en cuestión presenta un más que aceptable índice de idoneidad, llegando a situarse al borde de los más idóneos para el relleno con RCD. Se puede catalogar la cantera como potencial para su rehabilitación con RCD. Además, un factor que no se ha tenido en cuenta a lo largo del cálculo y que puede llegar a ser relevante es el tiempo que lleva abandonada la cantera. Este periodo es ya de casi 10 años por lo que la rehabilitación de la misma ha tomado especial importancia para las Administraciones Públicas competentes.

El factor limitante y que mayores problemas causa es el coste de transporte y suministro al no tener constancia de centros de tratamiento de RCD. Este inconveniente podría verse solventado mediante la llegada a acuerdos con las administraciones públicas para que asuman los costes a cambio de la cesión o alquiler del terreno y la posibilidad de dotar a Arcos de la Fra. de un lugar para el depósito de RCDs.

4. PLAN DE RESTAURACIÓN Y MODELO DE CIERRE

A lo largo de los puntos anteriores se ha hecho un repaso de requisitos previos al desarrollo del plan de restauración y modelo de cierre de la cantera. Aspectos como la situación geográfica del hueco minero, los distintos ámbitos medioambientales que se han visto afectados por la implantación de la cantera, la legislación aplicable para el desarrollo de un vertedero de residuos RCD o la idoneidad del terreno para acoger este tipo de residuos son claves para tener una base sobre la que sostener el plan de restauración que se propone en este apartado del proyecto.

Por tanto, en este punto se abordarán las diferentes fases a seguir para el desarrollo del plan de restauración de dicha cantera.

4.1 Fase de remodelado y acondicionamiento del hueco

El estudio de idoneidad, que se ha realizado, debe servir como base de información para esta fase de remodelado y acondicionamiento del hueco.

El acondicionamiento del hueco, consiste en la realización de actividades de limpieza, actividades de mejora de la estabilidad en cuanto a los taludes del hueco y a nivelar y homogeneizar la superficie del fondo del hueco minero. En el caso de la cantera de este proyecto, se llevará a cabo una limpieza general de restos de maquinaria o de plásticos que puedan haber quedado de la explotación anterior. Esta limpieza no conllevará mucho esfuerzo dado que la actividad anteriormente realizada no da pie a dejar muchos materiales perjudiciales y que deban ser limpiados, además de que, tras una inspección visual se ha observado lo que se comenta. No existen muchos desperdicios para limpiar aunque se debe realizar dicha limpieza general para empezar a acondicionar el terreno.

En cuanto al acondicionamiento de taludes del hueco minero, una vez que se conocen los materiales geotécnicos que constituyen los mismos, se definen las tareas a realizar para el saneado por zonas. En función de las necesidades del hueco minero del proyecto se podrán realizar las siguientes acciones:

- Retaluzado para corregir las formas inestables de taludes. Se realizará mediante relleno, para aumentar la resistencia al corte del terreno incrementando las tensiones normales generadas en la zona inferior de la superficie de rotura.
- Retranqueo de talud para crear bermas, que se realizarán mediante retroexcavadora, siempre en condiciones de seguridad.
- Se aplicará también un saneo selectivo en aquellas zonas que así lo precisen que puede incluir retirada de bloques situados en la cresta. El acceso a estos bloques se deberá realizar mediante grúas.
- Limpieza de bermas originales con el objetivo de permitir el acceso a todos los puntos de la cantera tanto con la maquinaria que se va a emplear como los vehículos necesarios para la vigilancia y mantenimiento del vertedero.

Las labores de saneo han de realizarse siempre desde la parte superior a la inferior. Cabe apuntar que todos los materiales extraídos en el periodo de saneo, debe ser considerado para el relleno del hueco minero. Para proceder al relleno deben quedar definidos los siguientes aspectos:

- Cota máxima de relleno: esta cota para se sitúa en 35 metros para el presente proyecto.
- Capacidad de relleno total y de cada fase: la capacidad volumétrica a cubrir fue definida con anterioridad en el proyecto y era de $524\ 000\ m^3$ con una superficie aproximada de $34\ 000\ m^2$ por lo que teniendo en cuenta que se impermeabilizará el terreno y se añadirá tierra vegetal para la plantación de olivar y esto puede suponer una altura de en torno a 2 metros de media, la capacidad volumétrica aproximada a rellenar mediante residuos RCD será de $500\ 000\ m^3$, aproximadamente.

- Zonas de acceso y transporte interior: la cantera presenta una gran facilidad de transporte en su interior ya que el suelo es llano y apto para todo tipo de vehículos. En cuanto al acceso por carretera, como se ha comentado en puntos anteriores se accede en el punto kilométrico 5,6 de la carretera A372 que va de Arcos hacia El Bosque. A unos 100 metros de la entrada por ese punto kilométrico se sitúa la entrada a la cantera.

4.1.1 Estanqueidad físico-química del hueco y sistemas de drenaje interno

Para establecer las bases de estanqueidad físico-química del hueco y las condiciones que han de tener los sistemas de drenaje se siguen los criterios expuestos en el Desarrollo Técnico del Real Decreto 1481/2001 (BOE, 2013).

Es necesario valorar los materiales de fondo para saber si se puede evitar la contaminación de aguas subterráneas mediante infiltración de lixiviados. Como se ha comentado anteriormente en el proyecto, se añadirá una capa de espesor combinado de 0,5 metros de materiales con objeto de obtener una permeabilidad de $k = 10^{-7}$ m/s. En la figura 21 se puede ver un esquema de la manera de proceder y de las capas a añadir en el suelo del hueco minero de este proyecto.

Se podrá reducir o modificar lo exigido por la normativa nacional siempre que quede reflejado por la autoridad ambiental competente de Andalucía en su informe preceptivo del Plan de Restauración. De igual modo, la restauración mediante RCD, al considerarse una operación de valorización, se debe contar con la autorización de la autoridad ambiental competente de Andalucía, antes del inicio de la misma.

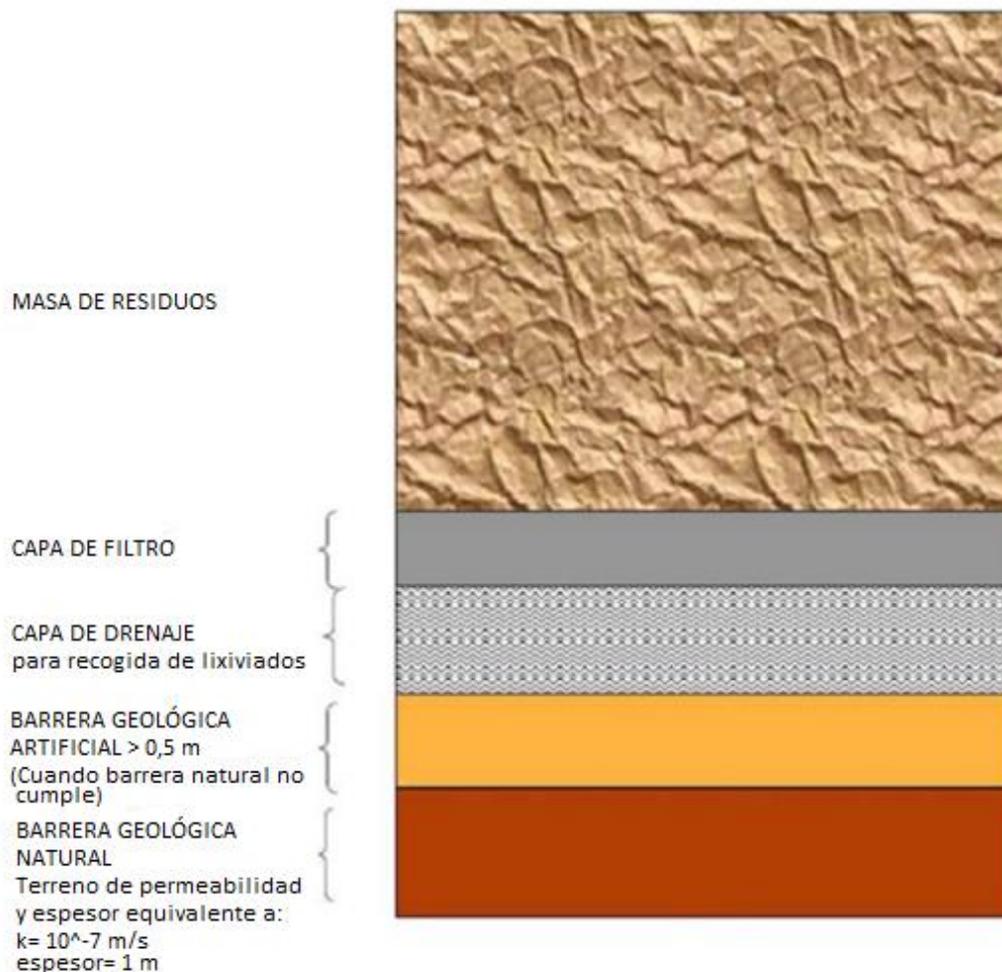


Figura 20: Capas a añadir para la preparación del terreno para la instauración del vertedero de RCD

Para comprobar la permeabilidad se ejecutarán ensayos in situ de infiltración. En este ensayo se medirá la infiltración del agua en los distintos tramos de la columna de sondeo. La superficie de infiltración será el fondo de la perforación.

Algunos valores recomendables para diversos parámetros de esta capa son:

- Porcentaje de finos que pasa por el tamiz de 0,08 mm superior al 30% en peso.
- Índice de plasticidad entre 10 y 30, y partícula máxima menor de 2 cm.
- Contenido en elementos mayores de 2 mm inferior al 40%, y que el contenido en materia orgánica no supere el valor de 1%, en peso.
- La resistencia al corte de la capa cumplirá las especificaciones requeridas para garantizar la estabilidad de la masa de vertido.
- Se evaluará que la composición química de los lixiviados no pueda afectar la estructura de la capa de arcilla.
- También se recomienda un espesor máximo por tongada de 20 cm después de cada operación de compactación.

Es admisible también, usar capas de materiales naturales y sintéticos que produzcan en mismo nivel de impermeabilización. En el caso de este proyecto, al no contar con residuos peligrosos, la impermeabilización con arcilla se completará con una geomembrana de polietileno de alta densidad. Algunas de las características de la geomembrana serán:

- Tendrá un espesor de 2 mm.
- Se colocará directamente sobre la capa de arcilla.
- Sobre la membrana se coloca un geotextil para protegerla frente al punzonamiento.

Cabe destacar también que si no se disponen de arcillas cercanas a la zona donde se quiere implantar el vertedero, se valorará la posible implantación de arcillas geosintéticas.

4.1.2 Sistemas de drenaje interno

Las capas de drenaje tendrán una pendiente del 2%. Hay que tener en cuenta que el nivel de lixiviados siempre tiene que ser menor que el espesor de la capa drenante. La capa se colocará en el fondo y en los taludes del hueco minero, teniendo que poder soportar el peso de los residuos RCD que estarán arriba. Por tanto, la capa drenante que se instalará en la cantera será de grava con las características que se detallan a continuación, en base a lo dispuesto en la Guía para la rehabilitación de huecos mineros mediante residuos RCD (Residuos, n.d.).

- Coeficiente de permeabilidad hidráulica $> 10^{-2}$ m/s.
- La cantidad de finos ($< 0,08$ mm) no superará el 5%.
- El coeficiente de uniformidad (C_u) del suelo debe ser menor que 3 para que sea considerado como suelo muy uniforme.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Siendo

D_{60} : Diámetro o tamaño por debajo del cual queda el 60 % del suelo, en peso.

D_{10} : Diámetro o tamaño por debajo del cual queda el 10 % del suelo, en peso.

- El tamaño de árido será de 4 cm.
- Dado que se tendrá una geomembrana impermeable con geotextil, el árido cumplirá las condiciones de resistencia al punzonamiento.

Además de lo descrito anteriormente, se instalarán tuberías ranuradas uniformemente distribuidas repartidas en la capa de drenaje. De este modo las tuberías cumplirán las siguientes características:

- La distancia entre ellas será de 20 m.
- La pendiente de las tuberías será del 2%.

- Las tuberías tendrán un diámetro de 180 mm.
- El material será un polímero resistente que garantice la recogida y conducción de los lixiviados a un lugar destinado para la recogida de lixiviados.

Es importante puntualizar que este sistema de recogida de lixiviados no es obligatorio para RCD. Se ha descrito la manera que se debería proceder en caso de que la autoridad ambiental lo exigiese. En caso de que el riesgo para el ambiente sea considerado como admisible por la autoridad competente, no se instalará este sistema de recogida de lixiviados anteriormente mencionado.

4.1.3 Aspectos constructivos de los sistemas de impermeabilización y drenaje interno

Como se ha comentado en el apartado anterior, hay necesidad de impermeabilizar el hueco minero. Para ello en este apartado, se propone el método constructivo a seguir.

Primeramente es necesaria una capa de regularización. Esta capa se construye simplemente con el propio movimiento de materiales de la instalación para minimizar los costes económicos imputables. Dicha capa será de aproximadamente 10 cm de espesor de materiales granulares compactados sobre los que se situará la primera capa de arcilla.

La primera capa de arcilla se extenderá de manera que se impida la circulación de camiones sobre ella, extendiéndola mediante buldócer de cadenas. Las capas nuevas se extenderán empujando los vertidos, evitando así circular sobre la capa inferior. Se deberá ir compactando mediante compactadores tipo “pata de cabra” hasta conseguir el espesor requerido. En los taludes que se superen los 20° de inclinación la compactación se realizará sobre el suelo de los mismos. En cuanto a los taludes interiores del hueco minero, que presentan mayor inclinación, se procederá al sellado mediante caballones de arcilla apoyados en el talud. El primero se hará mientras se inicia la construcción de la capa de drenaje, haciéndolo de una altura igual al espesor de la misma. Los siguientes recrecimientos de los caballones de arcilla y de materiales drenantes apoyados en taludes se pueden hacer en coordinación con el proceso de relleno.

Una vez finalizada la etapa de sellado del fondo del vertedero, se iniciará la construcción del sistema de drenaje, compuesto por una capa de gravas y arenas que englobará unos sistemas de tuberías. Las tuberías, en caso de ser necesarias, se colocarán formando preferentemente un esquema en espina de pez, distanciadas 20 m como se ha comentado anteriormente.

4.1.4 Sistemas de captación y control de lixiviados: balsa de almacenamiento

Se instalará una balsa de almacenamiento de lixiviados en caso de que la autoridad medioambiental competente lo estime oportuno. Esta balsa se instalará en la zona más baja de la cantera, la zona oeste y fuera del hueco minero y se abastecerá de las tuberías instaladas anteriormente para la recogida de los lixiviados. El volumen de esta balsa debe ser tal que soporte todas las precipitaciones que se dan durante cualquier época del año en todo el hueco minero. El volumen de este balsa será de 4 000 m³ y dicha balsa deberá cumplir las especificaciones descritas en el Desarrollo Técnico del RD 1481/2001 (BOE, 2013) :

- Los costados y el fondo se recubrirán de un material sintético impermeabilizante cuyas características deberán ser similares a la geomembrana del fondo del vaso de vertido.
- Se instalará un sistema de drenaje perimetral y se diseñará un sistema de inspección para la detección de cualquier fuga o filtración al terreno.
- La balsa podrá cubrirse, bien de manera permanente, o bien de forma temporal, si las condiciones meteorológicas lo requieren.
- El sistema de detección de lixiviados se localizará en la base de las balsas de almacenamiento para determinar la profundidad de los lixiviados y la de los líquidos residuales.

