



**Segona petició de dades complementàries al
PLA DE RESTAURACIÓ DE LES INSTAL·LACIONS
D'IBERPOTASH SA A SÚRIA I SALLENT/BALSARENY
SEGONS RD 975/2009**

ANNEX 1

Backfilling en la minería:
El caso de la potasa y la minería del Bages.
Dr.Jesús Artieda. Julio 2016

Backfilling en la minería

El caso de la potasa y la minería del Bages

Rev. 01

Redacción

Jesús Artieda. Doctor Ingeniero de Minas (UPM) y Máster en Economía y Dirección de Empresas (IESE). DNI: 09723582X.

Documento:	Backfilling en la minería. El caso de la potasa y la minería del Bages.
Revisión	Cambios
01	Edición inicial.

	Nombre	Fecha	Firma
Redactado y aprobado	Jesús Artieda	01/07/2016	

ÍNDEX

1. BACKFILLING	6
1.1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.2. PRINCIPIOS BÁSICOS.....	7
1.2.1. Hueco	7
1.2.2. Seguridad del hueco	9
1.2.3. Factor de esponjamiento	10
1.3. GEOMETRÍA DE LA EXPLOTACIÓN	10
1.4. TECNOLOGÍAS DE BACKFILLING	11
1.4.1. Backfilling mecánico.....	11
1.4.2. Backfilling hidráulico	12
1.4.3. Backfilling en pasta.....	13
1.5. INFRAESTRUCTURA PARA EL RELLENO	14
1.5.1. Relleno mecánico.....	14
1.5.1.1. Relleno con estéril (waste-rock)	15
1.5.1.2. Relleno con colas (tailings).....	15
1.5.2. Relleno hidráulico	15
1.5.3. Relleno de pasta.....	16
1.5.4. El relleno como mejor técnica disponible	16
2. EL BACKFILLING EN LA MINERIA DE POTASA	18
2.1. REFERENCIAS.....	18
2.2. ESTUDIO DE CASOS CONCRETOS.....	19

3. EL CASO DE LA MINERIA EN LA CUENCA POTÁSICA CATALANA	23
3.1. LA CAPA DE SAL	23
3.1.1. Litología de la capa de sal.	23
3.1.2. Geometría	24
3.2. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN.....	25
3.3. AGUA Y MINERÍA DE SALES	26
3.4. CONVERGENCIA Y DESESTABILIZACIÓN.....	27
3.5. TRATAMIENTO DE MINERAL	28
3.6. POSIBILIDAD DE UTILIZAR EL RELLENO	28
3.6.1. Relleno hidráulico	28
3.6.2. Relleno de pasta.....	31
3.6.3. Relleno mecánico.....	32
3.6.3.1. Relleno con waste-rock	32
3.6.3.2. Relleno con tailings	33
4. CONCLUSIONES.....	35

FIGURAS

Figura 1. Método de explotación por corte y relleno ascendente. 7

Figura 2. Método de explotación en tajo largo..... 8

Figura 3. Sistema de extracción de agua de relleno hidráulico. 12

*Figura 4. Corte geológico. Arriba: general. Abajo: zoom sobre una unidad de explotación
(panel)..... 24*

Figura 5. Hueco que deja la explotación. 25

Figura 6. Hueco que dejaría un explotación totalmente horizontal. 25

Figura 7. Explotación por cámaras y pilares. 26

Figura 8. Reparto del relleno hidráulico máximo posible desde el exterior. 29

Figura 9. Relleno hidráulico por fases..... 30

1. BACKFILLING

1.1. INTRODUCCIÓN

El “backfilling” o relleno, como es conocido tradicionalmente en la minería de la península Ibérica, es la operación que consiste en volver a rellenar los huecos generados por la explotación minera con material no útil, que bien puede venir de otras zonas de la explotación, bien de la planta de tratamiento de mineral o bien de otras fuentes.

