

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

**Escuela de
Ingeniería de Minas, Energía y Materiales de Oviedo**

Máster en Ingeniería de Minas



Trabajo Fin de Máster

**Utilización de estructuras subterráneas como almacén. Mina
Moscona.**

Autor: Fabio Suárez Suárez

Tutor: D. Pablo Cienfuegos Suárez

Oviedo, Julio de 2016

ÍNDICE

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVO DEL PROYECTO	2
3. ANTECEDENTES	3
4. LEGISLACIÓN APLICABLE	5
4.1. Ley de Minas	5
4.2. Ley de Evaluación Ambiental	6
4.3. Ley de Aguas	6
4.4. Ley de Prevención de Riesgos Laborales	6
4.5. Real Decreto sobre gestión residuos de industrias extractivas	7
4.6. Real Decreto de vertederos	7
5. CASO PRÁCTICO	8
5.1. Introducción al caso de estudio: mina Moscona	8
5.2. Situación geográfica	8
5.3. Topografía	11
5.4. Climatología	12
5.5. Hidrografía	15
5.6. Situación geológica	16
5.6.1. Estratigrafía	17
5.6.1.a. Devónico	17
5.6.1.b. Jurásico	17
5.6.1.c. Trías	18
5.6.1.d. Cuaternario	18
5.6.2 Tectónica	19

5.6.3. <i>Hidrogeología</i>	20
5.7. Yacimiento	21
5.8. Método de explotación	21
5.9. Hidrogeología en la explotación	21
6. APLICACIONES	23
6.1. Almacenamiento de material durante la explotación	23
6.2. Almacén de agua para regadío tras la clausura de la explotación	26
7. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	27
7.1. Carbón	27
7.2. Mineral de hierro	27
7.3. Materiales de demolición	27
7.4. Libros	28
7.5. Residuos sólidos urbanos	28
7.6. Agua	28
8. LOGÍSTICA	30
9. BIBLIOGRAFÍA	26
NORMATIVA LEGAL	26
INFORMES DEL ITGE	26
MANUALES	28
RECURSOS WEB	28
CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA	30
ANEXOS	
ANEXO I. ENTORNO GEOLÓGICO (mapa MAGNA 1:50000)	
ANEXO II. CORTES GEOLÓGICOS	
ANEXO III. PLANOS	

1. INTRODUCCIÓN

Según la Ley de Minas, publicada el 24 de julio de 1973 y actualizada por última vez el 17 de octubre de 2014, se considera en el Título IV, Capítulo I, Artículo veintitrés, la catalogación de las estructuras subterráneas como recurso de la sección B), entendiéndose como estructura subterránea: *“todo depósito geológico, natural o artificialmente producido como consecuencia de actividades reguladas por dicha Ley de Minas, y que por cuyas características permitan retener naturalmente y en profundidad cualquier producto o residuo que en él se vierta o inyecte”*. (www.boe.es)

En concreto, se desarrolla en el la *Sección 3.ª Estructuras subterráneas*, del Capítulo siguiente, la reglamentación sobre el aprovechamiento de dichas estructuras, así como el procedimiento administrativo a seguir para solicitar la autorización necesaria para su explotación como recurso.

La principal utilidad que tienen las estructuras subterráneas, normalmente resultado de una previa actividad minera de explotación, consiste en el almacenamiento de residuos, por la gran cantidad de espacio libre que se obtiene en el terreno, permitiendo incluso en algunos casos mejorar la estabilidad de la estructura a largo plazo al rellenar el hueco por material inerte, reduciendo la subsidencia al soportar el material almacenado una fracción (normalmente menor que el terreno circundante) de los esfuerzos tensionales a los que está sometido el terreno.

2. OBJETIVO DEL PROYECTO

El principal objetivo del presente proyecto consiste en analizar la posibilidad de aprovechamiento del hueco subterráneo obtenido de la explotación por el método de cámaras y pilares de la mina "Moscona".

En concreto, se estudiará su utilización como almacén de graneles de naturaleza similar a los tratados por la EBHI (European Bulk Handling Instalation) del puerto de El Musel, principalmente carbones de diversas procedencias y minerales de hierro, además de residuos de demolición, durante la propia operación de la mina, en el piso ya explotado, el nivel 19.

Estos materiales tienen en común que no requieren especiales medidas de seguridad ni acondicionamiento del terreno, debido a que son materiales que no se alteran significativamente a la intemperie.

Además, también se analizará la posibilidad de utilizar la totalidad del hueco generado por la explotación para almacenar agua con fines de regadío, al situarse la mina en un área rural.

3. ANTECEDENTES

El aprovechamiento de labores mineras agotadas o abandonadas no es nuevo, siendo muy frecuente el estudio de un posible uso tras la finalización de las labores durante las primeras fases de un proyecto para ser incluido en el proyecto de restauración, reduciendo de manera significativa tanto el impacto de la actividad en el medio ambiente como el coste de implementación de dicho proyecto de restauración, llegando incluso en algunos casos a ser una nueva fuente de ingresos al reconvertir las labores en espacios de ocio, entre otros.

Un claro ejemplo de aprovechamiento de las labores de una explotación es el Parque de la Naturaleza Cabárceno, en Cantabria, procedente de la restauración de una explotación de hierro a cielo abierto de unas 750 hectáreas, y convertido en el hábitat de más de 700 especies animales. (<http://parquedecabarceno.com>)

Otro tipo de aprovechamiento más reciente consiste en la utilización de los huecos generados en la explotación de hidrocarburos como almacenes de CO₂, lo que además de mejorar la producción de los mismos permite deshacerse simultáneamente de un residuo, proporcionando tanto ventajas económicas como medioambientales, mediante el proceso de CO₂-EOR, como se muestra en la figura 1. (<http://neori.org>)

Un caso más parecido al objeto del presente estudio se halla en la reserva estratégica de petróleo de los Estados Unidos, que (a fecha de 1996) tenía almacenados unos setenta millones de barriles de petróleo en una mina de sal explotada mediante cámaras y pilares en Weeks Island, Louisiana, en la mina denominada como "Markel Mine". (www.osti.gov)

La mina de Morsleben, en el estado federal de Saxony-Anhalt (Alemania), fue explotada para producir tanto potasio como sal de roca, totalizando un volumen de huecos de aproximadamente 10 millones de m³, siendo la mina comprada en 1970 por el operador de una planta nuclear y reconvertida a un almacén de residuos de baja y media actividad. (V. Popov, R. Pusch, 2006)

Existen muchos otros casos de almacenamiento de residuos de todo tipo en antiguas explotaciones, siendo sin embargo más frecuente en explotaciones de sal

(principalmente porque presentan gran estabilidad a largo plazo) y otras explotaciones mediante cámaras y pilares, que permiten un acceso muy sencillo a camiones de grandes tonelajes.

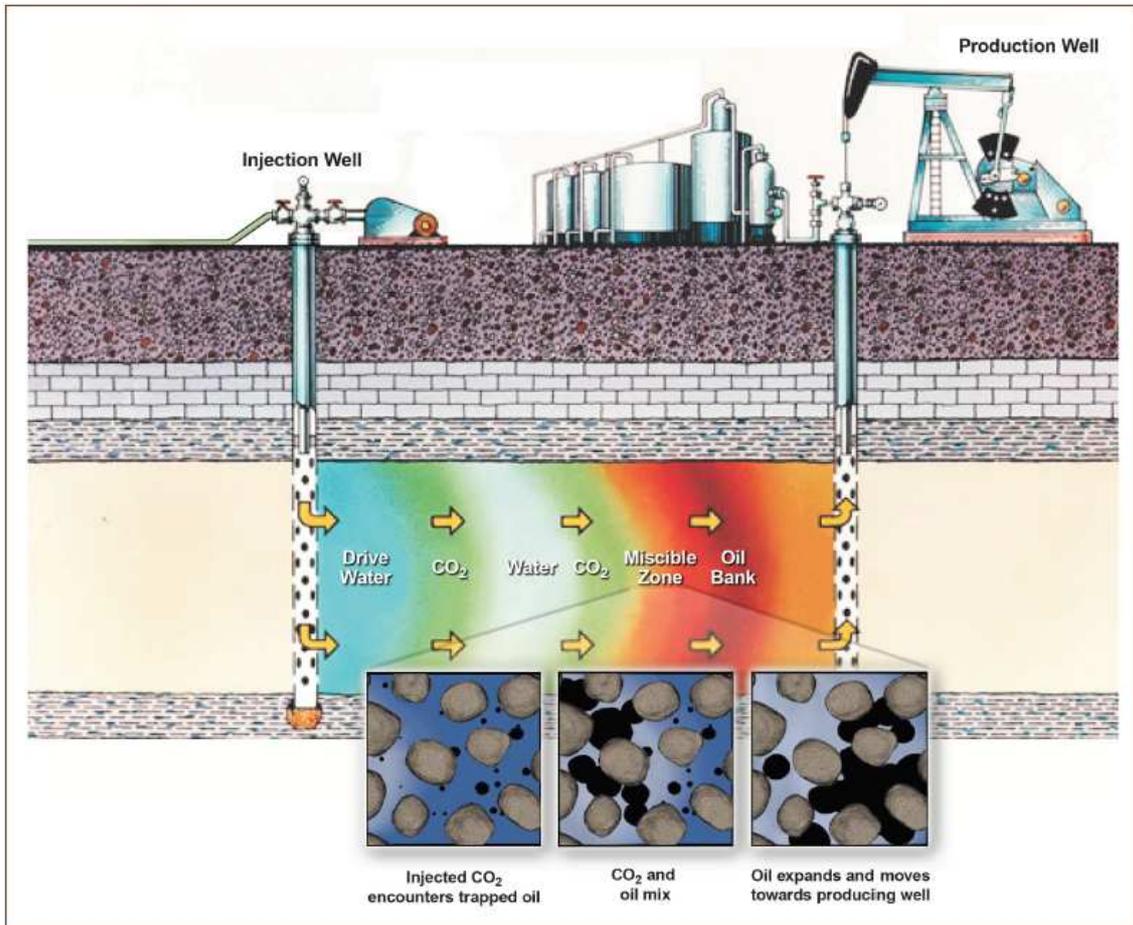


Fig. 1 - CO₂-EOR. (www.netl.doe.gov)

4. LEGISLACIÓN APLICABLE

4.1. Ley de Minas

Es la Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas, modificada por última vez el 17 de octubre de 2014.