Por último, una vez se acabe el relleno del hueco minero se procederá a la desinstalación de dicha balsa y a sellar el hueco minero para la instalación del olivar de manera que el agua procedente de precipitaciones no se filtre hasta los residuos pudiendo generar lixiviados.

4.2 Fase de relleno y clausura

Esta fase incluye las operaciones necesarias a desarrollar durante el relleno del hueco minero, cuyo objetivo es garantizar la correcta disposición de los residuos admitidos.

4.2.1 Admisión de los RCD

Se debe tener un proceso de admisión específico para controlar la entrada de los residuos RCD. Según la normativa vigente no se podrá admitir RCD que no acompañen de un certificado que acredite que los mismos han sido sometidos a un tratamiento previo o a las operaciones de valorización correspondientes por un gestor debidamente autorizado de RCD. Los RCD que se admitan deben ser pétreos, además de estar limpios de plásticos, metales o sustancias orgánicas (Residuos, n.d.).

En España, la producción de áridos reciclados, presenta una gran variedad de granulometría. En este proyecto se aceptará una granulometría de 0-100 mm de diámetro, pudiéndose modificar excepcionalmente este tamaño, aunque no de manera sistemática ya que los valores recomendados para la compactación del hueco oscilan alrededor de 40-60 mm de diámetro. Los RCD de precibado mixto, cerámicos y de hormigón cumplen con estas especificaciones por lo que en general, y siempre que estén limpios, serán aptos para su uso en el relleno del hueco minero.

Para la correcta admisión de los residuos se deberá instalar en la cantera un punto dónde descargar el contenido de RCD de los camiones y mediante inspección visual de un operario, determinar si el vertido es apto o no para el relleno del hueco. Este punto se situará a la entrada de la misma, aprovechando una explanada existente. En dicha explanada también se situará una cabina, que será el puesto de trabajo del operario en cuestión. Una vez se dé el visto bueno a los residuos se cargará de nuevo el camión con una pala cargadora y se procederá al relleno por la parte del fondo de la cantera. Más detalles del relleno serán explicados en los puntos que se desarrollan a continuación.

4.2.2 Procedimiento de relleno del hueco con RCD

Los objetivos fundamentales de esta fase son el relleno ordenado y controlado del hueco y la limitación de la producción de lixiviados. Para esto último, será necesario garantizar que los residuos no tengan humedad, lo que se hará también con un dispositivo captador de humedad que tendrá el operario y lo hará al mismo tiempo que procede a la inspección visual. Otro aspecto importante será controlar la humedad existente entre el fondo del hueco minero y la capa de residuos.

Dado que se impermeabilizarán los taludes, las labores de relleno del hueco minero se realizan mediante fases secuenciales. Estas fases contarán con alturas de 3 metros y se iniciarán siempre con el vertido de la arcilla impermeabilizante, empezando por el fondo de la cantera y retrocediendo hasta la entrada de la misma, cubriendo toda la superficie del talud además de capas de regularización, capas drenantes, etc. En caso de tener mucha demanda de RCD, se tendrán disponibles varias palas cargadoras y varios camiones por lo que cabe destacar que no será necesario llegar hasta el fin de una fase para arrancar la siguiente. Simplemente habrá que esperar a que el material con el que se ha rellenado la capa anterior haya ganado la suficiente integridad estructural para garantizar el adecuado soporte para el inicio de la siguiente fase. En todas las fases los materiales se extenderán en tongadas de medio metro una vez compactados. La compactación se realizará mediante rodillos lisos debiéndose alcanzar en el material una densidad del proctor de al menos un 95%. Además estas tongadas deben quedar con una pendiente transversal de modo que se evite la creación de puntos bajos que pueden ocasionar la infiltración de agua. En la figura 21 se puede observar un ejemplo de lo comentado anteriormente de cómo se debería proceder en el relleno del hueco minero.

Como se ha especificado con anterioridad, en el proceso de relleno, se cuidará la gestión de las aguas superficiales de escorrentía así como las aguas que hayan podido estar en contacto con los residuos y los lixiviados. Las aguas pluviales que hayan estado en contacto con los residuos se recogerán mediante el sistema de tuberías y se llevarán a la balsa de lixiviados comentada anteriormente.

En el extendido de las capas se cuidará que se usen los equipos adecuados, como buldócer, camiones o palas cargadoras, así como las protecciones precisas para no dañar las capas de protección que se han instalado. En cumplimiento con lo dispuesto en el RD 1481/2001 el conjunto formado por el terreno y el relleno, tendrá una estructura estable e íntegra a lo largo del tiempo. Además la plantación de un olivar en este proyecto, así lo obliga. Por tanto, respecto a la estabilidad se deberán realizar al menos las siguientes comprobaciones:

- Estabilidad del conjunto relleno del hueco minero-terreno.
- Estabilidad interna de la masa de residuos.
- Estabilidad local de la capa de sellado por deslizamiento del contacto de los distintos elementos del sellado.
- Estabilidad del conjunto relleno del hueco minero – impermeabilización de fondo, si procede, por deslizamiento entre distintos elementos de la capa impermeable.

Algunos aspectos fundamentales para realizar estas comprobaciones son los siguientes:

- Se evaluará la resistencia al corte de los residuos considerando su origen. De ser preciso se efectuarán ensayos a gran escala.
- Se considerará el ritmo de relleno, sobre todo en materiales impermeables, que puede generar presiones intersticiales que se introducirán en la evaluación.
- Se efectuará la comprobación de la capacidad drenante de un geocompuesto de drenaje, en función de su nivel de carga en dirección perpendicular al plano de drenaje.
- Los parámetros resistentes del resto de materiales empleados en el cálculo estarán igualmente justificados a partir de los reconocimientos y ensayos pertinentes.

Además se ha comprobado a través del Instituto de Geográfico Nacional que Arcos de la Fra. presenta un riesgo sísmico bajo, además, no existen evidencias de peligros asociados a deslizamientos, movimientos de tierras, movimientos en masa, o caída de bloques. Dada la situación geográfica no existen riesgos de aludes.

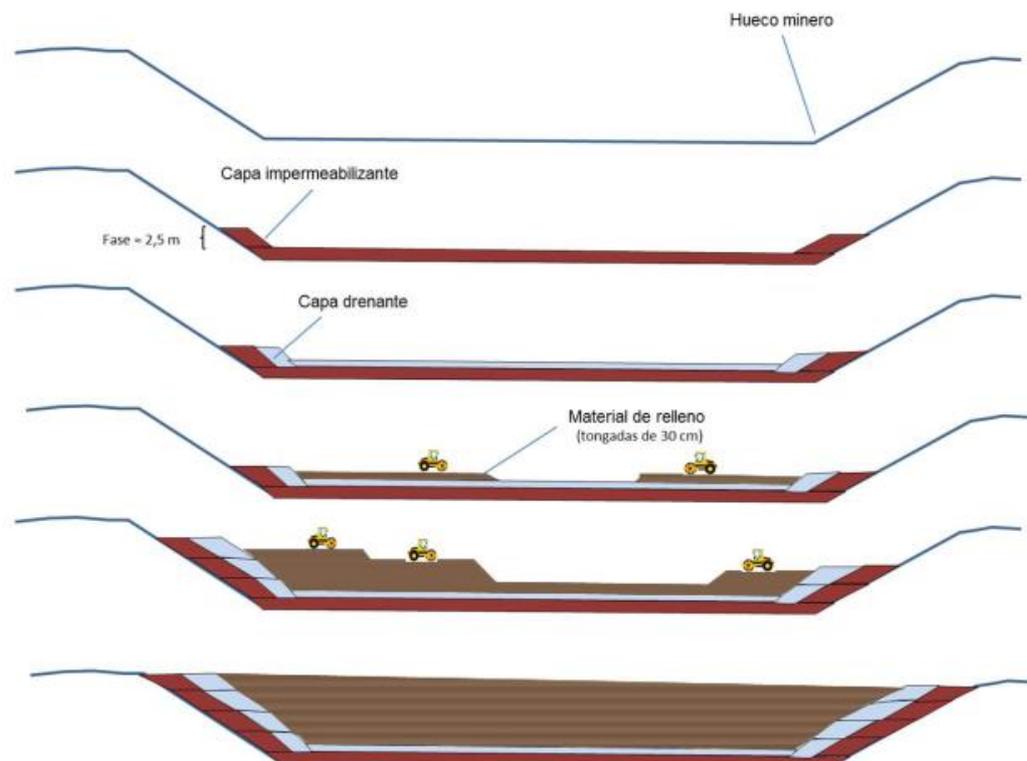


Figura 21: Esquema de procedimiento de relleno de hueco minero

A continuación se describe cómo será el proceso real de relleno de huecos. Para ello se recurre a los perfiles calculados de los huecos. Se exponen cómo se desallorará el relleno:

- 1) En primer lugar, una vez las tareas previas del relleno hayan concluido se procederá al vertido de las primeras capas de residuos. Estas primeras capas se depositarán en aquellos lugares más profundos de la cantera, con el objetivo de igualar la superficie del suelo de la cantera en la medida de lo posible.

Se llevará todo el terreno a una cota de 20 metros, para ello se debe empezar el relleno por el perfil de 60 metros, llegando hasta los 160 metros. Con ello se alcanzaría en toda la superficie del hueco minero la cota mínima de 20 metros. A continuación se expone como sería el proceso gráficamente.

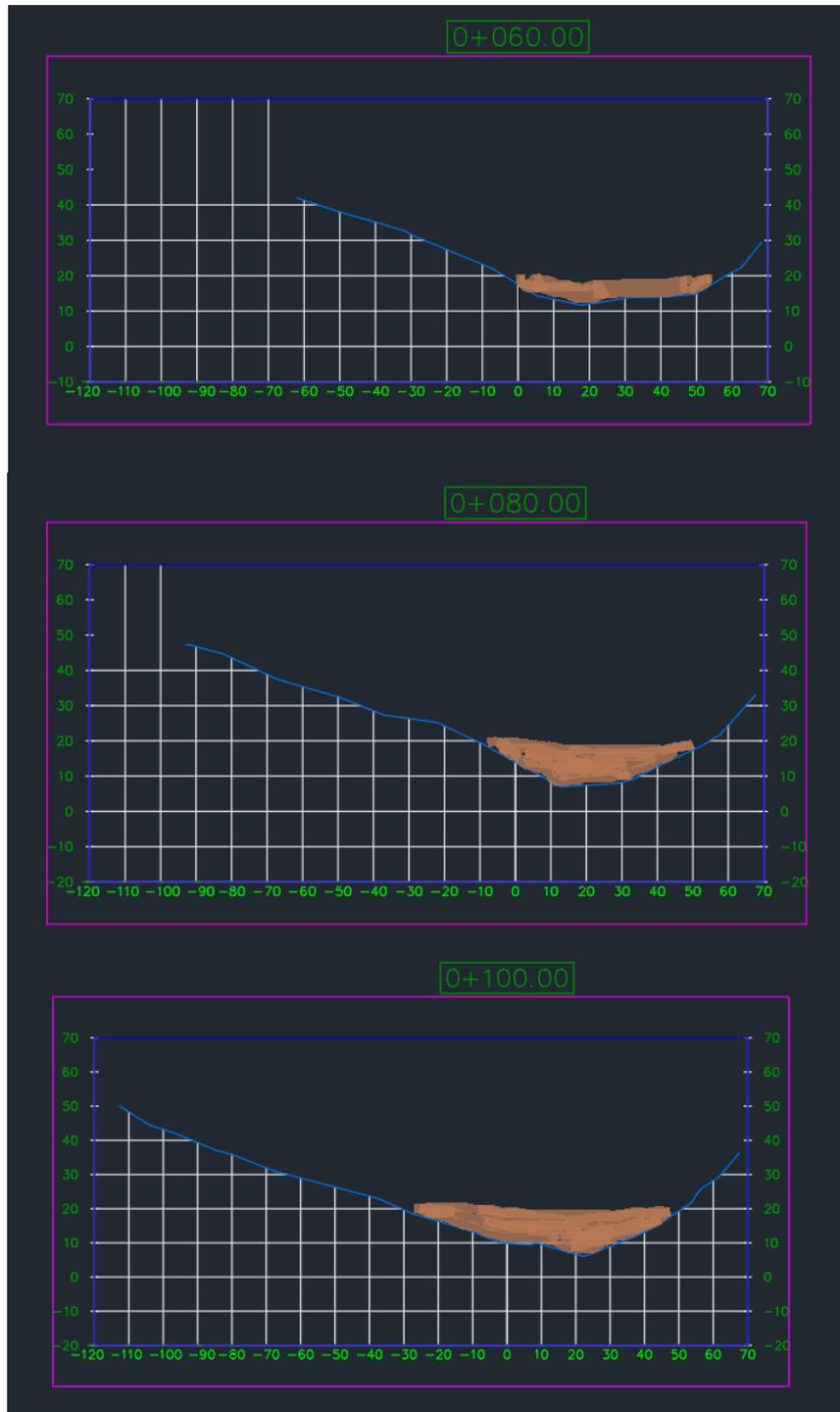


Figura 22: Fase del relleno, nivelación a 20 metros (1).

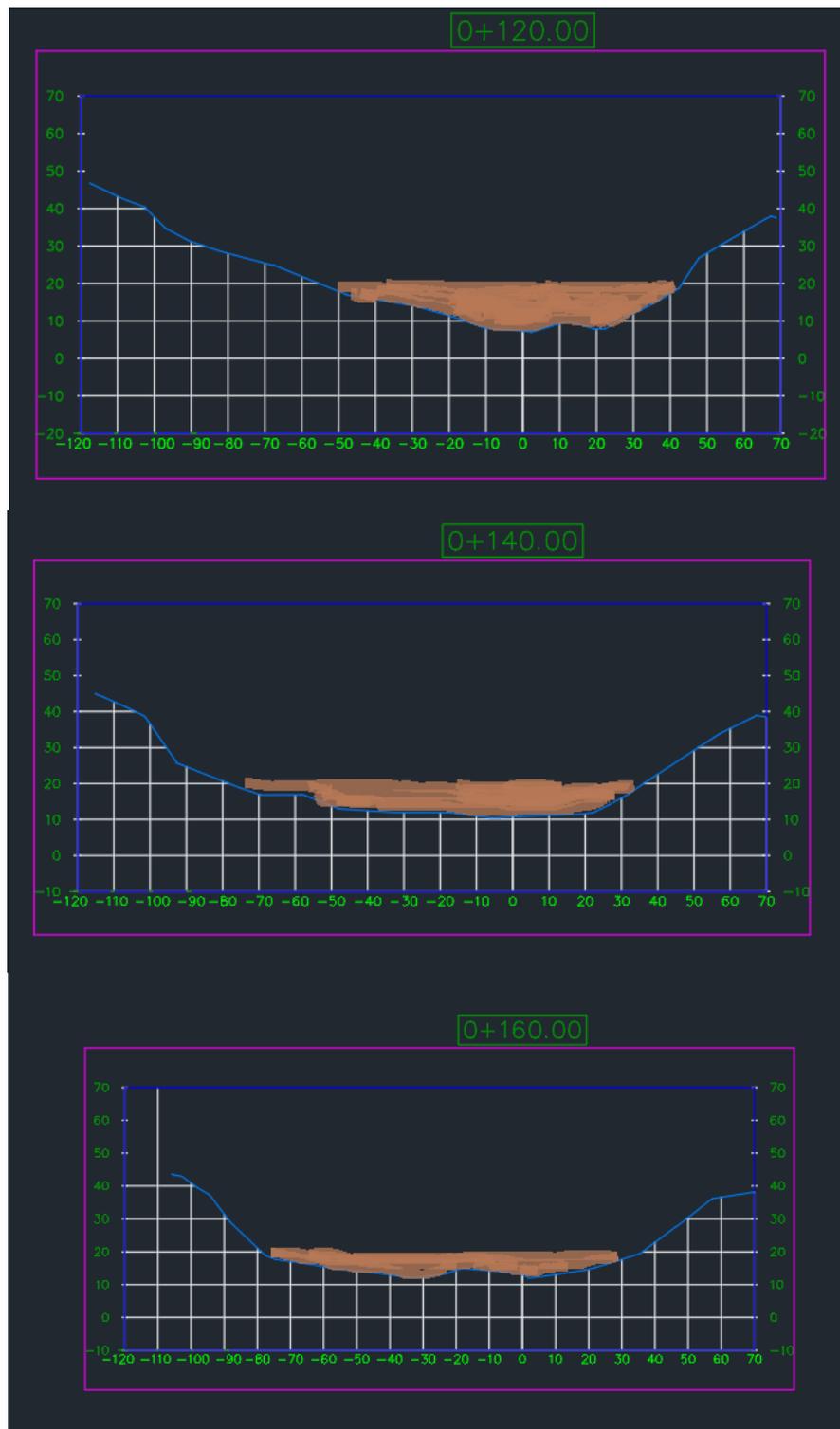


Figura 23: Fase del relleno, nivelación a 20 metros (2).