Los métodos de explotación utilizados en minería son muy variados y, utilizando la tecnología existente en cada momento, se adaptan a las necesidades particulares de cada mina. Estas condiciones particulares son muchas, pero las más importantes son: geometría del yacimiento mineral, características químicas y físicas de las rocas incluida la geotecnia, tanto del mineral como del estéril, atmósferas explosivas, interacción de los materiales con el agua, ley de mineral existente, etc.. También es muy importante los materiales disponibles, por ejemplo como se verá posteriormente, la granulometría disponible y esto va a depender tanto de las características del yacimiento como del tratamiento de concentración de mineral

El relleno clásicamente se realiza por dos motivos:

1. El propio método minero requiere material para poder llevarse a cabo. Esto ocurre por ejemplo en el denominado método de corte y relleno ascendente (ver Figura 1), donde la explotación se realiza de abajo a arriba, se va extrayendo el mineral y es necesario introducir relleno para tener una plataforma de trabajo que permita seguir explotando el mineral que aún queda arriba.
2. Por motivos de seguridad se introduce material bien por necesidades geomecánicas, bien por tener, de esa manera, la posibilidad de minar algunas zonas de mineral que se han tenido que dejar durante la explotación.

En la actualidad se utiliza el relleno por un tercer motivo que es el disminuir el impacto ambiental. En particular el impacto generado por la disposición de materiales minados y/o procesados en la superficie. De esta manera el material que se iba a depositar en la superficie se vuelve a introducir en la mina.

Se podría añadir un cuarto motivo asociado a la gestión de residuos no provenientes de la actividad minera, pero no es el objeto de esta nota.

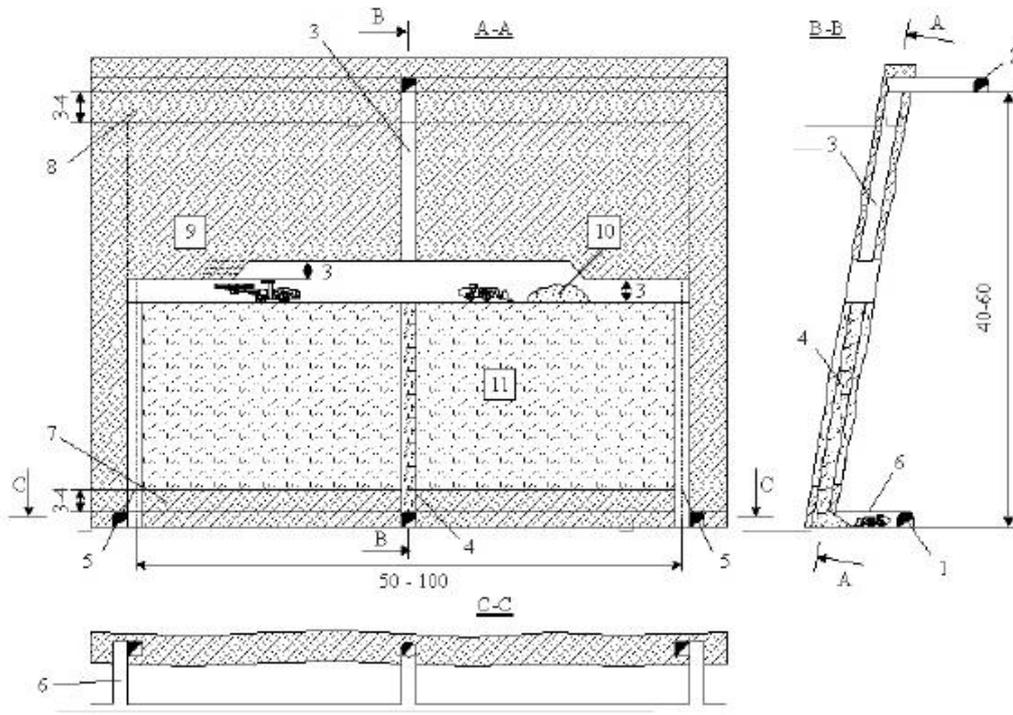


Figura 1. Método de explotación por corte y relleno ascendente.

La introducción de relleno no es una tarea baladí, pues no solo se requiere que técnica y económicamente sea viable sino que implica la realización de infraestructuras específicas, tener distintos flujos de material, así como una organización del trabajo mucho más compleja. La mina debe ser diseñada específicamente para poder hacer relleno. Téngase en cuenta, se detallará posteriormente, que el manejo del relleno puede suponer manejar volúmenes de material similares a los que supone la producción en si misma, es decir se duplica el volumen de material a gestionar, habiendo dos circuitos de materiales.

1.2. PRINCIPIOS BÁSICOS

1.2.1. Hueco

Para poder hacer relleno es condición “sine qua non” disponer de un hueco. Aunque pudiera pensarse que en una mina siempre se generan huecos porque se extrae mineral, esto no es del todo verdad por varios motivos. Existen métodos de explotación minera que el hueco que se genera no es estable en ninguna condición y se derrumba el techo de forma inmediata. Este es el caso de la explotación en tajo largo (ver Figura 2), donde se va generando un hueco que se cierra de forma inmediata, mas, por razones de seguridad, se tiene que cerrar de forma inmediata, si no fuera así no se podría utilizar este método.