La Ley de Minas establece el marco legal al que debe referirse cualquier tipo de aprovechamiento de recurso minero, siendo el caso del presente proyecto un recurso catalogado como de la sección B), del tipo estructura subterránea, definido como tal según el Título I, Artículo tercero, y desarrollado en el Título IV, Sección 3ª, Artículo treinta y cuatro, el procedimiento para la obtención de la autorización de aprovechamiento de la estructura subterránea.

El procedimiento administrativo para la obtención de la autorización de aprovechamiento comienza con la solicitud por parte del interesado del reconocimiento como recurso de la sección B). Tras declarar la administración como recurso de la sección B) y su tipo, el interesado debe presentar como la siguiente documentación:

- Estudio del Perímetro de Protección.
- Propuesta del Perímetro de Protección.
- Proyecto de Aprovechamiento.
- Informe de Sostenibilidad Ambiental.
- Plan de Vigilancia Ambiental.
- Estudio de Impacto Ambiental.
- Documento de Seguridad y Salud.

El procedimiento administrativo concluye con la formulación del órgano ambiental (en el caso de Asturias la Consejería de Medio Ambiente, Ordenación de Territorio e Infraestructuras) de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) y la concesión de la Autorización de Aprovechamiento.

4.2. Ley de Evaluación Ambiental

Es la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental.

La Ley de Evaluación Ambiental regula los criterios de sostenibilidad que deben ser aplicados a todo proyecto a realizar en el territorio nacional, siendo por tanto el principal instrumento de protección ambiental de la administración pública. La Ley de Evaluación Ambiental requiere que todo proyecto deba estar acompañado de un Estudio de Impacto Ambiental (en sus distintas formas, en función del alcance del proyecto), que posteriormente será base de la Declaración de Impacto Ambiental (de nuevo, en sus distintas formas en función del alcance del proyecto) requerida para la ejecución del proyecto.

4.3. Ley de Aguas

Es el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, modificado por última vez el 26 de diciembre de 2013.

La Ley de Aguas determina el marco legal por el que debe regirse la recogida, almacenamiento y aprovechamiento de agua, en función de su procedencia y aplicaciones, así como las medidas de tratamiento y protección requeridas para su uso, de una forma medioambientalmente sostenible.

4.4. Ley de Prevención de Riesgos Laborales

Es la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, modificada por última vez el 29 de diciembre de 2014.

La Ley 31/1995 regula los aspectos necesarios para la protección de los trabajadores mediante la prevención de los posibles riesgos derivados de su trabajo, siendo de obligado cumplimiento en todo tipo de actividad relacionada con la minería.

En particular, todos los trabajadores que operen en el interior de la explotación deberán conocer y cumplir todas las disposiciones internas de seguridad (DIS), así como de cualquier tipo de normativa de aplicación existente en cualquiera de los puestos de trabajo de la industria extractiva común con su puesto de trabajo, incluyendo, pero no

limitándose a, aquella relacionada con materia de explosivos, circulación y manejo de maquinaria, movimiento de personal y transporte de mercancías. Además, también deberán seguir toda la reglamentación referida a higiene laboral en correspondiente puesto de trabajo, incluyendo la utilización de equipos de protección individual (EPI) o colectiva en función de las operaciones a realizar.

4.5. Real Decreto sobre gestión residuos de industrias extractivas

Es el 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, modificado por última vez el 17 de agosto de 2012.

El Real Decreto 975/2009 detalla los requisitos a cumplimentar en el tratamiento y almacenaje de residuos, en función de su procedencia y características, así como las acciones a realizar para minimizar el impacto ambiental de las industrias extractivas.

4.6. Real Decreto de vertederos

Es el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, modificado por última vez el 23 de abril de 2013.

El Real Decreto 1481/2001 establece las condiciones que deben cumplimentar los vertederos en función de los residuos a almacenar, así como las medidas de vigilancia y tratamiento a los que debe someterse el material durante la vida útil del vertedero.

5. CASO PRÁCTICO

5.1. Introducción al caso de estudio: mina Moscona

La explotación de mina Moscona consiste en el aprovechamiento de una capa prácticamente horizontal de potencia media entre 3 y 4 metros. Estas características son favorables para el método de explotación por cámaras y pilares, evitando producir hundimientos en superficie.

El acceso al nivel mineralizado se realiza a través de un plano inclinado, de 5 x 3.50 metros de sección, realizándose galerías paralelas de sección 5 x 3.20 metros y una separación de 10 metros entre ejes, y perpendiculares de idénticas características, resultando la mayoría de pilares de 5 x 5 x 3.2 metros.

5.2. Situación geográfica

La mina Moscona se sitúa en su totalidad en el concejo de Corvera de Asturias, localizada en terreno representado en las hojas nº 13 (Avilés), nº 14 (Gijón), nº 28 (Grado) y nº 29 (Oviedo) del Mapa Geológico Nacional (MAGNA), a escala 1:50000 del IGME (Beroiz et al., 1972).

La empresa MINERSA tiene el permiso de explotación de la parte sureste del municipio de Corvera de Asturias, situado en el norte del Área Central de Asturias. Este municipio se encuentra en el centro del área limitada por los municipios de Gozón (N), Castrillón (NO), Avilés (O), Illas (SO), Llanera (S), Gijón (E), y Carreño (NE).

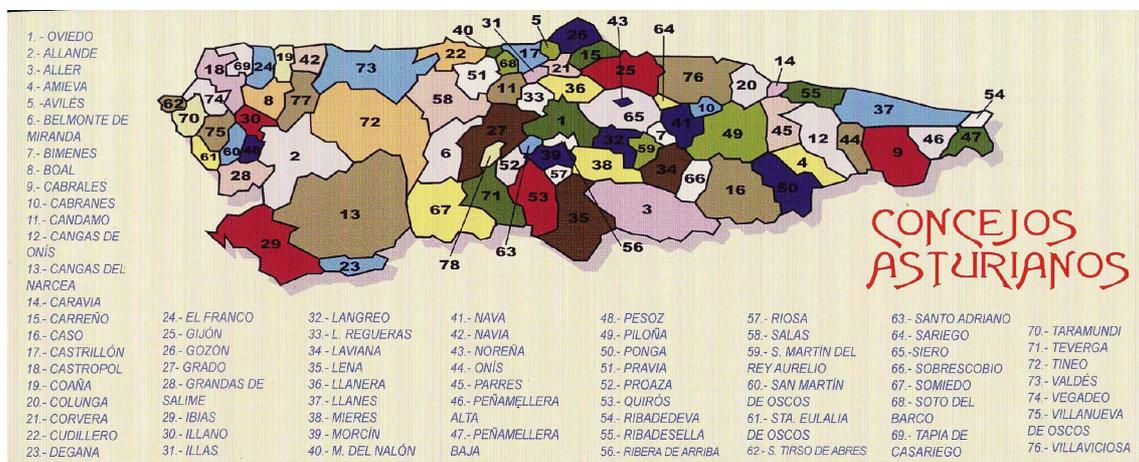


Fig. 1 - Concejos de asturias. (<http://paginasdelprincipado.es>)

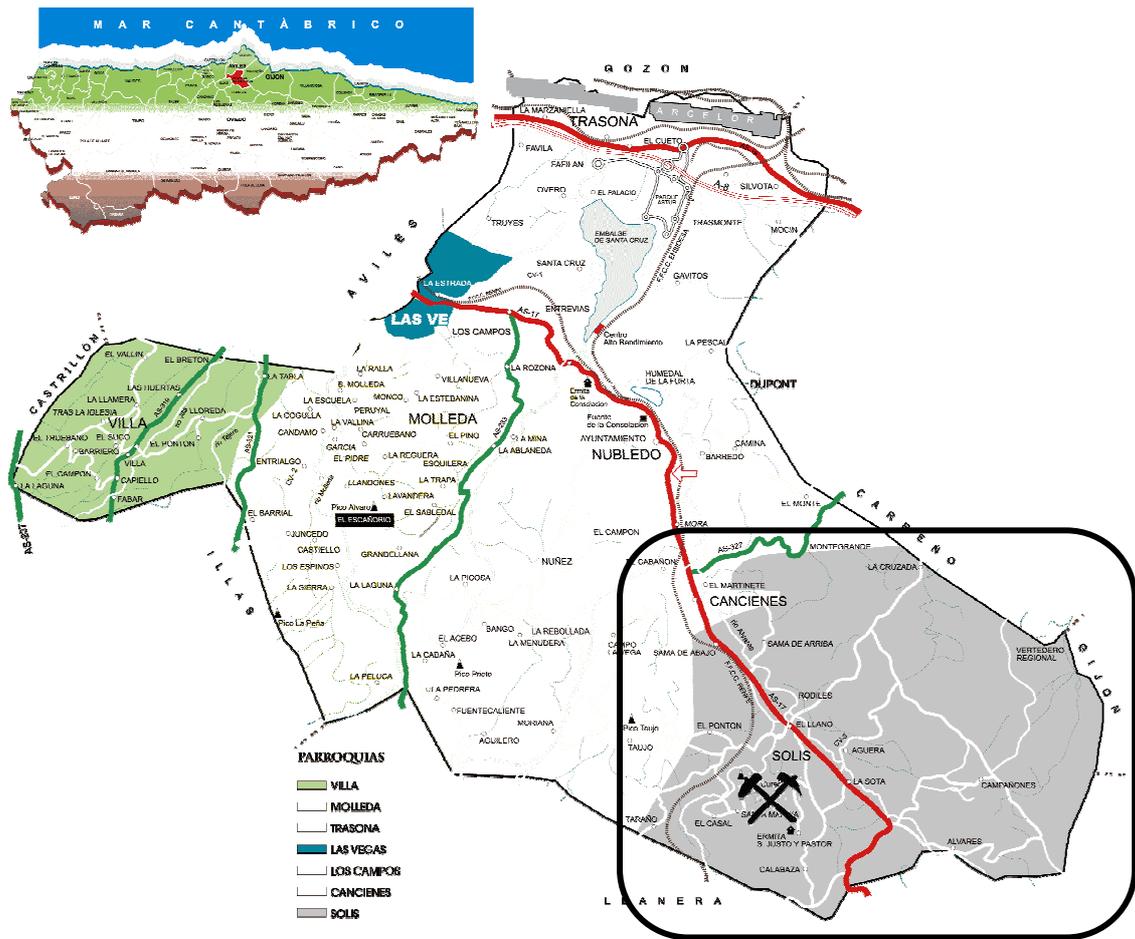


Fig. 2 - Localización de Mina Moscona en el concejo de Corvera.