- 2) Una vez se tenga toda la superficie igualada a 20 metros, se continua el relleno desde esta cota por la parte norte, es decir, el extremo opuesto a donde entran los camiones, o si se entiende mejor, la base de partida que se ha tomado como 0, para el cálculo de perfiles.

Se procederá al relleno distribuyendo los residuos en todo el perfil y acumulado hasta 1 metro de altura a lo largo de cada perfil. Una vez completado ese metro de altura a lo largo de todo el perfil, se avanzará hasta el siguiente perfil, y así sucesivamente hasta completar el relleno de la totalidad del hueco minero.

4.2.3 Fase de clausura

El objetivo de esta fase es preparar el terreno para la plantación del olivar y proceder al sellado del mismo. Este es el momento en que se finaliza la actividad como vertedero. El sistema de clausura estará formado por una serie de capas de materiales seleccionados, para evitar el perjuicio a la salud o al medio ambiente que la masa de residuos pueda provocar, así como inducir procesos de estabilización sobre el conjunto de la masa de residuos. Dado que en este vertedero solo se admitirán residuos inertes, la normativa permite instalar exclusivamente una capa de soporte a la vegetación. Por tanto, se dispondrá de una capa de 2 metros de espesor de tierra vegetal que cubra toda la superficie del vertedero ya relleno, para la posterior plantación del olivar.

Es importante destacar que dicha capa final debe tener una cierta pendiente que permita el desalojo de las escorrentías en el sentido indicado. La tierra vegetal deberá aportarse del mismo modo que se han aportado las capas de residuos, es decir, desde el fondo del vertedero hacia detrás. Además, esta tierra vegetal puede ser obtenida de movimientos de tierra que se realicen por la zona, y como la capa de residuos, será compactada, (aunque no en exceso) mediante un rodillo alcanzando una vez compactada, el espesor de 2 metros que se ha indicado con anterioridad.

En esta misma fase también se desinstalará, en caso de existir, la balsa de lixiviados. Esta balsa deberá vaciarse previamente y después proceder al relleno de la misma, también mediante tierra vegetal, aunque sobre la misma, no se instalará vegetación.

5. PLANTACIÓN DE OLIVAR

En este apartado se exponen aspectos relacionados con el acondicionamiento del relleno tras la fase de clausura del mismo, así como a explicar la manera de proceder para la plantación del olivar y los motivos por los que se opta por esta plantación.

El relleno mediante RCD supone una recuperación de la topografía inicial del espacio afectado por lo que la rehabilitación e integración paisajística serán más sencillas de conseguir. La vegetación que se instale, en este caso un olivar, ayudará mucho en este aspecto además de captar gran parte del agua de la lluvia que no llegará a estar en contacto con los residuos, disminuyendo los posibles masas de lixiviados generadas.

Cada vez es más habitual la opinión de que en los terrenos degradados en los que no hay un alto riesgo de erosión, y en los que puede estar presente un razonable banco de semillas o yemas vegetativas, sería más conveniente que la vegetación se restablezca por sí sola. Sin embargo, es probable que en las últimas coberturas edáficas usadas en un proyecto de relleno de una cantera, ese banco no esté presente o sea insuficiente. Por tanto, siempre que se busque obtener una cubierta vegetal, es necesario recurrir a la siembra o plantación. Independientemente del objetivo final a alcanzar con la rehabilitación, la implantación rápida de cubiertas vegetales para el control de la erosión ha sido la principal razón histórica de las siembras, en este caso de olivar.

5.1 Justificación de elección de plantación de olivar

Son múltiples los motivos por los que se ha elegido una plantación de olivar como la más adecuada para la rehabilitación del hueco minero. Existen muy diversas opciones para la rehabilitación de los huecos mineros que se suelen basar en la plantación de semillas herbáceas con coste económico escaso y dejar a la propia vegetación desarrollarse a lo largo del tiempo. Sin embargo, en este proyecto se va más allá, se propone realizar una plantación de olivar que integre una serie de aspectos beneficiosos tanto para el medio natural en todo su conjunto como para la entidad explotadora.

Las razones por las que se elige la plantación de olivar como mejor solución para la rehabilitación de la cantera en cuestión son las siguientes:

- **Vegetación propia del entorno:** un aspecto al que la normativa aplicable apela para la elección de la vegetación a plantar es que dicha vegetación sea igual o parecida a la que hay en el entorno que rodea al hueco minero. Es bien sabido que Andalucía es una tierra con gran capacidad para albergar plantaciones de olivar debido fundamentalmente a las condiciones climáticas que presenta, pero también a las propiedades de la tierra. Además, en el caso de la cantera en cuestión, se cuenta con un olivar a escasos 100 metros del hueco minero por lo que es claro que el olivar es una buena opción para la rehabilitación del hueco minero
- **Recuperación de fauna:** la construcción del hueco minero ha causado la pérdida de hábitats de numerosas especies autóctonas comentadas en el apartado 3.1.5 del proyecto. Mediante el olivar se pretende la recuperación de estas especies también como uno de los objetivos fundamentales. Estas especies están habituadas a este tipo de vegetación por lo que se verán claramente beneficiadas por la plantación del olivar y poco a poco se espera crear un ecosistema ideal para el desarrollo de estas especies.
- **Recuperación del paisaje:** el paisaje es uno de los grandes afectados por el hueco minero como se ha comentado en el apartado 3.1.6 de este proyecto. A través de la rehabilitación del hueco mediante la plantación de olivar se pretende recuperar paisajísticamente el terreno y así recuperar la armonía y uniformidad del mismo. Un paisaje de olivar es claramente compatible con la zona por todos los aspectos mencionados anteriormente por lo que se ha concluido que la mejor forma de conseguir la integración paisajística del hueco minero será mediante la plantación de una de las especies vegetales más populares en Andalucía como son los olivos. Esto dará un aspecto armonioso al paisaje ya que se observará la sierra escarpada en la parte superior y el olivar en la parte inferior.
- **Beneficios económicos:** la plantación de un olivar puede ser un potencial ingreso económico cuando

los olivos produzcan aceitunas. El aceite de oliva es un producto que cada vez está más demandado, y aunque están surgiendo grandes competidores como Italia, España sigue siendo uno de los principales exportadores a nivel mundial por lo que todo parece indicar que el olivar será un buen modelo de negocio para el futuro.

- **Beneficios sociales y creación de empleo:** tal y como se ha comentado en el punto 3.1.7 del proyecto, la plantación de un olivar conlleva el fomento de la economía y el empleo en Arcos de la Fra. Jornaleros, transportistas y otros colectivos se verán beneficiados por la plantación del olivar como rehabilitación del hueco minero.

5.2 Proceso de plantación de olivar

Como se ha comentado anteriormente, uno de los objetivos que persigue la plantación de olivar, además de la rehabilitación del hueco minero, es la rentabilidad económica. Dicha rentabilidad es la diferencia entre los beneficios de la producción y los gastos de cultivo. Todo esto, se ve muy influenciado por el medio físico donde se sitúa la plantación de olivar, la correcta elección de la variedad de olivo y de la manera que se realiza la plantación (Ochoa, 2014).

Algunas de las características para que el olivar sea rentable son las siguientes:

- Ofrecer un producto de calidad que esté aceptado en el mercado.
- Tener un periodo improductivo lo más corto posible.
- Exigir pocos gastos de cultivo, es decir, que sea mecanizable.

En el presente proyecto se trata de una plantación pequeña, de aproximadamente 3,5 hectáreas como se ha definido en el apartado 1.3 de este documento. La inversión en un olivar siempre es a largo plazo aunque no debemos descuidar o escatimar en el proceso inicial de plantación del mismo ya que será fundamental para la obtención de resultados óptimos.

5.2.1 Marco de plantación

Se ha optado por una plantación de alta densidad y porte bajo de árboles con formación en seto para que la recolección de la aceituna se pueda hacer más fácilmente mediante vendimiadoras adaptadas. Se habla de un marco de plantación de 4* 1,25 metros con unos 1120 árboles por hectárea aproximadamente. Además, una vez se tenga el hueco minero relleno, se deberán hacer planos gráficos que reflejen específicamente las distancias que se han comentado anteriormente, además de especificar con claridad los caminos de acceso a la plantación.

La variedad de olivo elegida ha sido la arbequina ya es la más demandada en los últimos años por los buenos resultados que está dando. La arbequina es un valor seguro de calidad, producción y precocidad, además de clara adaptación a la recolección con vendimiadoras.

5.2.2 Orientación

En muchas ocasiones la orientación suele adaptarse a la forma de la parcela más que a la orientación solar ya que las labores en la tierra, así lo recomiendan para mayor aprovechamiento del terreno. En otras plantaciones lo que prima para la orientación son otros factores como la pendiente.

La orientación adecuada para este tipo de plantaciones es norte-sur o noroeste-sureste ya que la insolación es más uniforme en la masa vegetativa de cada árbol que si se opta por otro tipo de orientación, como por ejemplo la este-oeste, que provocaría que la zona sur esté más iluminada que la norte. La luz es un factor fundamental para la síntesis de materia orgánica a partir del dióxido de carbono de la atmósfera y del agua del suelo. La falta de luz provoca la aparición de problemas como disminución de yemas de flor, peor cuajado de los frutos, menor peso, etc. Las flores y frutos del olivo se forman en brotes que se desarrollan durante el año anterior y suelen encontrarse en la periferia de la copa, siempre y cuando reciban la luz suficiente.

La disposición del hueco minero en cuestión es ideal ya que permite el aprovechamiento total del terreno colocando el olivar en orientación norte-sur, que como se ha comentado anteriormente es la más adecuada. Por tanto, se ha elegido la orientación norte-sur para la plantación del olivar. Como se ha comentado

anteriormente esta orientación es óptima, ya que la morfología del hueco minero que se va a rellenar así lo pide.



Figura 24: Orientación del olivar

5.2.3 Preparación del terreno

El terreno tiene una capa de tierra vegetal de 2 metros de profundidad. Para ejecutar dicha plantación se debe acondicionar nuevamente el terreno con objeto de que las plantas tengan un adecuado sistema radicular y que los olivos puedan desarrollarse satisfactoriamente. Los aspectos fundamentales que se tratarán en la preparación del terreno serán los siguientes:

- **Nivelación de la tierra** (si ha quedado tierra por nivelar en la fase de clausura). Se considerará que la pendiente será del 2% tal y como se ha expuesto en la fase de clausura explicada anteriormente. Para ello se emplearán tractores con pala, buldóceres, etc.
- **Desfondes y subsolados:** en el caso del proyecto que nos ocupa solo se realizará subsolado, ya que presenta particularidades como que el subsuelo no tiene la misma composición que el suelo. Se realizarán labores de arado para la preparación de la plantación. La profundidad de estas labores será de 60 cm, y deben realizarse unos meses antes a la plantación, preferiblemente en verano. Los subsolados son necesarios como se ha comentado, y se realizan con los siguientes objetivos:
 - Asegurar el correcto desarrollo de las raíces.
 - Hacer el terreno más permeable al agua y aire.
 - Limpiar la tierra de raíces, piedras y larvas de insectos.
 - Movilizar las reservas fertilizantes.
- **Enmiendas y abonados de fondo:** cabe destacar que el estercolado del terreno va a provocar una mayor fertilidad y estructura del suelo para acoger la plantación de olivar. Además, la aplicación de estiércol antes de la plantación es la manera más efectiva de abonar la tierra. La cantidad de estiércol necesaria será aproximadamente de unos 50 000 kg por cada hectárea de terreno. El abonado de fondo se producirá después de las tareas de subsolado.

- **Mullido:** consiste en la utilización de una grada de discos para conservar la humedad del suelo y deshacer posibles terrones que se hayan formado. La labor se realizará a una profundidad de 20 cm aproximadamente.

5.2.4 Instalación del sistema de riego

Es necesario, antes de seguir con las tareas de plantación, proceder a la instalación del sistema de riego. El sistema de riego será por goteo. En la forma de cultivo intensivo que se plantea, es fundamental disponer de este tipo de sistema de riego. El sistema de riego tratará de consumir el mínimo de energía posible para abaratar el proceso.

Se pretende realizar un diseño económico a la vez que eficiente. Para ello, se dispondrá de agua almacenada en depósitos. Estos depósitos suman un total de 30 000 litros y se situarán, aprovechando la propia pendiente de la montaña en un punto 10 metros más alto que el olivar, y a una distancia aproximada de 50 metros. El plano de situación del olivar, así como sus equipos y tuberías, se detallarán una vez el hueco minero esté relleno y se conozcan las dimensiones exactas que tendrá la plantación de olivos a desarrollar.

De estos depósitos saldrá el agua por su propia presión sin necesidad de ser bombeada y circulará por una tubería subterránea de 4 pulgadas de diámetro hasta el olivar. Una vez se llegue a la plantación de olivos, empezarán a salir ramales de tuberías de una pulgada que alimentarán a las filas de olivos que se sitúan cada 4 metros. Todos los caudales se controlarán mediante válvulas. Todo el sistema de tuberías estará enterrado a fin de proteger a las mismas frente a agentes meteorológicos adversos, animales que puedan roer o directamente romper dichas tuberías o frente al paso de la maquinaria para cosechar la aceituna. La preparación del terreno para enterrar dichas tuberías es fundamental. Se enterrarán 60 cm aproximadamente respetando la pendiente que disponga el terreno. Las zanjas se abrirán con retroexcavadora teniendo una profundidad de 60 cm y una anchura de 80 cm. En la base se debe colocar una cama de arena fina para que la tubería asiente perfectamente, además de recubrir con arena fina los primeros 15 cm para evitar que piedras o bloques de tierra dura puedan ocasionar el deterioro de la tubería. Además, se debe dejar prevista en la superficie las conexiones necesarias para empalmar los ramales porta goteros. Es necesario también instalar el cabezal de riego con sus correspondientes filtros, conexiones, programadores y dispositivos proyectados, para poder aplicar un riego de asiento a la vez que se vaya realizando la plantación de olivar y se vaya procediendo a conectar los ramales porta goteros.