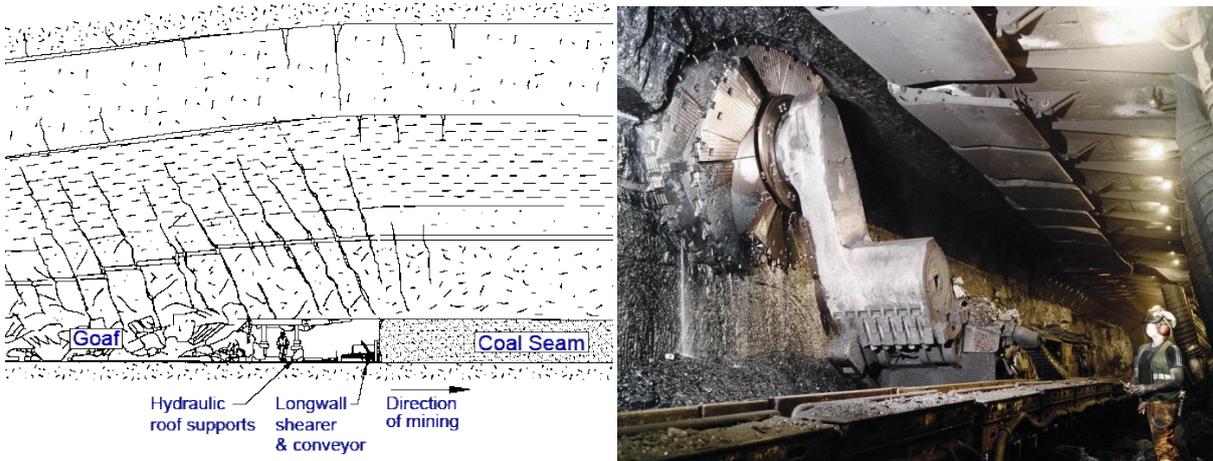


Figura 2. Método de explotación en tajo largo.

Hay otros casos de explotaciones donde el cierre del hueco no es tan inmediato pero poco a poco se va cerrando, lo que se denomina convergencia. Esto afecta tanto al hueco a rellenar como a la infraestructura necesaria para acceder a estos huecos. Esta convergencia es fundamental tenerla en cuenta cuando se diseñan rellenos pues pueden hacer que las presiones de poro aumenten muy por encima de la original generando serio riesgo de accidentes. Este es el caso que puede ocurrir cuando el relleno es hidráulico y no se evacua la totalidad del agua.

La convergencia también afecta a la cantidad de relleno que se puede meter en un hueco. En una mina con convergencia cuanto más se tarde en rellenar menos relleno cabrá.

Otro aspecto importante a la hora de valorar el hueco es la estabilidad de los techos. Hay materiales, por ejemplo en la minería de potasa, que se degradan con facilidad cuando se ponen en contacto con el aire, esto hace que al cabo de un periodo de tiempo esos techos se derrumben, siendo un serio problema de seguridad. La caída de techos es el origen de buena parte de los accidentes laborales en una mina. Las condiciones ambientales, por ejemplo la humedad, tienen una gran importancia en la degradación de los techos.

Tanto la convergencia como la estabilidad de los techos determinan la accesibilidad al hueco. Esto también marcará las posibilidades de relleno pues algunas geometrías de hueco no se podrán rellenar si no se tiene acceso total al mismo. Por este motivo el relleno en cámaras verticales es mucho más fácil y posible que en cámaras horizontales.

Parte de los huecos que se hacen en una mina tienen que permanecer abiertos, este es el caso de galerías generales, galerías de ventilación, talleres, almacenes de material minado, etc., etc. y por tanto no se pueden rellenar. Este tipo de huecos son los que hay que

mantener realizando diversas operaciones como la entibación, el bulonado o el rectificado periódico.