En las figuras 3 y 4 se proporcionan imágenes procedentes de Google Maps y Google Earth identificando el emplazamiento aproximado de las labores, así como la localización de los sondeos pertenecientes a la campaña de caracterización geológica del ITGE (ITGE, 1994).



Fig. 3 - Localización de la explotación. (www.google.es/maps)

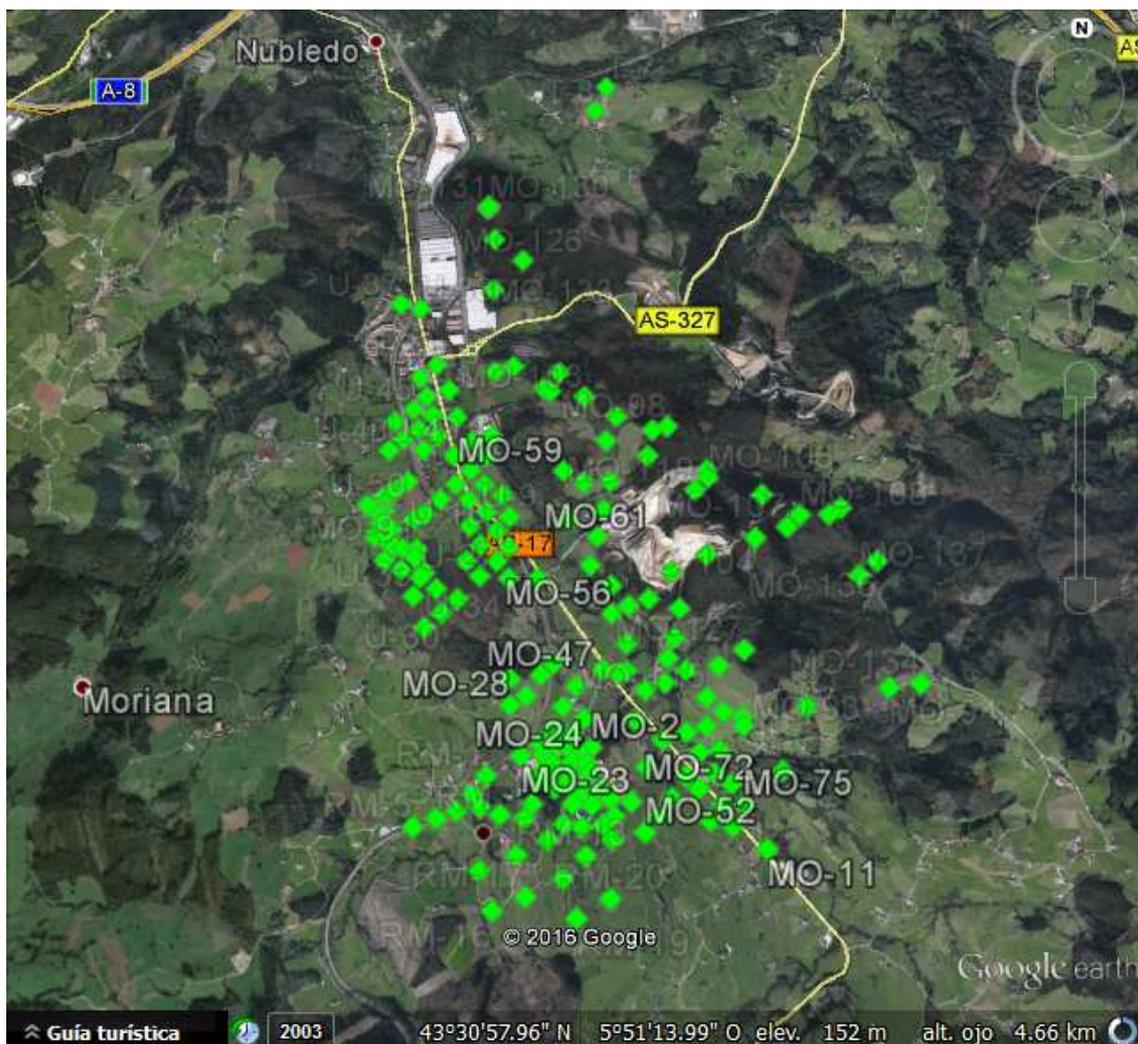


Fig. 4 - Localización de sondeos de investigación minera en Mina Moscona.

(https://www.google.es/intl/es_es/earth/)

5.3. Topografía

El relieve del concejo de Corvera es suave, oscilando la altitud entre los 20 m en el río Alvares y los 365 m en Pico Prieto, al sur del concejo. Los terrenos más elevados se sitúan en la parte sur-suroeste del concejo, descendiendo de forma suave hacia el norte.

Los ríos tienen una disposición norte-sur, instalándose en terrenos erosionados en las rasas y que en sus tramos más bajos aparecen rellenos por depósitos, constituyendo las llanuras aluviales. Una de estas llanuras corresponde al río Alvares previamente mencionado, sobre la que se asienta un polígono industrial y algunas de las vías de comunicación del concejo, como el ferrocarril y la carretera AS-17, siendo tanto

el polígono industrial como la carretera fácilmente identificables en la figura 4.

En cuanto a la topografía subterránea de la explotación, está condicionada por el ligero buzamiento de la capa y los planos de falla presentes en la zona de estudio. En la figura 5 se muestra un modelo tridimensional realizado con el programa Surfer, en el que se superpone la cota de techo de la explotación así como el plano de labores, con las coordenadas UTM (huso 29) como ejes del modelo.

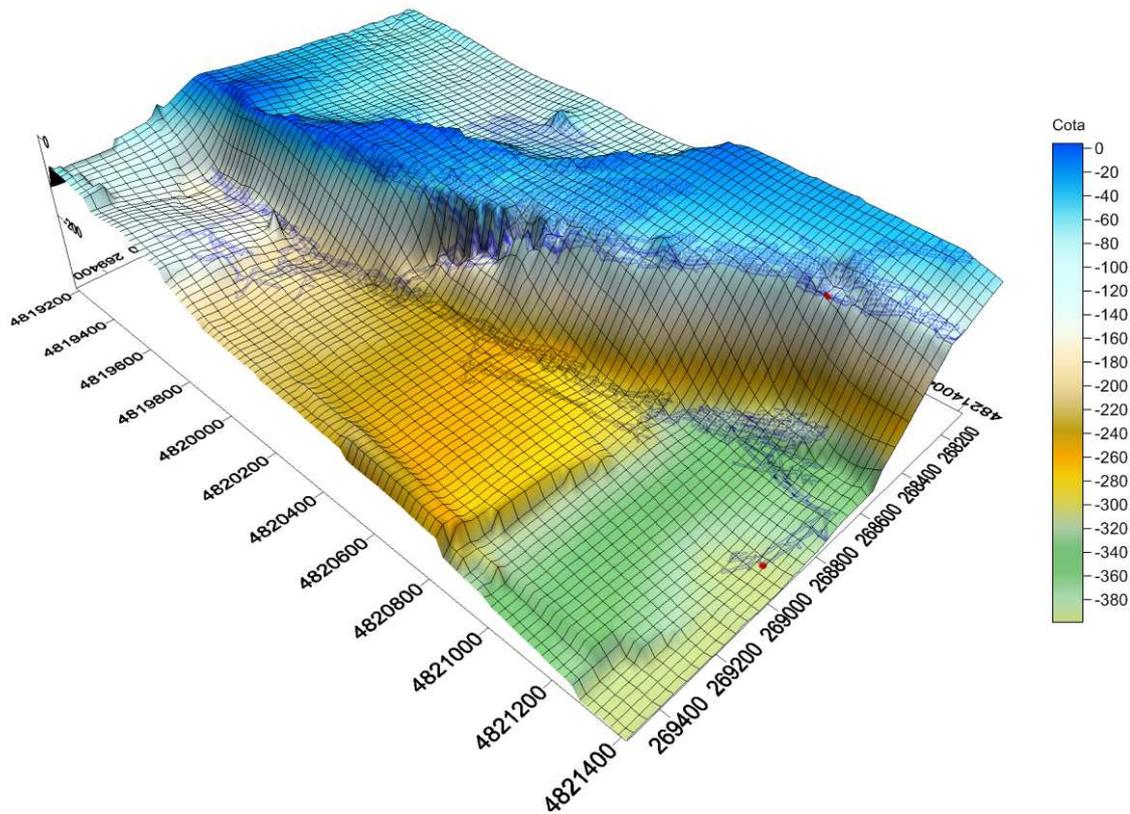


Fig. 5 - Plano de labores superpuesto a cotas de techo de la explotación.

5.4. Climatología

La zona de estudio (Corvera) forma parte de la región climática cántabra, donde los valores térmicos anuales son moderados y la precipitación anual oscila entre 1000 y 2000 mm. Se trata de un clima oceánico atlántico, caracterizado por precipitaciones abundantes regulares y temperaturas suaves.

En las tablas siguientes se recogen las principales variables de interés, procedentes de la "Guía resumida del clima de España 1981-2010", de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, 2010). Se incluyen los datos tanto de la estación

meteorológica de Oviedo como la del aeropuerto de Ranón, ambas a una distancia similar de la zona de estudio.