Otro aspecto a destacar serán las necesidades hídricas de la plantación de olivar. Estas necesidades dependerán de las precipitaciones de Arcos de la fra. así como de en qué época del año se esté. Con los 30 000 litros de agua almacenada no habrá suficiente agua, por lo que se tendrá la necesidad de realizar un pozo para bombear agua y llenar estos depósitos. Se plantea también en épocas de abundante lluvia, utilizar el agua del arroyo cercano "Arroyo del Cañaveral" para llenar los depósitos. En cualquier caso habrá que hacer un sondeo y realizar un estudio de las capacidades hídricas que puede proporcionar el pozo que se instale y en función de los resultados de dicho estudio se determinarán los caudales que son necesarios para la plantación de olivos.

Se plantea también la posibilidad de la sectorización para el riego del olivar. Esta técnica propone que no se rieguen todos los olivos a la vez, sino que se propongan diferentes franjas horarias a lo largo del día para el riego de los mismos. Esto da la posibilidad de necesitar menos caudal instantáneo de agua y permitir así dar tiempo a que la bomba llene los depósitos.

Como bien se ha explicado anteriormente, todos estos datos dependerán de la capacidad hídrica del terreno, que se sabrá realizando un estudio sobre el terreno mediante un sondeo. Todo ello deberá realizarse una vez el hueco minero esté relleno. En este apartado se ha descrito el sistema de riego que se quiere desarrollar en la plantación de olivar, pero no se entra en detalles numéricos de cálculos de caudales o desarrollo de planos ya que se ha creído oportuno que esto deba desarrollarse en el proyecto de ingeniería de detalle que se debe realizar cuando se tengan todos los elementos disponibles para su desarrollo, entre ellos, la disposición final del terreno tras su restauración mediante RCD.

5.2.5 Plantación

Antes de proceder a la plantación, será necesario determinar cuántas plantas serán necesarias. Se ha estimado que la superficie de plantación será de aproximadamente 5 hectáreas con una densidad aproximada de 1 120 árboles por hectárea lo que supone un total de 5 600 plantas de olivo que serán las que se tendrán que comprar.

Las plantas se adquirirán en un vivero de la zona y se utilizará una planta procedente de auto enraizamiento

por nebulación porque es la que mejores resultados ofrece en base a la experiencia y a diferentes ensayos que se han constatado. Por otra parte, destacar que el material vegetal debe contar con un buen sistema radical, una altura de 1 metro y una edad de 1 a 1,5 años. Una planta de mayor edad que haya sido conservada en un vivero en bolsas pequeñas, experimenta el problema de que se endurece por la falta de tierra y su desarrollo en el campo, no es tan satisfactorio. Además, el plantón en el vivero debe tener un solo eje, eliminando así las brotaciones bajas que se puedan producir (Ochoa, 2014).

Las plantas que presenten acariosis, glifodes, prays o tuberculosis deberán ser rechazadas, además las que hayan podido contaminarse de algún sustrato durante el traslado. En dicho traslado se debe proteger a los plantones de la desecación que podría ser causada por las altas temperaturas o por el viento. Se tendrá en cuenta también que habrá que minimizar el periodo que transcurre desde que la planta sale del vivero hasta que se procede a su plantación en el campo. Es decir, este almacenaje deberá ser corto y se realizará al aire libre, preferentemente.

Este tipo de planta requiere una buena preparación del terreno para que el sistema de raíces no encuentre ningún tipo de obstáculos para su desarrollo. En el caso de la plantación de este proyecto, este aspecto está asegurado, ya que se ha controlado estrictamente la profundidad y la calidad del terreno. Cuando se elimina la bolsa de plástico que contiene el cepellón, ha de colocarse de tal forma que la superficie de la tierra proveniente del vivero no esté a más de 5 cm por debajo del terreno circundante. Una vez que se planta, es muy recomendable apisonar el terreno para eliminar posibles bolsas de aire y así conseguir que el contacto entre el terreno del asiento y el cepellón de la planta de vivero sea lo más eficaz posible, con especial cuidado de no pisar encima del cepellón porque se pueden dañar o romper las raíces.

La plantación se realizará mediante una planadora semiautomática arrastrada acoplada a un tractor que abrirá el surco necesario en el terreno y uno o dos operarios dejarán la planta del olivo sobre la cazoleta. Esta plantación es característica por tener plantones de no más de un metro de altura y con un cepellón relativamente pequeño como bien se ha especificado anteriormente.

La planta procedente de estaquilla semileñosa de auto enraizamiento por nebulación de un solo tronco y con una altura en torno a un metro, será la elegida en el caso de este proyecto. Como ya se ha comentado en el apartado anterior, la variedad elegida será la arbequina, concretamente la CLON-IRTA i18, que están plantadas en bandejas donde se alojan los cepellones de aproximadamente 7x7 cm, (ver figura 25).

Las principales características de la variedad arbequina elegida son las siguientes:

- Variedad muy productiva, de precoz entrada en producción y poco alternante.
- Rústica, resistente a las heladas y adaptable a diferentes condiciones de clima y suelo.
- Muy buena adaptación a plantaciones intensivas y de alta densidad.
- Su porte semirrecto facilita la formación en eje central.
- Produce un aceite virgen de fruto mediano, equilibrado en boca, donde destaca el atributo dulce, muy apreciado por los nuevos consumidores
- La comercialización puede ser mono varietal.

Algunas de las ventajas que presenta este tipo de variedad se comentan a continuación:

- Mayor precocidad y producción por cada árbol.
- Mayor uniformidad en las plantaciones.
- Se adaptan mejor al sistema de formación en bordillo y facilita la recolección mecánica.
- Presenta un aceite más rico en oleico y más equilibrado sensorialmente.



Figura 25 : Variedad de olivo elegida

Los medios mecánicos que se han descrito anteriormente para la plantación, ahorrarán costes, aportarán precisión y disminuirán la fatiga de los operarios. Es de vital importancia que las distancias entre las líneas sean uniformes además de que las líneas planas queden rectas para facilitar las labores de recolección anuales. La tecnología que se usará para asegurar todo esto, será la de GPS. Es decir, el guiado de la trasplantadora semiautomática acoplada al tractor será la labor a desarrollar por el GPS.

Como se ha especificado anteriormente, al plantar, será necesario apisonar bien la tierra para eliminar posibles bolsas de aire que perjudiquen el contacto entre el cepellón y la tierra. Las ruedas apretadoras aseguran esta labor en el caso de este proyecto. Dichas ruedas, son dos ruedas metálicas que forman un ligero ángulo con la vertical, están en la parte posterior del sistema que abre los surcos de la plantadora y su cometido es compactar la tierra en la zona donde se ha implantado el plantón.

Tras la plantación, es necesario realizar un riego para asegurar de nuevo el contacto terreno-cepellón, básicamente que no se produzcan procesos de sequía en la plantación del plantón. Dependiendo de la época en que se planten los olivos, se necesitará más o menos agua en su plantación. Si se realiza la plantación, en mayo por ejemplo, se deberán realizar no solo los riegos de asiento, sino riegos periódicos para empezar desde el principio a cubrir las necesidades hídricas del olivar. Es por eso que el sistema de riego debe estar preparado, exceptuando la instalación de porta goteros, que deberá realizarse a la vez que la plantación. En el caso que nos ocupa, y dado que la finca está situada en Arcos de la Fra. Se plantarán los olivos en noviembre. La razón es simple: el clima en esta localidad es bastante suave por lo que el olivo resistirá al frío del invierno a la perfección, además, de no existir riesgo de heladas. En cambio, los veranos son secos y calurosos por lo que la plantación en noviembre, asegurará el ahorro de recursos hídricos en las etapas iniciales del desarrollo de la plantación del olivar.

A nivel informativo, se presenta el calendario fenológico del olivo (tabla 13) que puede ser de utilidad a lo largo del proyecto.

Proceso	Calendario
Desborre	Principios de marzo
Botón verde	Mediados de marzo
Botón rosa	Mediados de mayo
Plena floración	Principios de junio
Caída de pétalos	Principios de julio
Cuajado	Mediados de julio
Endurecimiento del hueso	Julio - agosto
Desarrollo del fruto	Septiembre - Mediados octubre
Madurez del fruto	Mediados octubre - noviembre
Reposo invernal	Enero - febrero

Tabla 13: Calendario fenológico del olivo

Cabe destacar que el crecimiento de brotes y el desarrollo de frutos son fenómenos cíclicos en todos los olivos, es decir, se repiten cada año. Sin embargo, los procesos relacionados con la fructificación necesitan dos temporadas consecutivas. En la primera temporada se forman las yemas, se produce la inducción floral y el establecimiento de reposo de las propias yemas. Ya en la segunda temporada, tienen lugar el desarrollo de las inflorescencias y de las flores, en definitiva, la floración, el crecimiento y el desarrollo de los frutos que concluyen con la maduración.

Cuando en un año no se produce se genera una elevada inducción floral. Por consiguiente, al año siguiente la inducción floral es mucho menor ya que hay muchos frutos. De este modo, la simultaneidad entre procesos vegetales y de reproducción el mismo año y entre procesos de dos ciclos reproductivos seguidos crea fenómenos de competencia e inhibición. La desigual distribución de los asimilados entre frutos y brotes origina un proceso de competencia que conlleva que en años con mucha carga, los brotes crezcan poco, siendo escaso el número de nudos y de potenciales yemas de flor. Por otra parte, el desarrollo de la semilla está íntimamente relacionado con la inhibición de la inducción floral en la yema de los brotes distales de los ramos fructíferos. Estos fenómenos son determinantes de la acusada tendencia del olivo a la vecería.

La vegetación del olivo despierta cuando empieza la primavera (finales de marzo). Entonces es cuando se observa que aparecen brotes nuevos, así como la eclosión de yemas axilares. El proceso de floración tiene lugar en mayo-junio y cuando se realiza la polinización, continúa con el cuajado del fruto. En los meses de verano se da el endurecimiento del hueso y es entonces cuando los frutos empiezan a engordar hasta alcanzar, en octubre, su tamaño óptimo. En octubre se produce la maduración y es en noviembre cuando se recoge el fruto. Durante el invierno el olivo entra en un periodo que se denomina reposo invernal.

5.2.6 Entutorado y espalderas

Los plantones de olivo, se caracterizan por tener un tronco delgado y flexible por lo que hay que fijarlos para que crezca correctamente. Para ello es imprescindible el entutorado.

Se debe poner un tutor lo suficientemente rígido para impedir que durante los dos primeros años, el tronco pueda moverse como consecuencia del viento y del peso de su copa. El tutor se enterrará 40 cm y debe sobresalir al menos un metro. En el caso de que se optase por tutores de madera, estos deberían tener un diámetro de 5 cm como mínimo, además de ser protegido frente a la humedad para que no se pudra. En definitiva, debemos asegurar la sujeción del tronco del olivo. La problemática de los tutores reside en que tienen aristas cortantes que pueden ocasionar heridas en la planta por lo que se protegerá la planta de los posibles rozamientos. Se inmovilizará el tronco con ataduras de materiales duros, gruesos y flexibles hasta la altura de la cruz, evitando así los estrangulamientos. Los tutores se colocarán orientados hacia el viento más dominante, en este caso el levante. Es fundamental vigilar las ataduras cada cierto tiempo para corregir posiciones defectuosas que se hayan podido producir y evitar posibles estrangulamientos.

En el caso de este proyecto, se va a realizar la plantación mediante tutores de bambú ya que presentan un origen natural, flexibilidad, resistencia y bajo coste. Los tutores tendrán las siguientes características:

- Tutores con punta para poder clavarlos bien en el terreno unos 40 cm.
- La altura será de unos 180 cm y el diámetro de 1,5 cm, aproximadamente.

- Se apoyarán en una espaldera de piquetes fuertes clavados en el terreno, que sostienen un alambre alto a 120 cm tensado, al que se sujetan firmemente los tutores de bambú ya mencionados.

La espaldera de apoyo se debe colocar justo después de la plantación para hacer el entutorado lo antes posible para evitar posibles daños en el plantón. Para su formación se utilizan postes metálicos galvanizados como los que se usan en los viñedos.

Los dos tipos de poste de acero galvanizado que se utilizan son los siguientes:

- Los intermedios serán con forma de omega y con ranuras para poder encajar los alambres. Van a ser de una altura de 180 cm y un espesor de 1,5 cm de espesor. Serán clavados en el terreno 40 cm mediante una máquina clavadora que irá acoplada al tractor.
- En el caso de los cabeceros se necesitan postes más fuertes. Se colocarán en el extremo de la espaldera y se clavarán 50 cm con una inclinación de 15°. En este caso la longitud será de 2 metros y el espesor de 2 cm.

Además de lo descrito, se necesitan los siguientes materiales para completar la instalación:

- Alambres de acero galvanizado con un diámetro de 2,1 mm. El alambre será colocado en la espaldera de forma manual a una altura de 1,2 metros. La función de este alambre no es más que la de sujeción de los tutores. Esta sujeción se prolongará durante los primeros años hasta que el tronco del árbol tenga el grosor suficiente.
- Anclajes que deberán ser tipo hélice de 2,2 mm de espesor, también de acero galvanizado. La profundidad a la que se colocarán será de 30 cm y a unos 70 cm del porte del cabecero, al que se unirán por la parte superior a través de los alambres galvanizados mencionados anteriormente.
- Por último, harán falta tensores en los extremos de los alambres para que estén en constante tensión los mismos.

En cuanto a la disposición de la espaldera, deberá ir alineada perfectamente con la fila de árboles además de tener la misma longitud de la fila. El primer y el último olivo de cada fila se ubicará entre el poste cabecero y el anclaje. Esto es para asegurar la protección y facilitar las labores de recolección. El tutor de estos olivos presentará la particularidad de que estará fijado al alambre del anclaje y no al de la espaldera.

Debido a la gran cantidad de roedores que hay en la zona, se ha creído necesario proteger el tronco del olivo, ya que para este tipo de animales resulta muy apetecible este tronco joven. Los protectores de troncos utilizados serán cilindros de diversos materiales, que rodearán el tronco hasta una altura de 50 cm, aproximadamente. Además este protector servirá como barrera ante posibles herbicidas utilizados en los alrededores del olivo en las primeras campañas de la plantación. Aunque no es el propósito para el que se instalan, estos protectores harán frente también al frío.

El protector elegido será el Tubex Envolvente Dc. Es un protector extensible que cuenta con doble capa, que recupera su forma de tubo, cuando se coloca sobre el tronco de la planta. Este tubo, como se ha comentado, protegerá de herbicidas, roedores y rozamientos. Crea además un microclima muy beneficioso para el plantón. Su altura será de 50 cm y tendrá un diámetro de 65 mm que se puede aumentar hasta 85 mm ya que es extensible. El material de este tubo será polipropileno que contará también con un estabilizador de radiación ultravioleta que dará una protección extra al olivo.

5.2.7 Cuidados y operaciones tras la plantación

Una vez la plantación esté completada, será importante vigilar una serie de aspectos. La aparición de plagas y enfermedades puede ser muy perjudicial y hay que intervenir rápido, en caso de que aparezcan. Algunos ejemplos son los ataques de prays, glifoides, acariosis o abichado que pueden resultar graves. Además, se debe controlar que los roedores ataquen a los troncos destruyendo los protectores. El correcto riego de la instalación será un factor clave a tener en cuenta, se debe controlar continuamente la humedad del terreno. También habrá que revisar el entutorado para que el árbol se mantenga recto, sin heridas y que los alambres mantengan su tensión.