Cuando una mina se abandona parte de estos huecos “no rellenables” teóricamente se podrían rellenar pero no puede ser la totalidad de ellos. Por ejemplo, mientras haya cualquier tipo de actividad hay que asegurar la ventilación. Si la mina no hacía relleno con aportación de material del exterior la infraestructura de producción no es suficiente para hacer el relleno, por ejemplo, en una mina parte del transporte del mineral se hace por gravedad, si ahora se quiere meter material, en al menos en estos tramos, habrá que hacer nuevas galerías para instalar elevadores. El sistema de transporte para extracción hay que modificarlo, por ejemplo para sacar mineral por cinta de una mina la tolva que alimenta la cinta debe estar situada sobre la cinta, si esta cinta, suponiendo que se puede invertir su dirección de marcha, es la que introduce el material en la mina la tolva de descarga, necesaria para regular el trabajo, tendrá que estar situada debajo de la cinta, por tanto hay que hacer una tolva nueva. Como es fácil entender la excavación de la nueva tolva generará un excedente de material que habrá que guardar en algún sitio y debido al esponjamiento se necesitará más espacio que el creado, lo cual es una contradicción desde los aspectos técnicos y medioambientales.

Aunque las condiciones particulares de cada mina serán las que determinen la cantidad de relleno posible en el sector se maneja la cifra que en general es muy difícil introducir el equivalente a más del 50% del tonelaje extraído. Esta cifra también se maneja por el documento de referencia la Unión Europea sobre minería (**Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities. January 2009. EUROPEAN COMMISSION**) donde en su pág. 86 dice, en términos generales antes de entrar en las particularidades de cada tipo de minería, entre ellas la potasa que tratará específicamente, lo siguiente: “Debido al incremento de volumen un máximo de alrededor del 50% del tonelaje total extraído es lo que puede ser utilizado como relleno”.

1.2.2. Seguridad del hueco

Este es un punto fundamental y criterio fundamental a la hora de tomar decisiones.

El hueco no tan solo tiene que permanecer abierto sino que debe tener seguro su acceso para los equipos de trabajo si este acceso fuera necesario. En un hueco minero es muy habitual la caída de piedras de los techos. Estas caídas son una causa muy común de accidentes de mina. En ciertas minerías a este peligro propio hay que añadirle que la roca

al contacto con el aire se degrada perdiendo propiedades mecánicas y haciendo que el peligro de caída aumente de forma muy rápida.

Este es otro de los motivos que hacen que el relleno de cámaras verticales sea más habitual que cámaras horizontales. En el caso de verticales se puede hacer el relleno sin acceder al hueco mientras que en las horizontales es necesario acceder al hueco.

Otro aspecto importante de la seguridad es que no se puede estar explotando al lado de un lugar donde se está haciendo relleno pues la rotura de un pilar o de un mamparo puede hacer que el relleno invada la zona donde se está trabajando con un riesgo inaceptable para las personas.

1.2.3. Factor de esponjamiento

Por factor de esponjamiento se entiende en minería el aumento de volumen que tiene una roca cuando esta se arranca ya sea por medios mecánicos o por explosivos. Esto produce que si se hace un hueco no se pueda volver a meter la roca arrancada en ese hueco pues ahora el volumen que ocupa es mayor. El factor de esponjamiento puede variar mucho y contribuye a que en la práctica puede hacer que se requiera el doble de volumen de hueco para meter el material extraído del mismo.

1.3. GEOMETRÍA DE LA EXPLOTACIÓN

Uno de los factores principales que se debe considerar en el diseño de un sistema de relleno o backfilling es la geometría de la explotación. Esta geometría condiciona en la práctica que se pueda realizar o no relleno. En los huecos verticales el relleno es una técnica más viable que en los horizontales. Esto se debe los siguientes hechos:

1. El relleno se realiza desde arriba esto hace que:
 - a) Sea una operación segura pues el relleno no puede “caer” encima de quien está haciendo la operación.
 - b) Permite desde un solo o pocos puntos de vertido rellenar mayoritariamente el hueco.
 - c) No sean necesarios medios de arrastre o compactación (caso de relleno mecánico).
2. El relleno se puede realizar desde el exterior del hueco no es necesario que las personas accedan al hueco de la explotación.

3. No es necesario compartimentar el hueco para ir rellenando separadamente compartimento a compartimento, se puede rellenar el hueco en su conjunto. Por tanto no es necesario construir mamparos en zonas explotadas.
4. Por la relación base a altura se aprovecha mejor el hueco.
5. En el caso del relleno hidráulico es más fácil recoger el agua pues hay una dirección preferente de circulación.
6. La operación es más barata pues no se requieren mamparos intermedios, tanto la infraestructura de relleno como en su caso de recogida de agua se simplifica, es más seguro y se aprovecha mejor el hueco.