Oviedo

Mes	T	TM	Tm	R	H	I	DH	DR	DN	DT	DF	DD
Enero	8,3	10,6	5,4	83,6	76	114,9	2,9	10,7	1,4	0,7	4,9	3,4
Febrero	8,7	12,8	5,8	80,9	75	121,6	2,5	10,3	1,7	0,7	5,5	2,8
Marzo	10,5	13,1	7,3	77,7	74	153,1	0,8	10,4	0,8	1,1	5,6	3,2
Abril	11,3	13,7	7,4	99,9	76	160,5	0,1	12,2	0,3	2,1	7,2	1,7
Mayo	13,9	16,4	9,5	81,8	78	167	0,0	12,1	0,0	3,6	9,7	1,5
Junio	16,7	18,7	14,6	56,8	79	167,4	0,0	8,3	0,0	2,2	10,2	2,2
Julio	18,7	20,5	17,3	44,9	79	176,7	0,0	7,3	0,0	2,4	11,1	2,3
Agosto	19,1	21,7	17,4	56,4	80	176,4	0,0	7,8	0,0	2,5	11,1	2,5
Septiembre	17,6	20,1	15,3	66,1	78	166,5	0,0	7,9	0,0	1,5	9,7	3,1
Octubre	14,6	16,8	11,1	98,5	79	137,6	0,0	11,3	0,0	0,8	9,8	2,3
Noviembre	10,9	13,4	8,4	114,7	79	109,2	0,3	12,3	0,1	0,9	7,4	2,6
Diciembre	8,9	12,2	5,8	98,5	77	105,2	2,6	11,7	0,6	0,8	5,4	3,6
Año	13,3	14,3	12,3	959,7	78	1756	9,1	122,3	5,0	19,4	97,6	31,3

Aeropuerto de Ranón

Mes	T	TM	Tm	R	H	I	DH	DR	DN	DT	DF	DD
Enero	9,4	11,3	6,6	102,8	75	98,4	1,0	12,2	0,4	1,1	0,7	3,4
Febrero	9,4	13	7,0	88,2	74	109,2	0,9	11,1	0,5	1,0	0,8	3,2
Marzo	10,7	13,1	8,1	82,3	75	142,2	0,3	10,8	0,0	0,9	1,4	3,1
Abril	11,3	13,4	8,5	99,2	76	151,4	0,0	12,8	0,0	1,5	2,4	2,4
Mayo	13,6	15,4	10,4	78,7	80	166,5	0,0	11,9	0,0	1,6	3,5	2,0
Junio	16,2	18	14,4	60,7	81	163,2	0,0	7,8	0,0	1,5	5,4	2,6
Julio	18,2	19,8	16,5	46,9	81	173,4	0,0	7,2	0,0	2,0	4,7	3,1
Agosto	18,8	21,1	17,3	60,3	81	181,7	0,0	7,3	0,0	1,5	3,7	3,2
Septiembre	17,4	19,3	15,7	73,3	80	169,9	0,0	8,3	0,0	1,3	3,3	4,2
Octubre	15,1	17,3	12,5	115,9	80	130,5	0,0	11,5	0,0	0,9	2,9	3,1
Noviembre	11,8	14,2	9,6	134,2	78	96,5	0,1	12,9	0,0	0,9	1,1	2,8
Diciembre	9,9	12,8	7,4	117,1	76	85,7	0,6	13,6	0,1	0,8	1,1	3,3
Año	13,5	14,5	12,6	1062	78	1669,9	2,9	127,8	1,0	15,1	31	36

Leyenda

T	Temperatura media mensual/anual (°C)	DN	Número medio mensual/anual de días de nieve
TM	Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)	DT	Número medio mensual/anual de días de tormenta
Tm	Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)	DF	Número medio mensual/anual de días de niebla
R	Precipitación mensual/anual media (mm)	DH	Número medio mensual/anual de días de helada
H	Humedad relativa media (%)	DD	Número medio mensual/anual de días despejados
DR	Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm	I	Número medio mensual/anual de horas de sol

Tabla 1 – Datos meteorológicos 1981-2010 (AEMET, 2010).

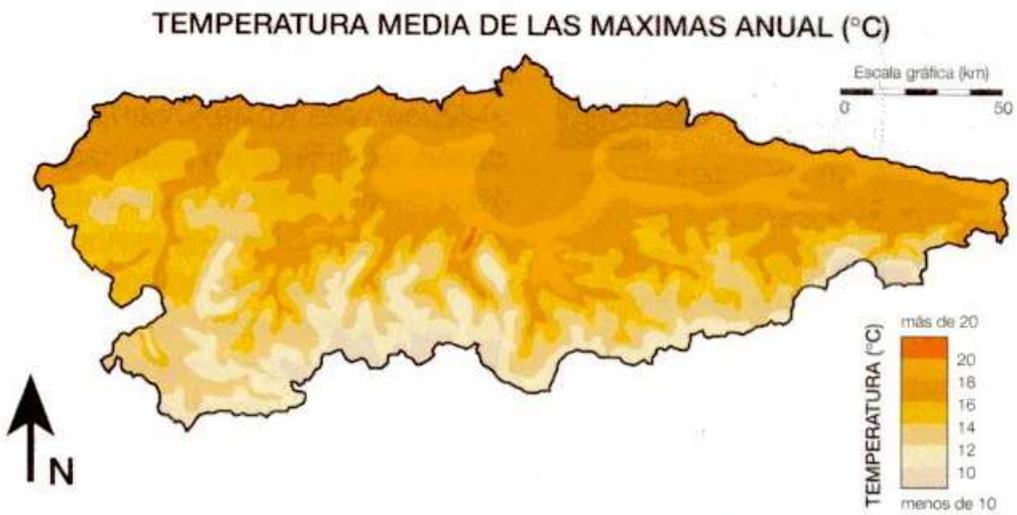
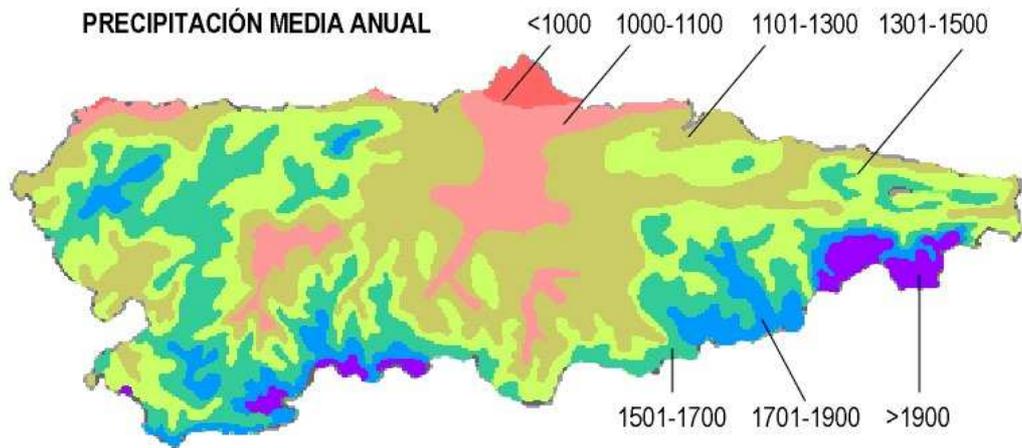


Fig. 6 - Precipitaciones y temperaturas medias anuales en Asturias.

(Felicísimo Pérez, A. M., 1990).

5.5. Hidrografía

La red hidrográfica de Corvera, y por tanto de la zona de estudio, es tributaria de la ría de Avilés, y está formada por tres valles principales separados por pequeñas colinas. Los cauces fluviales principales están formados por los ríos Villa, Arlós y Alvares, siendo este último el que interesa para el presente estudio.

La red fluvial pertenece al Sistema Nalón y está constituida por cauces de corto recorrido con origen en sierras litorales que desembocan en el mar, en la ría de Avilés o en estuarios. Su trazado está condicionado por la disposición de los materiales rocosos del sustrato y las estructuras tectónicas existentes, de forma que los cauces se encajan en estos materiales blandos o siguen el trazado de fallas.

El caudal de los ríos de la zona es variable a lo largo del año y está directamente influenciada por las precipitaciones. En episodios muy lluviosos se producen inundaciones que afectan a las zonas más bajas.

El río Alvares nace en la parte suroriental del concejo y tiene dirección SE-NO, coincidiendo con un sistema de fallas geológicas. Su trazado está condicionado por una de estas fallas y por una banda de materiales arcillosos, pertenecientes al triásico. En su parte más alta, el curso discurre entre bosques y praderas, siendo canalizado antes de atravesar el polígono industrial de Cancienes. presta sus aguas al lago artificial de DuPont en Nubledo, y en Trasona está el embalse creado para el suministro de Arcelor-Mittal, desembocando en la ría de Avilés. El cauce recibe aportes de algunos arroyos que nacen en las colinas próximas.