Los aspectos relacionados con la poda también han de ser contemplados para que el olivo tome la forma deseada y se mantenga el equilibrio del árbol. En el primer año solo se harán algunos repasos a partir de verano para el desvareto.

El control de las malas hierbas también es muy importante, en caso de que las malas hierbas sean predominantes se tratará mediante un herbicida con especial cuidado de que no le caiga nada al olivo, desarrollando la actividad de aplicación del herbicida con las condiciones de seguridad adecuadas, es decir, sin viento y con una campana en la boquilla de aplicación.

6. PROGRAMA DE VIGILANCIA Y CONTROL AMBIENTAL

Es fundamental, tras todo lo comentado anteriormente, establecer un programa de vigilancia y control ambiental. Los objetivos de este programa son los siguientes:

- Comprobar que los RCD admitidos cumplan con los requisitos de admisión fijados para el uso de los mismos en la rehabilitación minera y que las tareas de ejecución y de relleno se produzca de la forma deseada.
- Garantizar que se cumplan las actuaciones correctoras, preventivas y de restauración que se han planteado en el proyecto.
- Verificar si los resultados que se esperan efectivamente se han cumplido o no. Si fuera necesario, se debe mejorar la efectividad.
- Identificar las acciones que puedan ocasionar daños en el medio ambiente distintos de los que se han previsto. En ese caso se deberían rediseñar y plantear acciones preventivas nuevas y/o correctivas para aplicar nuevas medidas.

Además de lo comentado anteriormente, cabe destacar que el programa de vigilancia y control incluye las siguientes fases:

- Establecimiento de la red de vigilancia. En esta fase se incluirán la localización de los puntos de control así como se especificarán los parámetros que deben ser medidos.
- Obtención de datos preoperativos que se refieran a la situación que había antes de proceder al relleno con RCD.
- Establecimiento del programa de vigilancia y control durante la fase de relleno del hueco.
- Establecimiento de un programa adecuado de mantenimiento, vigilancia y control tanto en la fase de clausura como después de la misma.

Tanto lo comentado anteriormente, como lo que se comenta a continuación, son la bases recogidas en el desarrollo técnico del RD 1481/2001 (Técnico & Relativo, 2003).

6.1 Situación preoperacional. Establecimiento de la red de control

Para ejecutar un plan de vigilancia y control adecuado, tanto en la fase de ejecución, clausura y postclausura, es fundamental establecer la situación inicial del terreno en todos los aspectos, estableciendo los elementos que deberán ser vigilados.

Es necesario tener acceso a una red de control que proporcione datos, al menos de los siguientes aspectos: datos meteorológicos, calidad de las aguas superficiales y subterráneas, y topografía de la zona donde se van a verter los residuos.

6.1.1 Datos meteorológicos

Para la obtención de datos meteorológicos se recurrirá a organismos oficiales y suficientemente reconocidos a nivel nacional como la AEMET. Los datos aportados para Arcos de la Fra. se usarán de referencia dada la proximidad entre el hueco minero y este municipio y que el hueco minero se encuentra en condiciones semejantes de altitud y latitud del mencionado municipio gaditano. Además, no existen accidentes relevantes en el terreno que puedan dar lugar a un comportamiento climático distinto.

Diariamente se obtendrán los siguientes datos en la fase de ejecución:

- Precipitaciones medias y máximas.

- Régimen de temperaturas.
- Humedad.
- Presión atmosférica.
- Insolación.
- Evaporación.
- Vientos dominantes.

Aparte de esto, se deberá realizar un estudio sobre las máximas precipitaciones que se puedan dar en 24 horas para distintos periodos de retorno utilizando el método de Gumbel (Cálculo et al., 2016). Este método es muy utilizado para modelar la distribución del máximo de una serie de datos, es decir, es utilizado para calcular los valores extremos en un determinado periodo de tiempo. Una vez se tienen estos valores se puede calcular la evotranspiración de referencia para lo que se usará el método de Penman-Monteith (Formulaci & De, 1963).

El desarrollo de estos métodos supondría una extensión enorme y no se considera objeto de este proyecto. Simplemente, el presente proyecto trata de dar las bases y los requisitos a realizar para la rehabilitación del hueco minero en cuestión pero del mismo, se originan numerosos subproyectos que no se abordarán con profundidad en el presente documento.

6.1.2 Calidad de las aguas

Es necesario también para una caracterización completa del estado preoperacional, determinar la composición de las aguas subterráneas así como el nivel freático en varios puntos del hueco minero. Esto último ya se ha analizado a lo largo del proyecto determinándose que el nivel freático está a 6 metros de profundidad. Además, es necesario conocer la composición de las aguas superficiales de cauces de ríos o arroyos cercanos que puedan verse afectados con el único objetivo de hacer la comprobación de que su composición no se vea afectada por el desarrollo de la actividad de relleno del hueco minero.

De nuevo, no se entrará en detalle acerca de cómo se realizarán dónde y de qué manera se realizarán estos controles, ya que previsiblemente lo más seguro y rentable sea la subcontratación de una empresa especializada en el tema. Es la manera en la que se procederá en este proyecto aunque durante la fase de explotación que se desarrollará a continuación, se darán más detalle de los diferentes parámetros a controlar con respecto a la calidad de las aguas.

6.2 Programa de vigilancia y control ambiental. Fase de relleno del hueco minero

En la fase de explotación o de relleno del hueco minero, la vigilancia y el control ambiental se centrarán en varios aspectos técnicos y medioambientales propios del proceso de relleno. Algunos de estos aspectos son:

- Admisión de residuos.
- Avance de las operaciones.
- Ruido.
- Polvo.
- Vertidos.
- Riesgos geológicos.
- Aguas.
- Atmósfera.
- Suelo.
- Vegetación.
- Paisaje.

6.2.1 Vigilancia y control de las aguas superficiales y subterráneas

El objetivo de este apartado es comprobar que durante el desarrollo de la fase de relleno, la calidad o la composición de las aguas subterráneas o superficiales, no se verá afectada. Antes del desarrollo del programa de vigilancia para aguas subterráneas y superficiales será necesario proceder al diseño de piezómetros de control en diferentes puntos del terreno, además de localizar los puntos de toma de muestras de aguas superficiales y de lixiviados. Se considerarán los siguientes aspectos:

- **Puntos de muestreo:** se deberán considerar todos los cauces que drenen el vaso de vertido, todas las masas de agua situadas en un radio de 1 000 metros y los puntos de descarga que procedan de las aguas pluviales. Se van a establecer dos puntos de toma de muestras en el caso de las masas de aguas que sean cauces: el primero se deberá situar aguas arriba del hueco y el segundo aguas abajo. Para una mayor precisión y calidad de datos, en el caso del proyecto presente, se estudiarán con detalle a través de la experiencia y sobre el terreno los mejores puntos para situar los ya mencionados puntos de muestreo.

Para el caso de las masas de aguas superficiales aguas abajo solo será necesario un punto de muestreo pero el proyecto no presenta este tipo de masas de agua en un radio de 1 km por lo que no será necesaria ninguna actuación.

En cuanto a los drenes de aguas superficiales, se recomienda tener dos puntos de muestreo distintos. El primer punto de interés será el punto de descarga de la red de aguas pluviales. El segundo punto será el punto de vertido al cauce. De nuevo en este caso se recurrirá a la experiencia y a la observación del terreno para colocar los ya citados puntos de muestreo.

Como se ha comentado en apartados anteriores, se está pendiente de saber si la red de control de lixiviados será o no de aplicación en este proyecto. Dependerá de lo que dicten las autoridades competentes. En cualquier caso, en este documento se ha diseñado, y en caso que hiciese falta, esta deberá tener dos puntos de control. En caso de existir, las balsas de almacenamiento serán utilizadas como puntos para el muestreo ya que es claramente el lugar más apropiado para realizar las mediciones.

- **Parámetros analíticos:** el análisis de la composición de las aguas, es fundamental. El motivo de la obligatoriedad de la realización del mismo es que se deberá comprobar que la composición de las aguas no varía con la implantación del vertedero de inertes como ya se ha comentado con anterioridad.

Los parámetros característicos que deberán ser medidos serán: pH, conductividad eléctrica, porcentaje de sólidos en suspensión, temperatura del agua, grado de turbidez, demanda química de oxígeno (más conocida como DQO), posibles aceites y grasas presentes en el agua, amonio y sulfatos. El caudal al que afecten estos parámetros será fundamental determinarlo debido a que existen una serie de umbrales a cumplir en cuanto a vertidos al Dominio Público Hidráulico.

Anteriormente se han nombrado los parámetros fundamentales para los que se deben realizar mediciones. Sin embargo, existen otros aspectos que conviene controlar en cuanto a la composición de las aguas, como la posible presencia de cobre, arsénico, níquel, plomo, etc.

- **Periodicidad:** en base a las recomendaciones expuestas por la Guía de Rehabilitación de huecos mineros mediante RCD (Residuos, n.d.), se establecen los siguientes periodos de control de parámetros en lo referente a las aguas superficiales y subterráneas.
 - El caudal de aguas superficiales se medirá en los puntos cercanos al vertedero, de aguas superficiales. La periodicidad de estas mediciones será trimestral, intensificándose las mismas en caso de detección de fuertes aumentos de caudal.
 - El nivel de lixiviados, en caso de que la autoridad competente finalmente considere necesaria la balsa de lixiviados se medirá con una periodicidad mensual, de nuevo aumentando la misma si los niveles de lixiviados se disparan.
 - Las medidas de la profundidad de las aguas subterráneas, es decir, del nivel freático, se realizará trimestralmente.
 - Tanto la composición de las aguas superficiales como las subterráneas se realizarán

trimestralmente. Una vez hayan pasado 5 años después del cierre del vertedero de residuos inertes, esta periodicidad podrá aumentarse hasta el doble, es decir, 6 meses.

- **Toma de muestras:** la normativa que se usará tanto para la toma de muestras como para su preservación, será la UNE-EN 25667-2 en su apartado de “Calidad del Agua”, concretamente en la parte 2 que se denomina “Guía para las técnicas de muestreo” (ICONTEC, 1996). También se usará la norma UNE-EN ISO 5667-3 que se titula “Calidad del Agua. Muestreo” pero en su parte 3, “Guía para la conservación y manipulación de las muestras de agua” (Para et al., 2016).

Es fundamental que se etiqueten y se identifiquen las muestras llevando un control exhaustivo de las mismas indicando un código identificativo del punto donde se haya realizado el muestreo, además de la fecha de muestreo. También se deberá indicar brevemente el motivo por el que se recoge la muestra en una ficha adjunta, así como las condiciones en las que se ha tomado la muestra: temperatura, caudal, climatología, o cualquier aspecto o incidencia destacable durante el desarrollo de la toma de la muestra.

Por último, estas muestras serán llevadas a laboratorio para su análisis. Una vez el laboratorio haya analizado las muestras, deberá emitir un informe detallando específicamente la información que se ha solicitado. Cuando esto suceda, el responsable del vertedero deberá dar su conformidad o no a los resultados obtenidos. En caso de una valoración negativa, se deberán repetir los análisis con otra muestra a la mayor brevedad posible. En caso de que la valoración sea positiva, se continuará con la actividad normal de la planta.

- **Niveles de alarma:** se considerará que se está en nivel de alarma si se alcanzan valores del 90% de los valores umbrales que se determinan en la normativa anteriormente mencionada. En caso de que estos valores se superen durante el proceso de vertido de RCD se deberá suspender temporalmente la actividad hasta que se resuelva el problema existente previa comunicación a la autoridad ambiental competente para que así se tomen las medidas oportunas y específicas para cada caso.

6.2.2 Vigilancia de la red de drenaje de aguas superficiales y de evacuación de lixiviados

El estado en el que se encuentre la red de drenaje es fundamental para asegurar la operatividad del vertedero en condiciones óptimas. La inspección visual de toda la red de drenaje que se haya instalado se deberá hacer con el objetivo de detectar posibles obstrucciones o elementos que impidan el correcto funcionamiento para el que se ha diseñado. En cuanto a los conductos de drenaje de lixiviados que estén enterrados, su correcto funcionamiento se inspeccionará de manera visual también observando que, efectivamente, sale el caudal estimado para cada uno de los conductos. De todos modos, destacar que estos conductos serán diseñados con mucha precaución y con niveles de seguridad máximos ya que la rotura de alguno supondría unos costes muy elevados para el arreglo de la avería.

Cuando se produzcan precipitaciones abundantes o periodos de fuertes vientos, es especialmente importante, llevar a cabo la inspección visual de la red de drenaje. Se debe cuidar también que no aparezcan escorrentías no deseadas que puedan dañar el terreno donde se implanta el olivar. Además, la limpieza de todo el terreno será fundamental, con especial atención a los restos de material que puedan caerse desde los camiones de descargas a lugares indeseados.

En el olivar que se instale no se podrán formar charcos indeseados, sino que la red de drenaje instalada debe poder evacuar el agua de dicha plantación.

6.2.3 Calidad atmosférica: polvo y ruido

A diferencia de otros aspectos comentados anteriormente, los parámetros de polvo y ruido, solo serán controlados durante la fase de ejecución del proyecto. El objetivo más importante del programa ambiental en este aspecto es proteger la salud y la seguridad de los trabajadores, así como la de los habitantes cercanos a la explotación minera. Tras la plantación de olivar y acabado de las labores, no tendría sentido controlar estos niveles ya que serán prácticamente nulos. Precisamente, ese es uno de los objetivos fundamentales del proyecto; devolver al terreno su aspecto natural de antes de la ejecución de las tareas de extracción y que lo único que se escuchen sean los sonidos propios de la naturaleza. A continuación se detallan cada uno de los parámetros comentados anteriormente:

- **Vigilancia y control de las emisiones de polvo**

Las medidas que se usarán para reducir las posibles emisiones de polvo que se puedan generar durante el relleno del hueco minero son:

- Riego de pistas activas y zonas de carga.
- Instalación de lavarruedas en la zona de salida de vehículos.

Los umbrales de niveles de material en partículas serán los que se establecen en la legislación andaluza vigente en esta materia, en concreto el Decreto 239/2011 del 12 de julio (Peixinho & Santrock, 2011). Específicamente, se tomará como nivel de alarma, un 90% de estos valores.

Dado que el relleno del hueco se prolongará previsiblemente en el tiempo, la inmisión de partículas se va a realizar por el método de referencia para el muestreo y análisis PM10 que se ha definido en el RD 102/2011 del 28 de enero, que trata todo lo relativo a la calidad del aire (Gobierno de España, 2011).

- **Vigilancia y control de ruido**

De nuevo destacar que el ruido no será un factor clave a controlar en el vertedero de residuos inertes del presente proyecto. Además de solo realizarse un control durante la etapa de ejecución, la maquinaria que se utilizará generará ruido, pero no se prevé que se excedan los límites establecidos por la autoridad competente en ningún momento.

La normativa que regula estos aspectos es el RD 1367/2007 del 19 de octubre (Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio ambiente, 2008) por el cual se desarrolla la Ley 37/2003, del 17 de noviembre (Juan Carlos I, 2003), que trata todo lo referente al ruido: zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

Antes y después del desarrollo del proyecto de relleno el nivel de ruido se considerará casi nulo ya que solo se oirán ruidos propios de la naturaleza. En el presente proyecto, se ha establecido la realización de una sonometría anual mientras se estén realizando las labores de relleno, para efectivamente comprobar que no se excedan los umbrales por la normativa que se ha citado anteriormente.