Esto hace que el relleno se utilice mucho más, cuando las características del yacimiento y la explotación lo permite, en casos de explotaciones verticales que en horizontales.

1.4. TECNOLOGÍAS DE BACKFILLING

Existen tres grandes tipos de backfilling:

1. Mecánico
2. Hidráulico
3. Pasta

1.4.1. Backfilling mecánico

Es el backfilling más sencillo, se deposita en el hueco el material de relleno directamente. En caso de huecos verticales accesibles desde arriba el backfilling se puede realizar lanzando el material desde arriba. En caso de huecos horizontales se va requerir el empujado mecánico del material. Esto no solo complica la actividad sino que obliga a acceder al hueco a los trabajadores incrementando los riesgos laborales. Adicionalmente, hace que el volumen que se pueda rellenar por hueco útil de partida disminuya.

La granulometría del relleno vendrá determinada por el momento temporal en el que se ha decidido que va a constituir un material de relleno. Básicamente puede venir de labores de arranque en galería o frente de producción (waste-rock según la terminología anglosajona) o puede venir de la planta de tratamiento (tailings).

1.4.2. Backfilling hidráulico

Aquí al material de relleno se le añade agua, más del 50% en volumen. Se le añade agua para conseguir un “slurry” que sea fácil de transportar haciendo en la medida de lo posible que la energía del transporte la aporte la gravedad, al menos en la bajada. El añadir agua hace que el relleno fluya con mucha más facilidad lo que permite acceder a zonas que no serían accesibles por el relleno mecánico. Por otro lado tanto la granulometría como el agua aportada permiten que no se generen huecos sin rellenar, que no solo suponen una pérdida de espacio, sino que son fuentes de posibles derrumbes posteriores. Adicionalmente el estado fluido del relleno permite que se tenga la posibilidad de rellenar grandes huecos desde un punto, esto disminuye de forma importante tanto la infraestructura, como la logística así como aumenta la seguridad al poder hacer el relleno desde puntos seguros.

En este relleno es básico poder eliminar el agua que se ha introducido, para esto es necesario realizar una serie de paramentos que retenga los sólidos y permitan pasar el agua. De no ser así pueden ocurrir que la presión de poro alcance valores elevados pudiendo generar problemas geomecánicos, también podría generarse licuefacción en ciertas condiciones. En minas con convergencias importantes esto es un gran problema. Por las necesidades de extraer el agua, el material que se usa como relleno debe tener una granulometría adecuada, para tener una permeabilidad adecuada, lo que obliga a su vez a eliminar la fracción más fina. Esto hace que la densidad del material baje de forma significativa pudiendo llegar a ser tan solo la mitad de la densidad del material original.

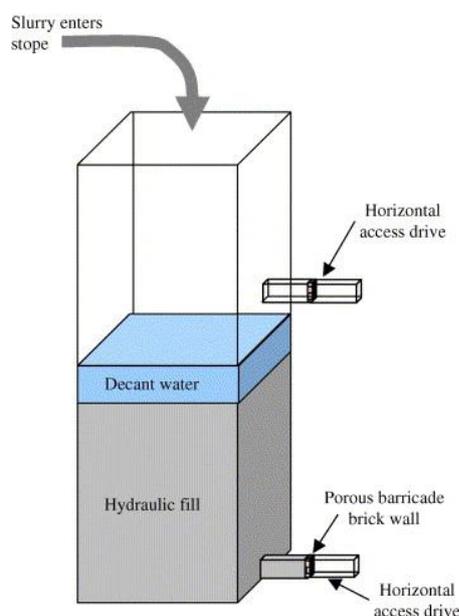


Figura 3. Sistema de extracción de agua de relleno hidráulico.

El volumen de agua requerido es similar al volumen de material que se introduce esto quiere decir que el volumen de agua a gestionar es importante y se requerirá una infraestructura adecuada.

Por las necesidades de separar el agua del relleno propiamente dicho no se puede hacer el relleno de una sola vez. Hay que rellenar, esperar a que el agua se extraiga, rellenar más hueco, esperar nuevamente, rellenar, etc. Esto consume tiempo y si hay convergencia se estará perdiendo hueco.