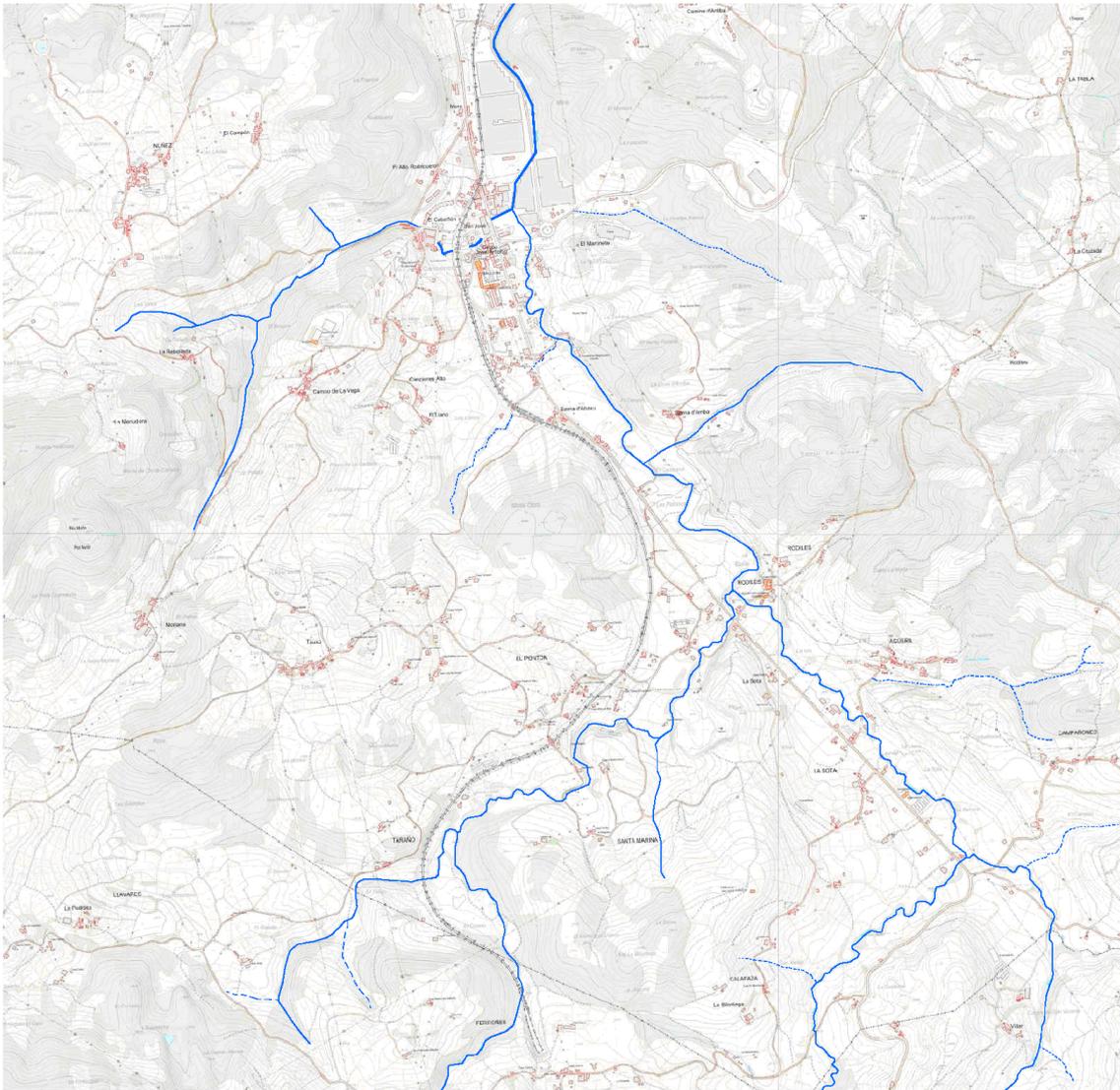


Fig. 7 - Red hidrográfrica en el área de estudio.

5.6. Situación geológica

Como se ha mencionado en el apartado anterior, la explotación está encuadrada en la zona adyacente a cuatro hojas del Mapa Geológico Nacional (adjuntas en el Anexo I), siendo por tanto de interés la columna estratigráfica de todas ellas para comprender la estratigrafía de la zona de estudio.

En el caso particular objeto de estudio, afloran principalmente materiales devónicos, Triásicos y Jurásicos, recubiertos frecuentemente por diversos depósitos cuaternarios, presentes en las columnas estratigráficas de las cuatro Hojas. En todos los casos se mencionarán de muro a techo, salvo que explícitamente se especifique lo contrario. Un plano con los diversos afloramientos puede encontrarse en el Anexo III.

5.6.1. Estratigrafía

5.6.1.a. Devónico

Corresponden a los afloramientos de mayor antigüedad, entre los que se identifican los siguientes:

D₁ - Formación Rañeces. Del Devónico Inferior, está compuesta por alternancia de calizas y dolomías con capas pizarrosas, de espesor hasta 700 m. En ella se diferencian los siguientes miembros:

- Caliza de Nieva.
- Calizas y pizarras de Ferroñes.
- Calizas de Arnao.

D₂ - Calizas de Moniello. Del Devónico Inferior-Medio, está formada por bancos potentes de calizas grises, con escasas intercalaciones pizarrosas y margas.

D₃ - Areniscas del Naranco. Del Devónico Medio, consiste en una formación detrítica integrada por areniscas ferruginosas con intercalaciones pizarrosas. Tiene un espesor mínimo de 300 m.

5.6.1.b Trías

Aparece de forma discordante respecto al basamento paleozoico. El tránsito del Paleozoico al Mesozoico no es fácil de fijar, debido a la falta de datos en la zona. Sin embargo, por los sondeos realizados en la zona de estudio, que no indican la existencia de sedimentos volcánicos pertenecientes al Pérmico, se consideran los materiales de la serie como triásicos.

Aunque en parte de la cartografía geológica de la zona se considere como una única unidad el Trías, los sondeos realizados han permitido diferenciar cuatro niveles, que corresponden a los siguientes:

T₁ - Conglomerados silíceos, areniscas, margas y arcillas areniscosas. Correspondientes a una serie detrítica inferior, y de color principalmente pardo-rojizo. Relacionados con un depósito en medio fluvial.

T₂ - Nivel calcáreo de caliza más o menos arenosa, con un contenido en granos de cuarzo de hasta un 20 %. En su parte superior se encuentra mineralizado, encontrándose cristales de fluorita y granos de cuarzo en concentraciones irregulares de materiales arcillosos verdes y rojizos. Tiene un espesor de entre 7 y 15 m.

T₃ - Nivel detrítico superior. De espesor próximo a los 40 m, consiste en una serie detrítica bien estratificada.

T₄ - Nivel margoso, pudiendo sobrepasar los 200 m de espesor, que presenta dos tramos principales. El inferior, de entre 40 y 60 m de espesor, consiste en margas rojas con intercalaciones finas de areniscas margosas con yesos, y el superior, de hasta 150 m, de arcillas y margas rojas con pasadas de yesos.

5.6.1.c. Jurásico

Los materiales de esta edad corresponden principalmente a una sedimentación calcáreo-dolomítica, distinguiéndose tres tramos principales:

J₁ - Calizas y dolomías de Lías. De tonos grises y aspecto masivo, tiene un espesor mínimo de 150 m.

J₂ - Conglomerados del Dogger, también llamados "Piedra Fabuda". Formado por cantos de naturaleza silíceo en matriz arenosa, de colores claros y amarillentos. Tiene un espesor inferior a 100 m.

J₃ - Facies Purbeck, consistente en una serie concordante de areniscas de grano medio de cuarzo y cuarcita con matriz arcillosa alternadas con arcillas rojas. No suele superar los 100 m de espesor.

5.6.1.d. Cuaternario

Depósitos ampliamente desarrollados en la zona de estudio, y ocupando grandes extensiones de terreno. En la Hoja 28 se diferencia el depósito aluvial sobre la llanura de inundación del Río Alvares, formado por cantos rodados poligénicos en matriz arenoso-arcillosa.

En la siguiente tabla queda recogido un resumen de las litologías encontradas en la zona de estudio, así como su nomenclatura, propiedades hidráulicas y potencias.

Edad		Litología	Propiedades hidráulicas	Espesor (m)	Clave IGME (1985)	Clave MINERSA	
Jurásico	Malm (Purbeck)	Arcillas	Confinante	100	J3	Purbeck	
	Dogger (Fabuda)	Conglomerados	Confinante	100	J2	Fabuda	
	Lías	Calizas/dolomías	Almacén	150	J1	Lías	
Trías	Arcillas rojas con yeso	Confinante		150	T4	T4-2	Trías T1 (+ A.M.)
	Areniscas micáceas			40-60		T4-1	
	Areniscas, margas y Conglomerados			20	T3	T3-3	Trías T2
	Calcáreo dolomítico			10		T3-2	
	Calizas y dolomías	Almacén		7-15	T2	T2-2	Capa Mineralizada
	S. Det. Inf			50		T2-1	Muro
	Devónico	Areniscas, calizas/dolomías	Almacén			T1	Devónico

Tabla 2 – Resumen de litologías.

5.6.2. Tectónica

En la zona de estudio están presentes dos fallas de dirección NO-SE, marcando la más oriental el contacto entre los materiales del Trías y las calizas y dolomías del Lías. Como se muestra en la figura 8 a continuación, ambas interceptan las labores de Mina Moscona, donde la capa mineralizada buza unos 10° hacia el NE, con fallas a unos 70°. Los planos de falla están sellados por material arcilloso (ITGE, 1994).

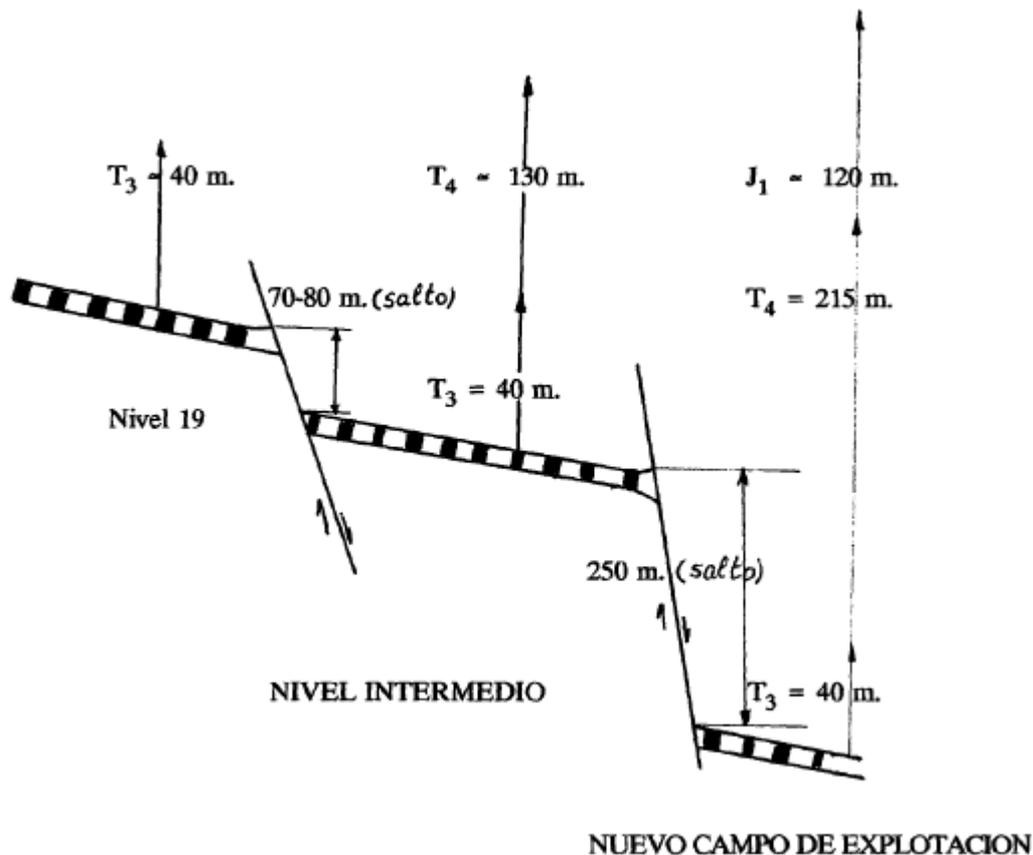


Fig. 8 - Fallas en la explotación.