Cuando se mida el nivel de ruido se deberán anotar también aspectos como parte de la ficha técnica que se deberá elaborar: fecha, hora, lugar exacto de medida, velocidad y dirección del viento, humedad y temperatura. Por otra parte, también es importante que el aparato esté situado a 1,5 metros de altura sobre el suelo, que haya mínimo 3,5 metros de distancia entre el aparato y cualquier objeto que pueda ocasionar la distorsión de la señal recibida.

En cada punto donde se quiera medir, se deberán tomar 5 muestras de 1 minuto. Es decir, cuando se habla de medición es precisamente estas 5 muestras. El tiempo que ha de transcurrir entre cada una de las muestras será de 5 minutos. Cabe destacar que estas muestras se realizarán siempre que la meteorología lo permita, es decir, en un día lluvioso o de fuerte viento, no se podrán realizar dichas mediciones ya que alterarán fuertemente los niveles de ruido.

La técnica de medida se describe a continuación:

1. Se realiza la primera medición en los puntos que se hayan determinado en momentos en que no haya actividad.
2. Las dos siguientes mediciones se realizan cuando haya actividad se realizarán con un intervalo de dos horas y es imprescindible que sea en plena actividad.
3. La cuarta medición se realizará en periodo de descanso o comida del personal.
4. La quinta y sexta medición de nuevo se realizarán mientras se esté desarrollando la actividad de relleno.
5. Por último, se deberá realizar una séptima medición cuando se finalice la jornada de trabajo.

6.2.4 Gestión de residuos

Durante las operaciones de relleno, se producirán una serie de residuos que se deben controlar debido a que serán perjudiciales para el medio ambiente, en concreto para el olivar que se va a plantar. Los residuos más habituales que pueden aparecer son: tierras que pueden estar contaminadas por posibles derrames accidentales de aceites u otros líquidos, envases que hayan servido como recipiente de sustancias peligrosas o tóxicas, trapos impregnados de líquidos corrosivos, restos de neumáticos o plásticos, restos metálicos que puedan venir con los residuos y sean rechazados, etc.

Todo este tipo de residuos, se deberán tratar como basura y deberán llevarse a los contenedores adecuados. Estos contenedores se ha decidido que estén a la entrada del hueco minero para así facilitar las tareas de recogida de este tipo de residuos.

6.2.5 Control de la estructura de relleno de RCD

Al mismo tiempo que se rellena el hueco minero se deberán instalar estaquillas lo suficientemente visibles para delimitar el terreno durante la ejecución del relleno.

Se debe hacer una descripción del relleno, que debe incluir los siguientes parámetros: la superficie que ocupan los residuos, así como su peso en toneladas que se hará la comprobación a continuación, el volumen de residuos que se aloja en el hueco y su composición.

A lo largo del proyecto, se han ido detallando todos estos aspectos, no obstante, será positivo llevar un control de los comentados anteriormente. Se deberán realizar también comprobaciones en cuanto al grado de compactación que alcanzan los RCD vertidos. Este grado de compactación será de al menos el 95% de la densidad del Proctor normal medido en laboratorio para los materiales de los residuos.

Cada mes se harán fotografías para observar cómo evoluciona el relleno, así como verificar visualmente que se están cumpliendo las medidas de control, así como asegurar la calidad y limpieza de los residuos que se depositan.

A continuación se realiza un cálculo de cuánto peso puede soportar el terreno entendiendo las condiciones menos favorables posibles para estar en el lado de la seguridad. Esto significará que el punto donde se va a alcanzar una mayor altura de los residuos, tuviera una resistencia a la compresión que fuera la mínima del material que está compuesta la cantera. Se tratarán los datos suponiendo un metro cuadrado de superficie. Se tienen los siguientes datos:

- Resistencia menos favorable existente a la compresión: 23,54 MPa
- Altura máxima del punto de la cantera rellenable con residuos RCD: 35 m
- Peso de 1 m³ del material más pesado de residuo que será hormigón: 2 400 kg

Con estos datos se realizan las siguientes operaciones:

$$\text{Volumen ficticio: } 35 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso en un metro cuadrado: } 2.400 * 35 = 84\ 000 \text{ kg/m}^2 = 8,24 \text{ MPa}$$

$$\text{Resistencia a la compresión del suelo} = 23,54 \text{ MPa}$$

$$8,24 \ll 23,54$$

Con estos datos se concluye que el terreno en cuestión está asegurado frente a esfuerzos de compresión. No obstante, mediante la entrada de camiones y el depósito de los mismos se llevará un control exhaustivo del peso que hay en cada momento sobre el hueco minero.

A lo comentado anteriormente hay que añadir el peso de la tierra vegetal y los olivos que se van a implantar. Al ser el cálculo por metro cuadrado, esta masa será despreciable ante la diferencia tan amplia que se ha observado en los cálculos expuestos anteriormente.

6.2.6 Estabilidad e integridad del relleno con RCD y de la capa de impermeabilización

Tanto el terreno como el hueco minero, deben comportarse como una estructura estable y que, por supuesto, garantice la durabilidad a lo largo del tiempo. La estabilidad tanto interna, de los sistemas de impermeabilización y capas que forman el sellado y la del conjunto que forman terreno-relleno deberá ser analizada, por lo que se propone la evaluación de los siguientes aspectos:

- Resistencia al corte que tienen los residuos.
- Obtener información de la velocidad a la que van las labores de relleno. Esto es controlar el ritmo de relleno.
- La resistencia al deslizamiento entre los materiales geosintéticos empleados y entre los propios geosintéticos y el terreno. Esto se realizará a través ensayos con los geosintéticos que se utilizan en el vertedero.
- La capacidad que el vertedero tenga de drenar, debe ser vigilada también en función de su nivel de carga.

Para controlar la estabilidad se consideran 10 puntos de medida. Aquellos puntos en los que la altura del talud sea mayor de 24 metros, se deberán realizar dos secciones de control (la primera en la zona de pie y la segunda en la zona de coronación). A continuación se detallan algunos aspectos a tener en cuenta para el correcto desarrollo del control de estabilidad:

- El control de asentamientos, así como de subsidencias, se llevará a cabo cada 6 meses.
- El control de los posibles movimientos horizontales también se realizará con una periodicidad semestral.
- Mensualmente, se realizarán reconocimientos visuales para evaluar posibles grietas, además de hundimientos y erosiones que se puedan producir en el terreno.
- Anualmente, se realizarán levantamientos topográficos, además de vigilar la composición de los residuos del hueco minero.

6.2.7 Señalización y cerramientos

La señalización a lo largo de todo el terreno donde se instala el vertedero, será fundamental para el correcto desarrollo de las acciones de relleno. El terreno del hueco deberá estar vallado para impedir el acceso al mismo.

En cuanto a la periodicidad de las revisiones en este sentido, no estarán fijadas como los procedimientos que se han descrito anteriormente. Simplemente será un asunto que se deberá cumplir diariamente. El control de acceso al terreno donde se va a instalar el vertedero, deberá ser controlado por una barrera de seguridad, así como de una persona que solo permitirá el acceso a los vehículos autorizados.

6.3 Programa de vigilancia y control ambiental. Fase de clausura y postclausura

6.3.1 Programa de mantenimiento

Después de todo lo comentado anteriormente, será necesario instaurar un plan de mantenimiento para asegurar el cumplimiento de las medidas que se han implantado, para corregir o arreglar posibles desperfectos constructivos o para comprobar que se llevan a cabo de manera óptima las metodologías propuestas.

El mantenimiento se aplicará a las fases de clausura y postclausura, es decir, sobre todo a la capa de sellado y al olivar que se va a implantar en la superficie del vertedero de inertes. Todos los elementos que son objeto de atención común entre las fases de relleno y clausura, seguirán siendo vigilados, aunque quizás pueda variar su periodicidad.

La administración competente, en este caso la Junta de Andalucía, debe fijar el plazo para esta fase de mantenimiento pero en este proyecto durará un mínimo de tres años.

Para empezar las capas de clausura y sellado, es necesario comprobar si existen asentamientos o movimientos que se

puedan ver a simple vista. Tener la previsión de realizar más rellenos antes de proceder al sellado también es fundamental si se observan asentamientos o grietas. En casos más graves de asentamientos o grietas, se deberá reconstruir la estructura del relleno para recuperar la funcionalidad de todas las capas, incluidas las capas de impermeabilización y drenaje.

La erosión también es un factor que debe ser comprobado antes de la capa del sellado y así se ha tenido en cuenta en la propuesta de plan de vigilancia en las etapas de relleno, pero también deben tenerse en cuenta en las etapas de clausura y postclausura ya que el terreno pasará un breve periodo de tiempo sin vegetación. Cabe destacar que los posibles procesos erosivos que puedan presentarse se verán muy reducidos cuando se implante el olivar en el terreno.

El estado de los canales y drenajes es un aspecto muy a tener en cuenta en esta etapa de clausura y postclausura. Cuando se produzcan fuertes precipitaciones o condiciones meteorológicas adversas estos deben ser revisados además de contar con su periodicidad correspondiente. Estas revisiones se considerarán revisiones extra.

Cuando se realiza la última operación antes de establecer la plantación del olivar, es conveniente comprobar cuáles son los parámetros edáficos que se han tenido en cuenta para diseñar las capas superficiales del nuevo suelo. Con este propósito se realizarán muestras de diferentes partes del terreno. Los criterios para elegir los puntos de muestro pueden ser variables, pero las recomendaciones son escoger puntos que tengan diferentes pendientes, color o aspecto, posición en cuanto a los drenajes, resistencia a la compresión, etc.

En cuanto a los cuidados del olivar, ya se han descrito en el apartado de plantación del olivar, como se deberá actuar los primeros años y los cuidados necesarios, pero a continuación se describen algunos aspectos fundamentales que se deben tener en cuenta a la hora de asegurar un buen mantenimiento de dicha plantación de olivar:

1. Se deberán continuar con los planes de control de la erosión ya que esta, afecta fuertemente a la calidad del suelo. Con la erosión el suelo pierde materia orgánica y nutrientes básicos para el olivo. El control de escorrentías también va de la mano al control de la erosión por lo que se debe controlar los canales y zanjas para las precipitaciones.
2. La técnica de manejo del suelo que se llevará a cabo en el proyecto será la de no laboreo y control del suelo mediante herbicidas. Esta técnica tiene sus ventajas y sus inconvenientes. La principal ventaja que presenta es que no se necesita ejecutar acciones de laboreo con tractores o maquinaria específica sino que el terreno se tratará con herbicidas para controlar las hierbas no deseadas que puedan crecer en los alrededores de los olivos. El inconveniente principal de esta técnica es que, al usar herbicidas, hay que tener especial cuidado de no dañar los olivos. Como se ha comentado en el apartado de plantación de olivar, no se podrán efectuar las labores de arrojado de herbicidas en días de fuertes vientos.
3. Se deberán efectuar también labores de poda. La poda es fundamental para conseguir el equilibrio entre las funciones vegetativa y reproductiva del olivo para conseguir una máxima producción y alargar la vida del árbol. La poda no es igual siempre, depende fundamentalmente de la edad del olivo. Cuando el olivo es joven y está en periodo de formación, y todavía no es productivo, la poda se debe realizar con poca intensidad para que el volumen no se disminuya en exceso y se pueda llegar al porte deseado del árbol. Ya en el periodo adulto se debe realizar la poda de producción, y en el periodo de vejez del árbol se deben realizar podas fuertes pero que estén espaciadas por un largo periodo de tiempo para así permitir que el olivo se vaya reconstruyendo. Estas podas se denominan podas de renovación y podas de rejuvenecimiento.
4. Por último, el sistema de riego también requerirá un mantenimiento. Se deberán revisar tuberías así como cumplir con los requisitos de mantenimiento propios de las bombas, depósitos y demás equipos que se instalen en el sistema de riego.

Todo lo comentado a lo largo del presente apartado del proyecto, queda resumido en la tabla 14, donde se ha resumido las labores de control y vigilancia a realizar en cada una de las fases, así como la periodicidad con la que se deben llevar a cabo.

Factor de vigilancia y control	Acción	Frecuencia Fase Explotación	Frecuencia Fase clausura
Emisiones de polvo y ruido	Análisis de PM10	Según legislación	
	Medida del nivel sonoro continuo	Según legislación	
Calidad aguas superficiales y subterráneas	Medida de caudal de aguas sup.	Trimestral	Semestral
	Cuantificación volumen lixiviados	Mensual	Semestral
	Medida del nivel freático	Trimestral	Semestral
	Composición aguas y lixiviados	Trimestral	Semestral
Drenaje aguas superficiales y lixiviados	Inspecciones visuales	Mensual	Mensual
Estructura del relleno RCD	Control topográfico taludes	Mensual	
	Descripción del relleno	Semestral	
	Control de compactación	Semestral	
	Capacidad restante del depósito	Semestral	
	Fotografías del relleno	Semestral	
Estabilidad de residuos y capa impermeabilización	Control asientos y subsidencias	Trimestral	Semestral
	Control movimientos horizontales	Semestral	Semestral
	Grietas, hundimientos o erosión	Mensual	Trimestral
	Levantamiento topográfico	Anual	
Señalización y cerramientos	Comprobación de señalización	Mensual	
	Estado del cerramiento	Mensual	
	Control de acceso	Continuo	

Tabla 14: Plan de vigilancia y control

7. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

En este apartado del proyecto, se tratarán aspectos fundamentales para todo proyecto ingenieril, como son los de seguridad y salud de las personas. La responsabilidad social se ha considerado como clave para el desarrollo exitoso del proyecto. Por tanto, la seguridad y salud se considera como parte integrada de las actividades a desarrollar en la restauración del hueco minero.

7.1 Prevención de riesgos laborales

Con objeto de desarrollar una cultura preventiva adecuada, se subcontratará una empresa de servicios preventivos. Mediante la contratación de la misma, se establecen los siguientes compromisos:

- Garantizar el cumplimiento de la legislación a todos los niveles en materia de Seguridad y Salud Ocupacional.
- Gestionar la Seguridad y Salud utilizando los sistemas de gestión apropiados.
- Establecer el análisis de los datos e indicadores de Seguridad y Salud que se puedan generar por toda la actividad descrita en el presente proyecto.
- Mejora continua del rendimiento en Seguridad y Salud.
- Proporcionar los medios adecuados y suficientes a los trabajadores en materia de Seguridad y Salud.

Tal y como se ha comentado anteriormente, los servicios de prevención se subcontratarán, por ello, en el presente proyecto no se entrará en detalle de todos los aspectos y medidas que se van a llevar a cabo, simplemente se quiere remarcar la cultura preventiva y el compromiso social que existe.

Para elegir a la empresa de servicios de prevención, se valorarán múltiples aspectos y se abogará porque dentro de la empresa que se elija se apliquen los principios fundamentales del artículo de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (Boletín Oficial del Estado, 2007), que se nombran a continuación:

1. Evitar los riesgos.
2. Evaluar los riesgos que no se pueden evitar.
3. Combatir los riesgos en su origen.
4. Adaptar el trabajo a la persona.
5. Tener en cuenta la evolución de la técnica.
6. Sustituir lo peligroso por lo que entrañe poco o ningún peligro.
7. Planificar la prevención, de tal manera que se encuentre un punto de equilibrio entre la organización del trabajo, las condiciones de trabajo, las relaciones sociales y la influencia de los factores sociales en el trabajo.
8. Adoptar medidas colectivas antes que las individuales.
9. Dar las debidas instrucciones a los trabajadores.