La geometría del hueco debe ser sencilla y ello por varios motivos:

1. El agua debe ser recogida en el menor número de puntos posibles pues en caso contrario se requiere una infraestructura compleja. Si el hueco es horizontal es muy difícil garantizar que se recoja el agua en un solo punto y a una velocidad adecuada.
2. Las geometrías complicadas obligan a realizar muchos mamparos para contener el relleno obligando a realizar rellenos parciales, y esperar que se consoliden, pues no se podría rellenar todo el hueco de una vez. Esto también hace que deba haber numerosos puntos desde donde se rellene.
3. Por temas de seguridad no sería recomendable hacer rellenos en zonas próximas a donde se están realizando otros trabajos. Un fallo de un mamparo, por ejemplo, podría generar una corriente de relleno que arrastrase personal y maquinaria.

Un problema añadido con este tipo de relleno se dará si el agua reacciona física o químicamente con los materiales de la mina. Aunque es un tema muy específico en minas con cierta profundidad se pueden alcanzar temperaturas de roca elevadas (por ejemplo 50º C) por lo que hay que tenerlo en cuenta en la reactividad o tan solo en la solubilidad de algunos materiales.

Así mismo la introducción de agua puede hacer que aumente sensiblemente la sensación térmica lo que hace el trabajo más dificultoso, incluso se puede llegar a superar los umbrales establecidos por las normas seguridad e higiene lo que implicaría la parada de la actividad.

1.4.3. Backfilling en pasta

El backfilling en pasta nace para poder utilizar como material de relleno los finos de los procesos de concentración de minerales donde es necesario moler muy fino para permitir, por ejemplo con flotación, alcanzar rendimientos aceptables. Este material no es utilizable

en el relleno hidráulico pues su permeabilidad es baja y no se puede asegurar que se extrae el agua utilizada con el relleno.

A este relleno se le añade necesariamente un aglomerante, como puede ser el cemento. La composición adecuada de la pasta puede hacer innecesaria la necesidad de tener que retirar agua alguna, no existe un excedente de agua.

La cantidad de agua utilizada es inferior a la utilizada en el relleno hidráulico.

El transporte de la pasta es mucho más difícil que el transporte del relleno hidráulico anterior. El sistema de transporte es más complejo requiriendo especificaciones más complejas en materiales, bombas, etc... La utilización de aglomerantes todavía complica más el método pues una parada puede implicar la necesidad de limpiar la red suministro de pasta lo cual puede ser tarea muy compleja y no permitir el relleno durante largos periodos de tiempo.

Tener una pasta adecuada tanto para que cumpla los objetivos del relleno como para que esta sea fácilmente manejable requiere realizar muchos ensayos tanto en laboratorio como en la práctica industrial.

Tanto el backfilling de pasta como el hidráulico requieren una granulometría concreta, esta granulometría va a venir marcada por el proceso de tratamiento del mineral y por tanto este será el que marque si es posible uno u otro.

1.5. INFRAESTRUCTURA PARA EL RELLENO

1.5.1. Relleno mecánico

El relleno mecánico se puede realizar con dos materiales distintos. El primero es cuando se utiliza para el relleno material que ya en mina se clasifica como estéril (waste-rock). El segundo es el material proveniente de la planta de tratamiento (tailings).

El primero es un material sin clasificar con una amplia diferencia de granulometría, dependiendo del método de arranque y de carga incluso puede llegar a piedras de tamaño métrico.

El segundo material es el rechazo de la planta de tratamiento, su granulometría es más homogénea y depende del proceso de tratamiento de mineral, en general pueden ir de arenas a fracciones muy finas.

1.5.1.1. Relleno con estéril (waste-rock)

En este caso no es necesario sacar el material de la mina y no requiere infraestructura específica alguna si se programan las actividades para que el material arrancado vaya directamente del frente de trabajo al relleno. Si no se pudiera hacer de esta manera sería necesario generar zonas de almacenamiento temporal, y adicionalmente, por ejemplo si hay que transportarlo en cinta, al menos una estación de machaqueo.

1.5.1.2. Relleno con colas (tailings)

En este caso el material no viene del frente de trabajo si no de la planta de tratamiento, habitualmente instalada en el exterior. Esto implica necesariamente dotar a la mina de una infraestructura que permita volver a bajar el material al interior. Dependiendo de los turnos de trabajo y de las características del sistema de extracción del mineral desde la mina este será utilizable o no para bajar el mineral nuevamente a la mina, en general no lo será. Es importante señalar que esto puede obligar a duplicar el sistema de transporte actual. Aumentar la capacidad de transporte en un pozo o en una rampa puede obligar a realizar otro pozo u otra rampa.