5.6.3. Hidrogeología

El área de estudio está ubicada hidrogeológicamente en la masa de agua 012.004 denominada "Llantoés-Pinzales-Noreña", donde se encuentran materiales cretácicos, jurásicos y triásicos.

En los acuíferos jurásicos pueden diferenciarse dos tramos, uno detrítico y otro calcáreo dolomítico, siendo este último el más importante de la Unidad. Dentro de los materiales jurásicos, el acuífero calcáreo inferior está formado por calizas y dolomías, con espesores de hasta 150-200 m. Los niveles detríticos superiores están formados por areniscas, calizas y conglomerados alternantes que tienen numerosos pequeños acuíferos discontinuos y se pueden considerar como niveles confinantes.

La recarga de estos acuíferos se realiza mediante infiltración de las precipitaciones desde la red hidrográfica. La descarga se produce a través de manantiales de variada aportación y por los cauces fluviales.

5.7. Yacimiento

La mineralización explotada en la Mina Moscona se presenta en el horizonte de calizas del Trías Medio (T₂), que corresponde a una caliza micrítica con granos dispersos de cuarzo. La mineralización tiene una potencia media de entre 3 y 4 m, alcanzándose los 6 m en las proximidades de las fallas. Como se ha mencionado anteriormente, la capa mineralizada buza unos 10° hacia el NE.

La capa mineralizada contiene principalmente entre un 30 y un 35 % de fluorita, un 35 % de cuarzo y un 25 % de caliza, y pequeños contenidos en algunas zonas de barita, piritita, covellina, azurita, malaquita y galena.

5.8. Método de explotación

El método de explotación empleado en Mina Moscona es el de cámaras y pilares, con unas dimensiones teóricas de pilar de 5 m de ancho por 5 m de largo, una altura de cámara de 3.2 m, galerías de 5 m de ancho por 3.2 m de alto, y separación entre ejes de galería de 10 m. En la figura 9 del siguiente capítulo puede apreciarse un modelo tridimensional de un grupo de pilares, delimitando una galería.

Si bien esa distribución teórica de pilares y galerías se sigue en gran parte de la explotación, es fácilmente apreciable en el plano de labores presente en el Anexo III la existencia de numerosas zonas con una distribución alterada o completamente distinta, debido principalmente a las características geomecánicas del terreno de cada zona y la ley de fluorita en el macizo rocoso. Sin embargo, se utilizará para los modelos y cálculos aproximados la distribución ideal, razonablemente similar a la realidad en gran parte de la explotación.

5.9. Hidrogeología en el interior de la explotación

Dentro del nivel de estudio, debe considerarse la posible infiltración de agua para determinar su idoneidad para el almacenaje.

La mineralización está localizada en el techo del horizonte calcáreo T₃, que consiste en una formación permeable. Sin embargo, tanto la formación a techo como la

formación a muro de la capa mineralizada son arcillosas e impermeables, no permitiendo una recarga natural de la capa mineralizada.

Existe sin embargo un conducto en el lado occidental, señalado en el plano "Embalsamiento y circulación de agua. N 19. Mina Moscona", que constituye el único acceso de agua al interior de las labores. Este acceso se produce varios días después del inicio de un periodo de lluvias, pero su caudal máximo se ha estimado en 3 l/s, y desaparece varios días después del fin de dicho periodo de lluvias, ambos en función de la intensidad y duración (ITGE, 1994).

El plano también muestra las direcciones de escorrentía del agua que accede a las labores, así como sus puntos de embalsamiento.

Dada la escasa importancia de las infiltraciones a las labores, se considera el hueco minero como apropiado para su uso como almacén tanto de residuos inertes como los de demolición, como de graneles.

En cuanto a su composición, las aguas muestreadas en mina Moscona pueden dividirse en tres grupos, en función de su procedencia. El primer grupo consiste en las infiltraciones rápidas, con gran similitud a las aguas de superficie. El segundo, localizado tan sólo en una de las muestras, corresponde a una infiltración en contacto con los niveles de margas con pasadas de yesos del Trías. El tercer y último grupo es el de las aguas antiguas, retenidas en la formación, con una salinidad mayor (ITGE, 1994).

6. APLICACIONES

6.1. Almacenamiento de material durante la explotación

Según los datos del ITGE, de acuerdo con el plano de labores de la mina Moscona (adjunto en el Anexo III), la superficie aproximada del nivel 19 se estima en unos 200000 m².

En la figura 9 se muestra un modelo de pila de material, situada entre cuatro pilares ideales (de 5 x 5 x 3,2 m):

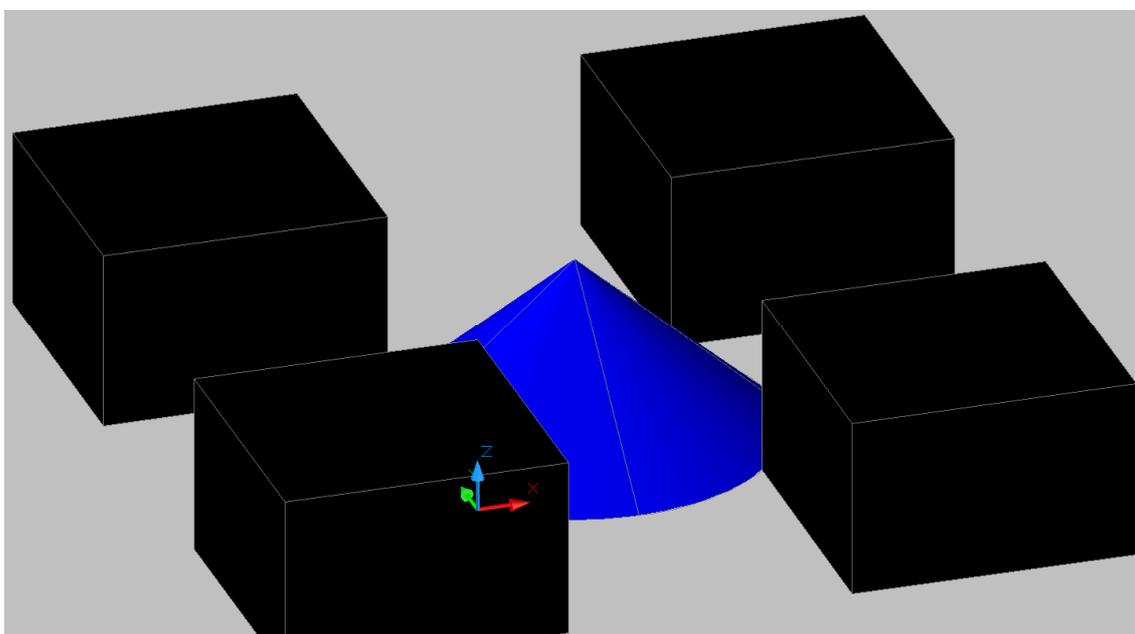


Fig. 9 - Pila unidad.

La "pila unidad" consiste en un cono de diámetro $5\sqrt{2}$ m, y altura 3,2 m (altura de cámara), que resulta en un volumen de unos 42 m³, en una superficie de 39.3 m² (el "hueco cuadrado" entre cuatro pilares sería de 25 m², al igual que los que están entre dos pilares), para material con un ángulo de fricción de 42° (muy cercano al de pilas de granel de carbón, de mineral de hierro o residuos de demolición, como es el caso de estudio).

Este modelo de pila unidad permitiría el almacenamiento de materiales distintos entre sí entre cada pilar, requiriendo como ruta de acceso una línea libre por cada dos ocupadas por material, como se muestra en la figura 10.

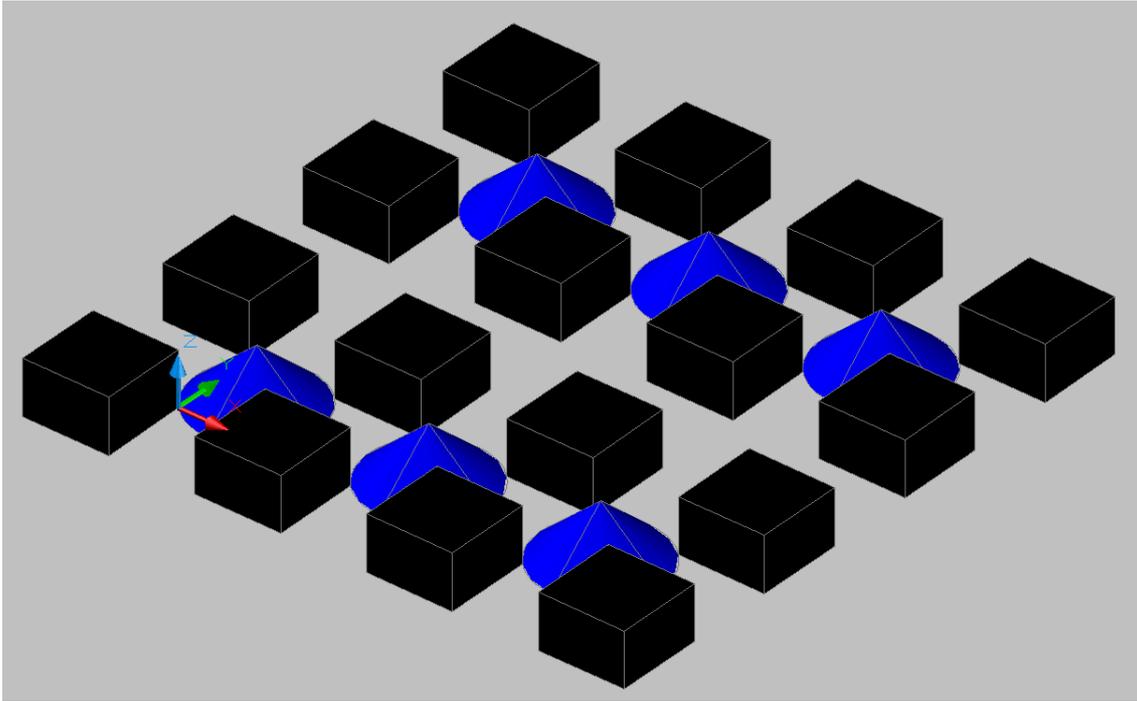


Fig. 10 - Almacenamiento de pilas unidad en serie.