Lo referente a la evaluación de riesgos y las medidas preventivas a implantar será competencia de la empresa que se subcontratará, así como la elaboración de los planes de emergencia necesarios, y deberá nombrarse un coordinador por parte de la empresa externa para que esté en contacto con la dirección facultativa del proyecto, que será la encargada de coordinar todas las acciones del proyecto, incluidas las relacionadas con la prevención.

7.2 Descripción de los puestos de trabajo

Antes de continuar con el estudio, se considera importante describir cada uno de los puestos de trabajo que se van a crear mediante la restauración del hueco minero y posterior rehabilitación del terreno mediante una plantación de olivar.

Los puestos de trabajo se detallan a continuación:

- **Director facultativo (ingeniero, ingeniero técnico):** tiene a su cargo todo el personal y simplemente se encarga de que se cumplan las especificaciones en el proyecto. Será el responsable del proceso de restauración del hueco minero. Realiza la inspección y el control de las tareas de todo el hueco minero.

También será competencia del director facultativo la organización de los trabajos y del personal. Además, toda la documentación y los trámites administrativos necesarios relacionados con el proyecto.

Será el máximo responsable de las emergencias que se puedan producir durante el desarrollo del proyecto y coordinará las acciones preventivas necesarias que sean comunicadas mediante el delegado de prevención de la empresa subcontratada.
- **Encargado:** será la persona que se encargue de registrar la entrada y salida de camiones, la masa de residuos que trae cada camión, así como de evaluar el contenido de cada camión. Se encargará de todo el proceso de control y admisión de residuos. Por tanto, tendrá la potestad para prohibir el vertido de ciertos camiones que traigan plásticos u otro tipo de desperdicios que no hayan sido calificados como admisibles a lo largo de este proyecto.
- **Palistas pala cargadora y/o retrista, perforista:** deben de disponer de la autorización correspondiente para el manejo de este tipo de maquinaria. Serán los responsables de cargar los escombros y depositarlos de manera adecuada en el vertedero y acorde a las órdenes del director facultativo.
- **Tractorista:** será el responsable de la recolecta de aceitunas mediante la maquinaria adecuada una vez el olivar tenga dos o tres años de edad. Deberá contar con los permisos necesarios para tal tarea.
- **Camioneros:** en el proceso de recogida de aceitunas también se contratarán servicios de transporte de la misma.

Cabe destacar que la formación en materia de riesgos laborales de cada trabajador también correrá a cargo de la empresa subcontratada. La dirección facultativa solo deberá verificar que el trabajador verdaderamente tiene acreditada la formación exigida por ley para el desarrollo de la actividad que va a desempeñar y chequear el continuo uso de las medidas preventivas que se proponen.

Por tanto, de acuerdo con el artículo 19 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (Boletín Oficial del Estado, 2007), se garantizará que cada trabajador recibirá la formación suficiente y adecuada según sea su puesto de trabajo, tanto en el momento de la contratación, como si se producen cambios sustanciales en sus actividades.

Cada año la empresa encargada de los servicios de prevención, deberá elaborar el programa de formación profesional, suscribiendo las tareas que se repitan en el mismo año y añadiendo posibles nuevos métodos de trabajo, herramientas o equipos que deban ser analizados.

La formación en materia de riesgos laborales, se dirigirá al conjunto de los trabajadores, incluyéndose en ella aspectos como:

- Protección contra incendios.
- Primeros auxilios.
- Riesgos eléctricos.
- Ergonomía.
- Equipos de protección individual.
- Equipos de trabajo.

- Riesgos específicos.
- Señalización.
- Normativa y órganos de representación.

Como ya ha sido comentado con anterioridad, se debe garantizar que cada trabajador reciba la formación acorde con su puesto de trabajo. Dicha formación deberá tener un formato teórico-práctico y deberá recibirse de nuevo si cambian las tareas que el trabajador desempeña o se introduzcan nuevas tecnologías o equipos de trabajo. La formación deberá también estar adaptada a la evolución de los riesgos.

Destacar que se debe elaborar un informe de registro donde quede archivada la formación recibida por cada trabajador y será un documento a presentar para el inicio de las obras de restauración del hueco minero de este proyecto.

7.3 Vigilancia de la salud

En concordancia con el artículo 22 de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales (Boletín Oficial del Estado, 2007), se le garantiza a los trabajadores la completa vigilancia del estado de salud de los mismos, controlando así los riesgos a los que están sometidos por la realización de su trabajo.

Con carácter confidencial, siempre se llevará a cabo un reconocimiento médico por parte de la empresa encargada del servicio de prevención, antes de la incorporación del trabajador a su puesto. El servicio médico de dicha empresa lo archivará y lo tendrá en cuenta para posibles controles rutinarios que se le puedan hacer durante el desarrollo del trabajo, de los cuales se establecerá la periodicidad de los mismos en función de la normativa vigente para cada puesto de trabajo. El propio servicio médico elaborará un plan de reconocimientos anuales que tendrá en cuenta factores como: características del trabajador, riesgos higiénicos del lugar, procedimientos de trabajo, condiciones ergonómicas del puesto, etc. Cabe destacar que el propio trabajador podrá solicitar este reconocimiento médico por causas justificadas.

A la empresa subcontratada se le exigirá por tanto una serie de condicionantes clave para elaborar un buen plan de vigilancia de la salud, que se nombran a continuación:

- En primer lugar, deberá contar con profesionales sanitarios con competencia técnica, formación y capacidad acreditada, para llevar a cabo las funciones descritas anteriormente.
- El personal sanitario mencionado, deberá conocer los puestos de trabajo de cada trabajador y los riesgos a los que está sometido.
- Se deben respetar en todo momento los derechos de intimidad en lo que al estado de salud respecta. Los datos serán confidenciales.
- Los datos se comunicará exclusivamente a los trabajadores.
- Se informará, por parte del responsable de la empresa subcontratada, de la aptitud o no de los trabajadores.
- En ningún momento, estos datos se usarán en perjuicio de los trabajadores.

En la parte A del Anexo del RD 1389/97 (Ministerio de Industria y Energía, 1997), se establecen todas las medidas exigidas en los puntos anteriores.

Se deberán llevar a cabo funciones de vigilancia también en los puestos de trabajo. Estas funciones deben ser comunicadas a la dirección facultativa por parte del delegado de prevención nombrado por la empresa que se ha subcontratado para los servicios de prevención. Algunos ejemplos de las actuaciones a realizar, se detallan a continuación:

- Supervisión de los equipos e implantación de medidas de seguridad.
- Seguimiento y control de las condiciones ambientales de trabajo.
- Supervisión y control de cada una de las labores que se realicen.
- Supervisión de las labores de mantenimiento, aunque esto si será propio de la dirección facultativa.

- Supervisión, control, desarrollo e implantación de las medidas preventivas propuestas por el servicio de prevención.
- Consideración de trabajos especiales, fuera de lo común y que necesiten medidas preventivas concretas.
- Como ya se ha explicado en apartados anteriores, se deberá dar formación a los trabajadores de nueva incorporación.

Se entiende que, a pesar de toda la seguridad que se quiera implantar para el correcto desarrollo del proyecto, siempre habrá riesgos intrínsecos a la propia actividad que se describe en el proyecto. Por tanto, por parte de la dirección facultativa del proyecto, se valorará el trabajo de la empresa de los servicios de prevención, mediante el porcentaje de reducción esperado de estos riesgos, en función de las medidas preventivas que se adopten. Por tanto, destacar que las medidas preventivas que se adopten irán en concordancia con los puntos que se exponen a continuación:

- Formación de carácter teórico-práctico de cada uno de los puestos de trabajo que se tengan en cuenta en la evaluación de riesgos.
- Información a los trabajadores de los procedimientos de trabajo, normas internas existentes, de los cuales se deberá hacer entrega a un manual a cada trabajador que deberá cumplimentar y firmar asumiendo que conoce toda la metodología y que ha recibido la formación adecuada para el desarrollo de su trabajo.
- Cada vez que el propio trabajador, u otra persona, perciba una situación de riesgo que no ha sido contemplada, se deberá incluir en la evaluación de riesgos, incluyendo sus medidas preventivas correspondientes. Si así se considera oportuno, se establecerán nuevos protocolos de seguridad.

Por último, en cuanto a materia de accidentes, cabe destacar que de cada accidente se levanta un registro que se archiva y se elaboran estadísticas según la naturaleza, la causa, el puesto de trabajo, las condiciones ambientales, la edad del trabajador, etc.

Estas estadísticas pueden llegar a ser muy útiles para la mejora continua de las medidas preventivas a implantar, asegurando el correcto desarrollo del plan de prevención preparado por la empresa subcontratada de los servicios de prevención.

Se valorarán índices de incidencia, de frecuencia, de gravedad o de duración media de las bajas.

8. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

En este apartado del proyecto, se valorarán los aspectos económicos del proyecto. En un primer momento se evalúa el presupuesto del proyecto. Es decir, cuánto costaría la realización del proyecto. En segundo lugar, se realiza el análisis de rentabilidad teniendo en cuenta los ingresos previstos del proyecto distinguiendo entre las fases de operación y postoperación. En cuanto a los costes incurridos en el proyecto, también se distinguirán entre costes fijos de inversión inicial que se darán solo una vez a lo largo del proyecto, y costes de operación que se desarrollarán a lo largo de todo el proyecto, aunque también habrá que distinguir entre las distintas fases del mismo, ya que la fase de postoperación los trabajos a llevar a cabo irán encaminados a la plantación y cuidado del olivar, así como se deberán tener en cuenta las tareas de recolección.

Cabe destacar que será un cálculo estimado del presupuesto y se ajustará lo máximo posible a la realidad, pero es imposible tener la certeza que todo lo presupuestado y analizado será así finalmente ya que se han hecho suposiciones o estimaciones que pueden presentar variaciones en la realidad. Sin embargo, se espera que estas variaciones no sean muy pronunciadas y que el proyecto se ajuste a todo lo analizado en los siguientes puntos.

8.1 Presupuesto fase de operación

8.1.1 Costes de inversión

En primer lugar, se detallarán los costes de inversión del proyecto en la fase de operación, que supondrán el mayor gasto económico a desembolsar por parte del promotor del proyecto.

	Objeto	Precio (€)
Maquinaria	Báscula de camiones	5 000
	Barrera de entrada	1 850
	Buldócer	240 000
	Retroexcavadora	120 000
Acondicionamiento del terreno	Vallado perimetral	10 000
	Geomembrana	90 000
	Capa de arcilla	100 000
	Tuberías para drenaje	2 000
	Limpieza	1 000

Construcciones	Garita	3 000
	Acondicionamiento de la garita	1 000
TOTAL (€)		573 850

Tabla 15: Costes de inversión en la fase de operación.

8.1.2 Costes anuales

A continuación se exponen los costes anuales que se tendrán debido al desarrollo del proyecto. Básicamente, los costes serán los derivados del mantenimiento y coste de combustible de maquinaria, costes de personal y costes de subcontrata de servicios de seguridad y prevención.

	Descripción	Coste Anual (€)
Personal	Vigilante	25 000
	Trabajador maquinaria 1	25 000
	Trabajador maquinaria 2	25 000
Asesoría fiscal y laboral		3 000
Servicio Prevención		12 000
Maquinaria	Combustible 1	21 000
	Combustible 2	21 000
	Mantenimiento 1	1 000
	Mantenimiento 2	1 000
TOTAL (€)		134 000

Tabla 16: Costes anuales costes de operación.

8.2 Análisis de rentabilidad fase de operación

8.2.1 Ingresos

Los ingresos vendrán dados por el vertido de los RCD por parte de los camiones. El precio será de 6 €/m³ el primer año y experimentará una subida de 20 céntimos a medida que avanzan los años. Se ha hecho una estimación para la realización de los cálculos y para calcular el beneficio anual. Dicha estimación consiste en asegurar que cada camión que llegue, tendrá de media 6 m³ y que llegarán un número progresivo de camiones cada año. Se supone también un periodo de trabajo de 300 días al año. Parece un número razonable, ya que aunque al principio el lugar no será conocido, a medida que pasan los años se prevé un crecimiento de ritmo de entrada de camiones.

En un primer momento se calcula el proyecto para una duración de 10 años. Se calculará si es rentable o no el

proyecto para este número de años

Por tanto, el beneficio anual quedaría de la siguiente forma:

$$\text{AÑO 1 } B = 6 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} * 6 \frac{\text{m}^3}{\text{Camión}} * 15 \frac{\text{camiones}}{\text{día}} * 300 \text{ días} = 162\,000 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

$$\text{AÑO 2 } B = 6,2 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} * 6 \frac{\text{m}^3}{\text{Camión}} * 18 \frac{\text{camiones}}{\text{día}} * 300 \text{ días} = 200\,880 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

$$\text{AÑO 3 } B = 6,4 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} * 6 \frac{\text{m}^3}{\text{Camión}} * 21 \frac{\text{camiones}}{\text{día}} * 300 \text{ días} = 241\,920 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

$$\text{AÑO 4 } B = 6,6 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} * 6 \frac{\text{m}^3}{\text{Camión}} * 24 \frac{\text{camiones}}{\text{día}} * 300 \text{ días} = 285\,120 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

$$\text{AÑO 5 } B = 6,8 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} * 6 \frac{\text{m}^3}{\text{Camión}} * 26 \frac{\text{camiones}}{\text{día}} * 300 \text{ días} = 318\,240 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

$$\text{AÑO 6 } B = 7 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} * 6 \frac{\text{m}^3}{\text{Camión}} * 28 \frac{\text{camiones}}{\text{día}} * 300 \text{ días} = 352\,800 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

$$\text{AÑO 7 } B = 7,2 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} * 6 \frac{\text{m}^3}{\text{Camión}} * 30 \frac{\text{camiones}}{\text{día}} * 300 \text{ días} = 388\,800 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

$$\text{AÑO 8 } B = 7,4 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} * 6 \frac{\text{m}^3}{\text{Camión}} * 32 \frac{\text{camiones}}{\text{día}} * 300 \text{ días} = 426\,240 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

$$\text{AÑO 9 } B = 7,6 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} * 6 \frac{\text{m}^3}{\text{Camión}} * 33 \frac{\text{camiones}}{\text{día}} * 300 \text{ días} = 451\,440 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

$$\text{AÑO 10 } B = 7,8 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} * 6 \frac{\text{m}^3}{\text{Camión}} * 33 \frac{\text{camiones}}{\text{día}} * 300 \text{ días} = 463\,320 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Con estos cálculos se procede a comprobar si se ha rellenado el hueco minero en los 10 años en los que está prevista la fase de relleno.

$$M^3 \text{ rellenos al cabo de 10 años} = 78\,000 \text{ camiones} * 6 \frac{\text{m}^3}{\text{camión}} = 468\,000 \text{ m}^3$$

Teniendo en cuenta el volumen de tierras vegetales que habrá que añadir, parece razonable añadir 56 000 m³ de tierras vegetales para la preparación del terreno para la plantación de olivar y capas de impermeabilización para así completar los 524 000 m³ que han sido calculados en el apartado 1 del presente documento.

8.2.2 Cálculo de la rentabilidad

A continuación se calcula el valor actualizado neto (VAN) con el horizonte de 10 años ya mencionado para así calcular la rentabilidad que se le sacará al proyecto en el periodo de estimado.