Aún en el mejor de los casos de que no fuera necesario aumentar el sistema de extracción si sería necesario ampliar la infraestructura dentro de la mina lo que implica sistemas específicos, se necesita un sitio de descarga del material, no sirve el de carga, parte del transporte del mineral se hace por gravedad, ahora los estériles deben ir en dirección contraria y por tanto hay que disponer de sistemas de transporte adicionales que requieren nuevas galerías y nuevos puntos de almacenaje.

1.5.2. Relleno hidráulico

El relleno hidráulico se podría generar tanto dentro de la mina como en el exterior. En cada caso la infraestructura es distinta. Posiblemente el caso más sencillo es cuando la mezcla agua-relleno se hace en el exterior, de esta manera el material va todo por una sola tubería y no es necesario tener un sistema para el material seco y una tubería para el agua, tampoco es necesario un almacén de relleno en el interior ni una reserva de agua. Como se ha indicado, el inconveniente que presenta este método es que el agua recogida es necesaria bombearla al exterior.

Por otro lado el relleno hidráulico requiere, como ya se ha dicho también anteriormente, la instalación de mamparos que retengan los sólidos y permitan evacuar el agua. En el diseño

de las operaciones hay que tener en mente que estos mamparos pueden ceder y por tanto generar una riada de “relleno hidráulico” por la explotación minera. Por este motivo y por seguridad no se debe permitir que la rotura de un mamparo anegue zonas donde se está trabajando. Esto hace que no sea recomendable realizar labores de explotación y relleno de forma simultánea en una misma zona de la mina pero tampoco que se rellene por delante del mamparo. Esta situación de tener que rellenar por delante del mamparo se da en la explotación de capas horizontales.

1.5.3. Relleno de pasta

La infraestructura para el relleno con pasta es conceptualmente similar a la ya expresada anteriormente, se diferencia en los equipos, se suelen utilizar bombas de pistón, y se requiere mucha mayor potencia por la viscosidad de la pasta.

En el caso de la pasta la necesidad de mezclar diversos materiales (habitualmente 4) y por tanto bajarlos a la mina, parece que hace de mayor interés la instalación en superficie pero hay que tener en cuenta que las presiones de trabajo son superiores y es necesario utilizar tuberías de mayor calidad, así mismo la velocidad del fluido en tubería es inferior con lo que para manejar el mismo volumen de relleno se necesitan tuberías de mayor diámetro que en el caso del relleno hidráulico.

Por otra parte una parada en el sistema pudiera hacer que el material no se moviese con lo que se necesitaría tener la posibilidad de poder purgar las tuberías antes que el material se solidifique. Si ocurriera, la solidificación, no solo pararía el relleno sino que implicaría desarmar la instalación y eliminar todo el material endurecido.

Por otra parte la viscosidad de la pasta es superior a la viscosidad del relleno hidráulico motivo por el cual este último tiene mayor dificultad en rellenar huecos y requiere hacer relleno en zonas más pequeñas si no se puede asegurar el acceso del relleno.

1.5.4. El relleno como mejor técnica disponible

Como se puede deducir de todo lo dicho hasta ahora la realización de relleno no es una tarea sencilla, no se puede realizar en cualquier condición y requiere tener una infraestructura importante que permita mover cantidades de material importante. Sin dar cifras exactas, pues cada proyecto es diferente, es habitual en el sector pensar que el relleno puede suponer a la operación minera un incremento de coste que puede ir del 20 al 40% del costo sin relleno cuando éste es técnicamente posible en base a las características

del yacimiento y de la explotación en concreto. Este es el motivo por el cual en distinta bibliografía se dice que en estos casos si el relleno no permite un incremento de producción de orden similar a su coste el relleno es económicamente inviable, es decir no es una mejor técnica aplicable.

En particular se quiere citar el documento de referencia de la minería europea “**Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities. January 2009. EUROPEAN COMMISSION**”, donde en su página 433 dice:

BAT is to:

- backfill tailings (Section 4.5.1), under the following conditions, when:
 - backfill is required as part of the mining method (Section 4.5.1.1).
 - the additional cost for backfilling is at least compensated for by the higher ore recovery.
 -

Es decir, rellenar es una mejor técnica disponible si el relleno es necesario por el método de explotación o el costo adicional del relleno se compensa por una mayor recuperación de mineral.