Un almacenamiento en este formato supone el aprovechamiento de aproximadamente dos de cada tres huecos entre cuatro pilares, que representan un tercio de los huecos totales aprovechables (siendo los otros dos tercios los huecos entre dos pilares). Esto supone unos 45000 m² de "huecos cuadrados" o bien unos 70000 m² en ocupados por las bases de los conos (que como es evidente en las figuras 9 y 10, también ocupan parte de los huecos entre dos pilares adyacentes al hueco entre 4), lo que resulta en unas 1750 pilas de 42 m³ (unos 73500 m³).

Un aprovechamiento del espacio más eficiente es muy fácil de obtener suponiendo que no todas las pilas sean materiales distintos. Las pilas pueden ser fácilmente colocadas entre los huecos entre dos pilares adicionalmente a los huecos entre cuatro mediante el uso de palas cargadoras del mismo tipo que se utilizan para la extracción, rellenando de forma casi completa los huecos. Dado que los accesos a todas las pilas de material y al resto de niveles de la explotación siguen siendo imprescindibles, el hueco máximo aprovechable estaría entre un 50 y un 60 % del total de la superficie del nivel 19, unos 110000 m² (352000 m³).

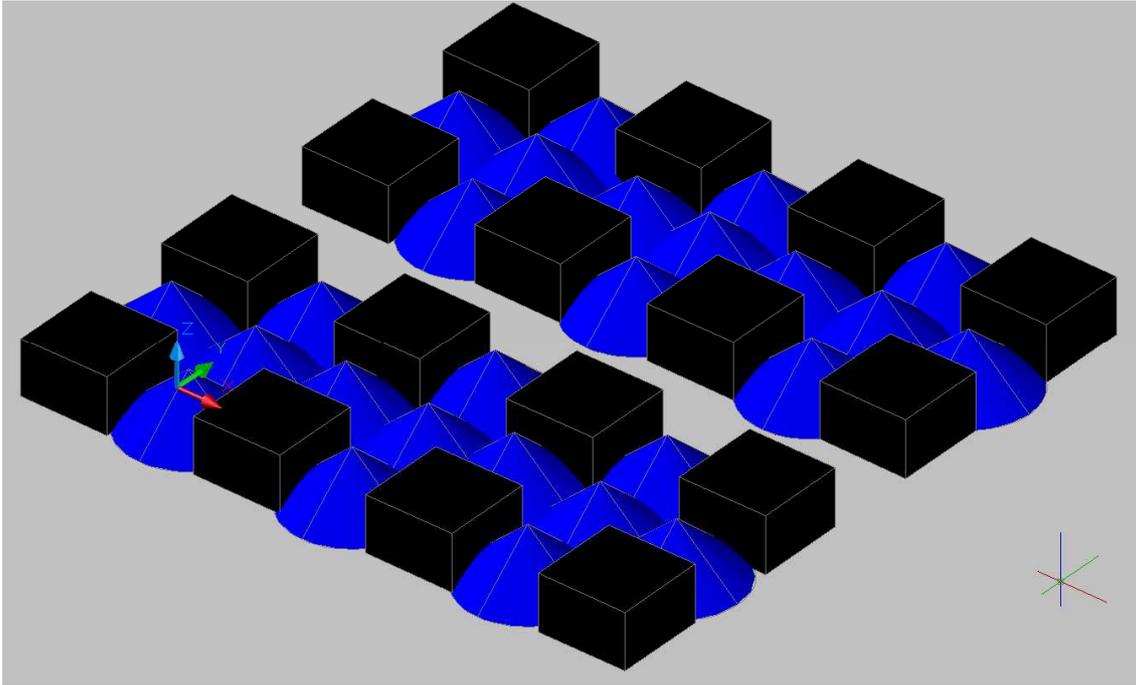


Fig. 11 - Almacenamiento de pilas, empujadas con pala cargadora.

Dado que se prevé el almacenamiento de materiales de distintas procedencias, es prudente suponer que la situación será intermedia entre los supuestos anteriores. Una suposición prudente resulta en unos 90000 m² aprovechados una situación intermedia entre las anteriores, no llegando sin embargo las pilas al techo en todos sus puntos, resultando en unos 200000 m³ aproximadamente.

El material sólido (residuos y graneles) estaría almacenado exclusivamente en las zonas en las que las labores de explotación se consideran concluidas, como el nivel 19, no alterando por tanto significativamente la actividad extractiva. Debe sin embargo tenerse en cuenta que un mayor tráfico de vehículos requiere coordinación adicional en las entradas y salidas, y debe tenerse un control detallado del almacenamiento, si bien aunque una vez en el interior los itinerarios posibles entre dos puntos cualquiera de la mina son muy numerosos, es fácil bloquear muchos de ellos mediante un almacenamiento escasamente planificado.

Los graneles a almacenar, así como los residuos de demolición, serían introducidos o extraídos de las labores mediante el mismo tipo de maquinaria que se utiliza para carga y transporte en la explotación, consistente en palas cargadoras de ruedas y camiones de 20 toneladas.

En cuanto a la ventilación, se considera suficiente la existente en la mina durante las propias labores de extracción, al no esperarse un volumen de tráfico elevado durante el aprovechamiento.

6.2. Almacén de agua para riego tras la clausura de la explotación

En el inventario de estructuras subterráneas del ITGE (ITGE, 1994) está identificado un volumen total de huecos producidos por las labores de 997111 m³ (evidentemente creciente, al mantenerse la explotación en activo).

Las dos principales diferencias frente al almacenamiento de sólidos son evidentes. La primera es que el agua ocupa la práctica totalidad del volumen de huecos de la explotación, y la segunda es que el agua sí puede ser alterada por el contacto con la formación, en función de su tiempo de permanencia.

Esta alterabilidad requiere sellar en la medida de lo posible cualquier posible fuga o acceso de agua no deseados, además de comprobar periódicamente la composición del agua, que debe seguir teniendo utilidad para la finalidad prevista (en este caso, riego).

El agua de infiltración a las labores es de mineralización débil, de acuerdo al estudio hidroquímico del ITGE (ITGE, 1994), y apta para riego al no contener concentraciones por encima de la normativa de ningún contaminante.

Aunque es muy probable que las aguas tampoco superen las concentraciones máximas de elementos disueltos para consumo humano según normativa, el escaso volumen de almacenaje de la mina (1 hm³ aproximadamente) no justifica la preparación adicional requerida para un acuífero del que se abastezca de agua una población.

Es importante sin embargo la necesaria retirada del mayor número de elementos posibles necesarios para la explotación, tal como conductos de ventilación o maquinaria (exceptuando las bombas de extracción, evidentemente) que pudiese alterar la calidad del agua por oxidación o disolución de material. En particular, deberá asegurarse que no queda almacenado en el hueco de la explotación ningún tipo de material procedente del almacenamiento durante la vida de explotación de la mina, que pueden ser susceptibles de alterar la calidad de las aguas.

7. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

En esta sección se detallan los principales materiales objeto de estudio, incluyendo carbón, mineral de hierro, y residuos de demolición como principales materiales a almacenar durante la vida en activo de la mina, y agua tras la clausura de las actividades extractivas.

7.1. Carbón

El carbón a granel tiene una densidad aproximada de entre 700 y 900 kg/m³, con una densidad real de material de entre 1100 y 1800 kg/m³, siendo clasificado principalmente por su contenido en carbono, azufre, humedad, carbono fijo, y cenizas.

Para su almacenamiento a granel en una instalación subterránea, es imperativo vigilar que la pila de material esté correctamente ventilada, para evacuar el calor producido por la oxidación del carbón y evitar su combustión espontánea. Un almacenamiento subterráneo de granel de carbón presenta menor riesgo de combustión espontánea, pero también implica una mayor dificultad de acceso en caso de que se produzca, dificultando las labores de extinción significativamente.

7.2. Mineral de hierro

Los diferentes minerales de hierro tienen una densidad aproximada a granel entre 2100 y 2800 kg/m³, en función del mineral del que se extraiga, así como de la ganga asociada.

Su almacenamiento a granel no presenta mayores complicaciones, cuya única alteración consiste en la oxidación en presencia de atmósfera húmeda. Teniendo en cuenta las condiciones existentes en Mina Moscona, donde la humedad presente es razonablemente baja, la ventilación habitual de las labores resulta suficiente para su almacenamiento.

7.3. Materiales de demolición

No previsto su almacenamiento permanente, si no sólo como posible alternativa provisional a vertedero. La ventaja de esta alternativa consiste en no requerir un vertedero específico para almacenar estos materiales antes de reutilizarlos como relleno

o materia prima para la fabricación de cemento u hormigón.

7.4. Libros

Existen en España actualmente varios almacenes de libros sin salida comercial, que podrían ser almacenados en parte del espacio de Mina Moscona. Si bien no se considera como uno de los materiales principales a almacenar, la mina es susceptible de adaptar una pequeña parte de su extensión al almacenamiento de libros. Una primera estimación indica que el coste actual de almacenaje de los libros de un almacén de la Generalitat, en Riba-roja, es de 4500 €/mes para unos 375000 libros (www.elmundo.es, 2015).

7.5. Residuos sólidos urbanos

En circunstancias puntuales, Mina Moscona puede ser receptora de residuos urbanos para su almacenaje durante cortos espacios de tiempo, por ejemplo en el caso de que se supere temporalmente la capacidad de tratamiento, o se necesite un punto intermedio de carga y descarga. Sin embargo, no se recomienda su utilización para este fin por requerir una limpieza más cuidadosa del espacio tras su utilización previamente a la inundación de la mina.

Tiene mayor interés, por otra parte, el almacenaje provisional de los residuos seleccionados para reciclaje, tales como vidrios, metales o papel, de mayor valor añadido y normalmente menor peligrosidad, por presentar normalmente un riesgo menor de lixiviados así como una menor toxicidad.