La fórmula que se emplea es la siguiente:

$$VAN = -Inversión + \frac{B_{anual} - Coste_{anual}}{(1 + k)^n}$$

Siendo:

k: tasa de descuento, que se fija en el 3%

n: número de año

Realizando los cálculos oportunos se obtiene:

Año	Beneficio	Coste	VAN anual
1	162 000	134 000	27 184
2	200 880	134 000	63 041
3	241 920	134 000	98 762
4	285 120	134 000	134 268
5	318 240	134 000	158 927
6	352 800	134 000	163.272
7	388 800	134 000	183 242
8	426 240	134 000	207 176
9	451 440	134 000	230 697
10	463 320	134 000	245 045
VAN			1 017 783

Tabla 17: Cálculo del VAN fase operación

Teniendo en cuenta que el VAN= **1 017 783 €** se obtiene que es rentable el proyecto de relleno del hueco minero con residuos de construcción y demolición en los 10 años en los que se prevé que dure el mismo.

8.3 Presupuesto fase postoperación

8.3.1 Costes de inversión

Una vez han transcurrido los 10 años, y el hueco minero está completamente restaurado, se deberá proceder a la plantación del olivar.

	Objeto	Precio	Cantidad	Coste (€)
Preparación	Desfonde	115 €/ha	5 ha	575
	Estercolado y tierras vegetales	2 250 €/ha	5 ha	11 250
	Mullido	25 €/ha	5 ha	125
Planta y puesta en tierra	Planta olivo	0,96 €/ud	5 600 uds	5 376
	Puesta en tierra de planta	200 €/ha	5 ha	1 000
	Riego de asiento	36 €/ha	5 ha	180
Entutorado	Espaldera completa	0,8 €/ ud	5 600 uds	4 480
	Entutorado plantones	0,3 €/ud	5 600 uds	1 680
	Protección de plantones	0,1 €/ud	5 600 uds	560
Instalación de riego	Excavación zanjas			2 500
	Partida Tuberías PVC			1 500
	Partida porta goteros	0,30 €/ud	5.600 uds	1 680
	Depósito	3 000 €/ud	1	3 000
	Sistema extracción hidráulico		1	4 200
TOTAL (€)				36 606

Tabla 18: Costes de inversión olivar.

8.3.2 Costes anuales

En este punto se distinguirán los costes anuales que tiene el olivar. Cabe destacar que no serán los mismos en todos los años ya que los cuidados que necesitan son distintos. Es por eso que se distinguirán los periodos que se consideren oportunos.

- **Poda:**

Año	Descripción	Coste (€/ha)	Importe (€)
1	Eliminación brotaciones tronco	70	350
2 y 3	Poda formación y eliminación brotaciones tronco	350	1 750
Del 4 al 9	Poda producción y rejuvenecimiento	400	2 000
10	Poda de rebaje y repaso manual	550	2 750

Tabla 19: Costes de poda anuales.

- **Mantenimiento del suelo:**

Año	Descripción	Coste (€/ha)	Importe (€)
Del 1 al 3	Eliminación brotaciones tronco	350	1 750
Del 4 al 10	Poda formación y eliminación brotaciones tronco	250	1 250

Tabla 20: Costes de mantenimiento del suelo anuales.

- **Fertilización:**

Año	Descripción	Coste (€/ha)	Importe (€)
Del 1 al 5	Fertirrigación (NPK)	25	125
Del 6 al 10	Fertirrigación (NPK)	50	250

Tabla 21: Costes de fertilizantes anuales.

- **Protección del cultivo:**

Año	Descripción	Coste (€/ha)	Importe (€)
Todos	Tto contra tuberculosis, barenillo, mosca olivo...	250	1 250

Tabla 22: Costes de protección del cultivo anuales.

- **Recolección:**

Año	Descripción	Coste (€/ha)	Importe (€)
3	Recolección y transporte	550	2 750
4	Recolección y transporte	600	3 000

5	Recolección y transporte	650	3 250
6	Recolección y transporte	700	3 500
Del 7 al 10	Recolección y transporte	750	3 750

Tabla 23: Gastos de recolección anuales

- Agua de riego consumida**

El agua se extraerá mediante dos bombas de 8 kW. Una de un pozo y otra desde un arroyo cercano. Estas bombas impulsarán el agua hasta el depósito y esta alimentará por su propio pie al sistema de riego por goteo.

Por tanto, el coste es el asociado a la electricidad consumida. Se suponen unas 600 horas de funcionamiento de las bombas y un precio de 0,09 €/ kWh eléctrico.

Por tanto el coste anual será:

$$\text{Coste anual} = 2 \text{ bombas} * 8 \frac{\text{kW}}{\text{bomba}} * \frac{0,09\text{€}}{\text{kWh}} * 600 \frac{\text{horas}}{\text{año}} = 864 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

A continuación se muestran los costes totales desglosados por años. Se hace el análisis para los 10 primeros años.

Año	Importe (€)
1	4 339
2	5 739
3	8 489
4	8 489
5	8 739
6	8 989
7	9 239
8	9 239
9	9 239
10	9 989

Tabla 24: Costes anuales.

8.4 Análisis de rentabilidad fase postoperación

8.4.1 Ingresos

En este caso los ingresos son fácilmente cuantificables ya que existe mucha bibliografía para estimar la producción por hectárea de una plantación de olivos de la variedad arbequina. Además, consultando con los agricultores de la zona, el precio del kg de aceituna de esta variedad ronda los 0,5 €/kg. La siguiente tabla muestra los ingresos anuales.

Año	Producción (kg/ha)	Coste (€/kg)	Importe (€/ha)	Ingreso (€)
1	0	0,5	0	0
2	1 100	0,5	550	2 750
3	4 840	0,5	2 420	12 100
4	6 720	0,5	3 360	16 800
5	9 330	0,5	4 665	23 325
6	11 480	0,5	5 740	28 700
7	12 250	0,5	6 125	30 625
8	12 250	0,5	6 125	30 625
9	12 250	0,5	6 125	30 625
10	12 250	0,5	6 125	30 625

Tabla 25: Ingresos de explotación anuales

8.4.2 Cálculo de rentabilidad

Como en el apartado anterior, en el análisis de la rentabilidad se va a proceder al cálculo del VAN. Se tomará la misma tasa de descuento que en el apartado 8.3.2 y también se realizará el cálculo para un periodo de 10 años.

La fórmula que se emplea es la siguiente:

$$VAN = -Inversión + \frac{B_{anual} - Coste_{anual}}{(1 + k)^n}$$

Siendo:

k: tasa de descuento, que se fija en el 3%

n: número de año

Realizando los cálculos oportunos se obtiene:

Año	Ingreso	Coste	VAN anual
1	0	4 339	-4 213
2	2 750	5 739	-2 817
3	12 100	8 489	3 305
4	16 800	8 489	7 384
5	23 325	8 739	12 582
6	28 700	8 989	16 508
7	30 625	9 239	17 389
8	30 625	9 239	16 882
9	30 625	9 239	16 391
10	30 625	9 989	15 355
VAN			98 765

Tabla 26: Cálculo del VAN en la fase de postoperación.

Teniendo en cuenta que el **VAN= 98 765 €** se obtiene que es rentable el proyecto de la plantación de olivar en los 10 años en los que se ha hecho el cálculo. No obstante, la rentabilidad sería mucho mayor si se alargara la vida útil del olivar aunque en este proyecto esté pensado para 10 años.

8.5 Conclusiones Presupuesto y Análisis de rentabilidad

En base a todo lo comentado anteriormente, se tiene, que el presupuesto total del proyecto será la suma de los dos presupuestos, el de la fase de operación y fase de postoperación, así como la rentabilidad total del proyecto será la suma de ambas rentabilidades.

- **Presupuesto total= 573 850 + 36 606= 610 456 €**

Seiscientos diez mil cuatrocientos cincuenta y seis euros.

- **Rentabilidad total: 1 017 783+98 765 = 1 116 548 €**

Un millón ciento dieciséis mil quinientos cuarenta y ocho euros.

CONCLUSIONES

Llegado a este punto del proyecto conviene destacar los aspectos más importantes del mismo de manera breve.

Cabe destacar que el objetivo principal del proyecto era la restauración de un hueco minero con RCD, y que, con la elaboración de este documento, se considera que se puede realizar, es decir, que mediante la redacción del mismo, se ha cumplido con el objetivo del proyecto.

Para cumplir dicho objetivo, se han ido abordando diferentes puntos que se han considerado clave para la ejecución del proyecto.

En primer lugar, se han descrito los motivos por los que se realiza el proyecto, así como la localización y características del entorno del hueco minero. En base a esto, se concluye que existen razones suficientes para la elaboración de un proyecto para la rehabilitación del hueco descrito anteriormente.

En segundo lugar, destacar que a lo largo del documento, se expone que el proyecto deberá acogerse a la normativa nacional y autonómica en materia de: gestión de residuos, medioambiental y minera fundamentalmente.

Un aspecto de especial importancia en este proyecto, dado que era un objetivo del mismo, es el cumplimiento con la perspectiva medioambiental que se describe en los primeros apartados del documento. Queda claro que el proyecto presente no solo no perjudica al medio ambiente, sino que contribuye a la preservarlo, aprovechando los RCD como recurso para el relleno de una zona medioambientalmente afectada. En base a esto, se ha considerado oportuno el desarrollo de un programa específico de vigilancia y control ambiental.

Se ha desarrollado una metodología para evaluar la idoneidad del hueco minero del proyecto y, en base al factor obtenido, se concluye que el hueco minero es apto para su rehabilitación con RCD, presentando un factor de idoneidad de 2,8 en una escala de 0 a 4.

En cuanto a la estabilidad de los taludes, se ha comprobado que presentan un factor de seguridad en todos los casos mayor que 2 por lo que la estabilidad de los mismos queda garantizada.

Se ha realizado también un estudio de las características del suelo, destacando la necesidad de impermeabilizar el mismo con una barrera geosintética y una capa de arcilla que se ha descrito a lo largo del documento.

El proyecto de relleno del hueco minero mediante RCD se ha previsto para una duración de 10 años desde el comienzo de los trabajos, tras lo que se dispondrán de otros 10 años para el desarrollo del proyecto de la plantación de olivar.

Por último, tras haber elaborado un estudio económico básico del proyecto y haber realizado algunas estimaciones, el proyecto se considera rentable desde un punto de vista económico, por lo que se concluye que la realización del mismo, puede ser un considerado un éxito a todos los niveles.

REFERENCIAS

- Agencia Andaluza del Agua. (2007). *Plan Especial de actuación en situaciones de alerta y eventual Sequía. Cuenca Atlántica Andaluza*.
- Agricultura, D. E., & Ambiente, M. (2016). *GESTIÓN DE RESIDUOS (PEMAR)*. 2016–2022.
- Autoridades, I. (2011). BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. *Boe*, 85650–85705. <https://www.boe.es/boe/dias/2011/07/29/pdfs/BOE-A-2011-13046.pdf>
- BOE. (2001). REAL DECRETO LEGISLATIVO 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. *Boe*, 176, 26791–26817. <https://www.boe.es/boe/dias/2001/07/24/pdfs/A26791-26817.pdf>
- BOE. (2013). Real Decreto 1481 / 2001 , de 27 de diciembre , por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. *Boletín Oficial Del Estado*, 25(BOE-A-2002-1697), 1–46.
- BOE. (2007). *LEY DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES 31/1995 de 8 de Noviembre*. 46. <https://www.ccoo-servicios.es/archivos/raceasistencia/LeydePrevencciondeRiesgosLaborales2007.pdf>
- Cálculo, A., Rom, S., Valor, T., Del, I., Escorrentía, U. D. E., Fragmentos, P., Tipos, C., De, C., Neta, P., S, S. C., Pág, Clark, H. De, Duraci, I.-, Unitario, H., Sánchez, F. J., Sanches, J., Rom, S., Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Unitario, H., ... Media, J. (2016). Cálculos Estadísticos en Hidrología. *Boletín Oficial Del Estado*, 1(mm), 1–2. <http://hidrologia.usal.es>
- Consejo del Parlamento Europeo. (2014). Decision UE 2014955UE Codigos LER. *Diario Oficial de La Unión Europea*, 7, 44–86.
- European Council. (1999). Directive 1999/31/EC on the landfill of waste. *Official Journal of the European Communities*, 182(1), 1–19.
- Formulaci, L. A., & De, E. (1963). *Cálculo de ET 0 : MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH*. 1–13.
- Generales, D. (2009). *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*. 43, 49948–49993.
- Gobierno de España. (2011). Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. *Boletín Oficial Del Estado*, BOE-A-2011(29 de enero de 2011), 44.1-44.33. <https://doi.org/10.1590/S1020-49891998001200018>
- Hughes, R. (2008). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 287. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Instituto Nacional de Estadística.Maschinen, B., Investition, A., Beschaffungen, G., Ersatzbeschaffungen, B., & Mittelherkunft, S.(2019).*España en cifras*.
- Instituto Tecnológico de España. (1990).*MMagna1049.pdf*. (n.d.).
- Jefatura del Estado. (2011). Ley Orgánica 22/2011, de 28 de julio, Residuos y suelos contaminados. *Boletín Oficial Del Estado*, 181, 1–52. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-13046-consolidado.pdf>
- Jefatura del estado. (2003). Ley 37/2003, de 17 de noviembre de Ruido. *Boletín Oficial Del Estado*, 40494–40505.
- Law of Integrated Environmental Quality Management 7/2007. (2007). *Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión*

- Integrada de la Calidad Ambiental. Consejería de Presidencia. Junta de Andalucía.* 4–48.
- Madrid, C. De. (2020). *¿A dónde irá a parar todo el hormigón del estadio Vicente Calderón?* | *Economía | EL PAÍS.* 2016. https://elpais.com/economia/2020/02/06/actualidad/1580987203_880434.html
- Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio ambiente. (2008). REAL DECRETO 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. *Real Decreto 1341/2007 Sobre Aguas de Baño.*, 43620–43629.
- Ministerio de Industria y Energía. (1997). Real Decreto 1389/1997. *Agencia Estatal Boletín Oficial Del Estado*, 29154–29164. <https://www.boe.es/boe/dias/1997/10/07/pdfs/A29154-29164.pdf>
- Ministerio de la Presidencia. (2008). Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. *Boe*, 38(13 de febrero), 11. <http://www.boe.es/boe/dias/2008/02/13/pdfs/A07724-07730.pdf>
- Ministerio para la transición ecológica (2018). *Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de construcción y demolición.*
- Ochoa, C. (2014). *Plantación de olivos en Cadreita (Navarra).*
- Para, C., Aseguramiento, E. L., & Calidad, D. E. L. A. (2016). *Guía para el funcionamiento de los laboratorios de ensayo de aguas. Revisión 1*, 1–96.
- Parlamento Europeo. (2004). *Directiva 2006/21/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de marzo 2006, sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas y por la que se modifica la Directiva 2004/35/CE - Declaración del Parlamento Europeo, del Consejo y de la Comisión.* 2003, 26–31.
- Peixinho, A. M. L., & Santrock, J. W. (2011). *No Title.* 11(2), 10–14. <https://doi.org/10.16194/j.cnki.31-1059/g4.2011.07.016>
- Técnico, D., & Relativo, D. E. L. R. D. (2003). *Desarrollo técnico del r. d. 1481/2001 relativo a las instalaciones de vertido de residuos.* 2001.
- UE. (2008). Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008 , sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. *Parlamento Europeo*, 28 pags. (43 artículos). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:01:ES:HTML>
- UE (2002). Decisión del Consejo por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y al anexo II de la Directiva 1999/31/CE. *Parlamento Europeo* 14.6.2018. 109–140.