7.6. Agua

Se prevé la inundación de la mina tras la finalización de las labores, lo que requiere la retirada de todos los elementos posibles de las labores de explotación y almacenamiento, incluyendo ventilación, maquinaria, iluminación y restos de posibles materiales almacenados que puedan alterar la calidad de las aguas.

La finalidad de la cavidad de 1 hm³ (a fecha de 1994) es la de servir como agua de regadío a la comunidad del concejo de Corvera, debido a la facilidad para extraer el agua de la explotación por su proximidad a superficie.

Por los datos hidroquímicos del ITGE (ITGE, 1994), es posible su utilización como agua para consumo humano, si bien en la provincia de Asturias no tiene gran utilidad la utilización de Mina Moscona para ese fin por su escasa entidad, además de requerir controles adicionales para garantizar la potabilidad del agua.

8. LOGÍSTICA

La utilización del nivel superior de Mina Moscona como almacén tiene una ventaja logística muy importante, que consiste en que los camiones utilizados para la extracción de mineral pueden ser introducidos en la mina cargados con el granel a almacenar, descargar en el punto de almacén y proceder a la carga y extracción de mineral, reduciendo el tiempo de viaje de los camiones en vacío. Otra ventaja del sistema es que de requerir una mayor capacidad de extracción de mineral por razones de demanda o acopio, puede suprimirse la etapa de entrada en carga para minimizar el tiempo que requiere cada camión desde su entrada hasta su expedición con carga.

Es importante destacar que los camiones de almacenaje deben seguir estrictamente las normas de circulación establecidas en el interior de la mina, dado que aumentar el volumen de tráfico requiere una mejor coordinación de las entradas y salidas, así como de las rutas a seguir en el interior de la explotación para garantizar condiciones de seguridad adecuadas.

Para permitir una operación sin incidentes, es recomendable la instalación de iluminación en las rutas principales a seguir por los camiones de almacenaje, tales como los accesos entre pilas de material (figuras 10 y 11), garantizando que tanto la entrada como la salida a cada grupo de pilas se realiza por puntos distintos, evitando la circulación en ambos sentidos por la misma galería. La utilización de señales luminosas junto con iluminación principal implica mejoras tanto en seguridad como en eficiencia, al permitir el tránsito por las rutas de forma más rápida y organizada, así como condiciones de trabajo más cómodas al no tener que depender exclusivamente de la escasa iluminación de la maquinaria.

9. BIBLIOGRAFÍA

NORMATIVA LEGAL

- <http://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1973-1018> (Recuperado el 4 de julio de 2016).
- <http://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-12913&p=20150302&tn=1> (Recuperado el 4 de julio de 2016).
- <http://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-14276> (Recuperado el 4 de julio de 2016).
- <http://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1995-24292> (Recuperado el 4 de julio de 2016).
- <http://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2009-9841> (Recuperado el 4 de julio de 2016).
- <http://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2002-1697> (Recuperado el 4 de julio de 2016).

INFORMES DEL ITGE

- ITGE, 1994. Estructuras subterráneas. Inventario y caracterización. Aplicación a un caso concreto. 2ª. Fase. Aplicación mina Moscona. Resumen de los trabajos. Conclusiones y recomendaciones. Convenio específico. ITGE - Principado de Asturias. Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales, Ministerio de Industria y Energía, 32 p.
- ITGE, 1994. Estructuras subterráneas. Inventario y caracterización. Aplicación a un caso concreto. 2ª. Fase. Aplicación mina Moscona. Estudio geológico. Convenio específico. ITGE - Principado de Asturias. Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales, Ministerio de Industria y Energía, 63 p.
- ITGE, 1994. Estructuras subterráneas. Inventario y caracterización. Aplicación a un caso concreto. 2ª. Fase. Aplicación mina Moscona. Estudio estructural.

Convenio específico. ITGE - Principado de Asturias. Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales, Ministerio de Industria y Energía, 93 p.

- ITGE, 1994. Estructuras subterráneas. Inventario y caracterización. Aplicación a un caso concreto. 2ª. Fase. Aplicación mina Moscona. Estudios geomorfológico, neotectónico y sismotectónico. Convenio específico. ITGE - Principado de Asturias. Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales, Ministerio de Industria y Energía, 34 p.
- ITGE, 1994. Estructuras subterráneas. Inventario y caracterización. Aplicación a un caso concreto. 2ª. Fase. Aplicación mina Moscona. Estudio hidrogeológico. Convenio específico. ITGE - Principado de Asturias. Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales, Ministerio de Industria y Energía, 48 p.
- ITGE, 1994. Estructuras subterráneas. Inventario y caracterización. Aplicación a un caso concreto. 2ª. Fase. Aplicación mina Moscona. Estudio hidroquímico. Convenio específico. ITGE - Principado de Asturias. Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales, Ministerio de Industria y Energía, 48 p.
- ITGE, 1994. Estructuras subterráneas. Inventario y caracterización. Aplicación a un caso concreto. 2ª. Fase. Aplicación mina Moscona. Estudio de procesos activos. Convenio específico. ITGE - Principado de Asturias. Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales, Ministerio de Industria y Energía, 20 p.
- ITGE, 1994. Estructuras subterráneas. Inventario y caracterización. Aplicación a un caso concreto. 2ª. Fase. Aplicación mina Moscona. Estudio geotectónico y de subsidencia (Ensayos de laboratorio). Convenio específico. ITGE - Principado de Asturias. Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales, Ministerio de Industria y Energía, 33 p.
- ITGE, 1994. Estructuras subterráneas. Inventario y caracterización. Aplicación a un caso concreto. 2ª. Fase. Aplicación mina Moscona. Estudio geotectónico y de subsidencia. Convenio específico. ITGE - Principado de Asturias. Secretaría

General de la Energía y Recursos Minerales, Ministerio de Industria y Energía, 145 p.

- ITGE, 1994. Estructuras subterráneas. Inventario y caracterización. Aplicación a un caso concreto. 2ª. Fase. Aplicación mina Moscona. Estudio de expansión y convergencia. Convenio específico. ITGE - Principado de Asturias. Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales, Ministerio de Industria y Energía, 68 p.
- ITGE, 1994. Estructuras subterráneas. Inventario y caracterización. Aplicación a un caso concreto. 2ª. Fase. Aplicación mina Moscona. Informe ambiental. Convenio específico. ITGE - Principado de Asturias. Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales, Ministerio de Industria y Energía, 20 p.
- ITGE, 1994. Estructuras subterráneas. Inventario y caracterización. Aplicación a un caso concreto. 1ª. Fase: inventario. Convenio específico. ITGE - Principado de Asturias. Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales, Ministerio de Industria y Energía, 66 p.

MANUALES

- V. Popov, R. Pusch, 2006. Disposal of hazardous waste in underground mines. Southampton, WIT Press, 288 p.
- Felicísimo Pérez, A.M. (1990): «El clima de Asturias». En *Enciclopedia temática de Asturias*, 10 (fasc. 200-202): 179-208. Silverio Cañada Ed. Gijón.

RECURSOS WEB

- <http://www.gijonportcommunity.es/directorio/european-bulk-handling-installation-s-a-ebhi-s-a/> (Recuperado el 4 de julio de 2016).
- <http://www.parquedecabarceno.com/inicio> (Recuperado el 4 de julio de 2016).
- <http://ecomedioambiente.com/parques-naturales-y-nacionales-de-espana/restauracion-ecologica-mina-cabarceno/> (Recuperado el 4 de julio de 2016).

- <http://neori.org/resources-on-co2-eor/how-co2-eor-works/> (Recuperado el 4 de julio de 2016).
- https://www.netl.doe.gov/file%20library/research/oil-gas/CO2_EOR_Primer.pdf (Recuperado el 4 de julio de 2016).
- <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/231208/> (Recuperado el 4 de julio de 2016).
- <https://www.google.es/maps/> (Recuperado el 4 de julio de 2016)
- https://www.google.es/intl/es_es/earth/ (Recuperado el 4 de julio de 2016)
- <http://paginasdelprincipado.es/blog/wp-content/uploads/2014/05/concejos-en-asturias.jpg> (Recuperado el 4 de julio de 2016)
- http://www.aemet.es/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones (Recuperado el 4 de julio de 2016)
- <http://www6.uniovi.es/~feli/Clima/Ptotal.jpg> (Recuperado el 4 de julio de 2016)
- http://www.bedri.es/Asturias/Medio_natural/mapas_clima/temperaturas.jpg (Recuperado el 4 de julio de 2016)
- http://elpais.com/diario/2010/11/10/cultura/1289343601_850215.html (Recuperado el 4 de julio de 2016)
- <http://www.elmundo.es/comunidad-valenciana/2015/12/30/5683e20022601d89798b4594.html> (Recuperado el 4 de julio de 2016)
- <http://www.ecologistasenaccion.es/article17324.html> (Recuperado el 4 de julio de 2016)
- http://www.agenda21jaen.com/export/sites/default/galerias/galeriaDescargas/agenda21/Aplicaciones/documentacion/Diagnosis-provincial/29._Residuos.pdf (Recuperado el 4 de julio de 2016)

- http://www.uclm.es/users/higuera/MGA/Tema06/Tema_06_Residuos_1.htm
(Recuperado el 4 de julio de 2016)
- http://www.osiatis.es/iso_14001/planificacion-evaluacion-residuos-inertes.php
(Recuperado el 4 de julio de 2016)

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA

- IGME, 1973. Mapa Geológico Nacional. E. 1:50.000. Hoja de Avilés (Hoja 13). Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria. Disponible en www.igme.es (Recuperado el 4 de julio de 2016).
- IGME, 1973. Mapa Geológico Nacional. E. 1:50.000. Hoja de Gijón (Hoja 14). Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria. Disponible en www.igme.es (Recuperado el 4 de julio de 2016).
- IGME, 1973. Mapa Geológico Nacional. E. 1:50.000. Hoja de Grado (Hoja 28). Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria. Disponible en www.igme.es (Recuperado el 4 de julio de 2016).
- IGME, 1973. Mapa Geológico Nacional. E. 1:50.000. Hoja de Oviedo (Hoja 29). Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria. Disponible en www.igme.es (Recuperado el 4 de julio de 2016).