2. EL BACKFILLING EN LA MINERÍA DE POTASA

2.1. REFERENCIAS

En bibliografía de referencia se pueden encontrar algunos comentarios sobre el relleno en la minería de Potasa. En particular el tema ha sido tratado desde diversos puntos de vista en la referencia ya citada de “**Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities. January 2009. EUROPEAN COMMISSION**”. Aquí se dice:

Pág. 283:

El segundo método para gestión de colas es subterráneo. Este método se aplica en depósitos de fuerte pendiente en el norte de Alemania y en las minas de potasa de New Brunswick en Canadá¹. Dado que la densidad de las colas es mucho más baja que de la potasa original solamente una parte de las colas se pueden utilizar como relleno. En la mayoría de las plantas de potasa, donde el mineral es extraído de depósitos horizontales, el relleno no se realiza.....

Un método similar, aunque menos importante en minas activas en Europa, es el relleno de colas en forma de “slurry” (hidráulico). Las colas se reintroducen en la mina para llenar las cámaras generadas por corte y relleno las cuales tiene forma de domo. De todas formas, la aplicabilidad de esta opción depende, entre otras cosas, de las características geológicas de la formación (i.e. Depósito con fuertes pendientes).

Pág. 284:

En el Reino Unido, se está investigando² el relleno con las colas de insolubles. En este caso las condiciones geológicas y la apropiada configuración de trabajos mineros determinan el volumen de relleno posible. Trabajos similares en España fallaron por las condiciones geológicas existentes.

La compañía Cleveland Potash realizó un estudio financiado en parte por un proyecto LIFE de la Unión Europea para desarrollar una tecnología de backfilling con pasta en su mina de Boulby (Reino Unido). Allí el problema a intentar resolver era reintroducir la fracción fina de insolubles que en este caso concentraban pequeñas fracciones de mercurio que, aún dentro de los límites legales para su vertido al mar por medio del emisario de la instalación, se consideraba que podían rebajarse. Experimentos de laboratorio permitieron pensar que se podría tener una pasta adecuada para el backfilling con una densidad de 1.6 gr/cm³

¹ Las minas citadas de New Brunswick en Canadá han sido cerradas recientemente. Esto incluye la última mina abierta en octubre de 2014.

² Se refiere a antes del 2009, fecha de publicación del documento.

mezclando $\frac{3}{4}$ partes de residuo salino con $\frac{1}{4}$ de finos, a esto habría que añadirle entorno a un 6% de cemento y un 23% de agua. Los resultados alcanzados animaron a construir una planta exterior y la infraestructura necesaria en el interior de la mina. El funcionamiento día a día de la planta obligó a eliminar la incorporación de residuos salinos, la pasta era demasiado viscosa no permitiendo su circulación por las tuberías. En 2013, y después de numerosos ensayos y pruebas, se dejó de rellenar con pasta pues el volumen de tailings que se lograba reintroducir en la mina era inferior al 1% de la producción. Cleveland Potash es una empresa del grupo ICL.

Pág. 411:

En minas de potasa, el relleno se aplica en depósitos con fuerte pendiente explotados por subniveles. Los huecos tienen alturas de 100 a 250 m.

En otro documento de referencia sobre la explotación de minerales para la industria de los fertilizantes realizado por la ONU y titulado **Environmental Aspects of Phosphate and Potash Mining, United Nations Environment Programme**, se dice:

Pág. 30:

La viabilidad técnica de relleno en capas horizontales se ha estudiado a través de ensayos a gran escala. Sin embargo, no se ha adoptado de forma generalizada por una serie de factores como son la dificultad de colocación del material, los problemas de seguridad.....

2.2. ESTUDIO DE CASOS CONCRETOS

En el dictamen pericial realizado por los Ingenieros de Minas Dr. Pascual León y Sr. Miguel F. González López, en su pág. 130 recogen el estudio de 40 minas, tanto de potasa como de sal.

Las minas estudiadas son:

- Canadá 1 Vascoy
- 2 Belle Plaine
- 3 Colonsay
- 4 Kalium´s K2 Estherhazy
- 5 Hersey
- 6 Cory
- 7 Allan

- 8 Lanigan
- 9 Rocanville
- 10 Patience lake
- 11 a Penobsquis *
- 11 b Picadilly *
- 12 Gorderich
- 13 Seleine
- 14 Windsor salt
- 15 Ojibwway.

* En la referencia se tratan conjuntamente. Aquí se han separado por utilizar métodos de explotación distintos.

- Alemania
 - 16 Sondershausen
 - 17 Bleincherode
 - 18 Batesleben
 - 19 Asse Repository
 - 20 Gorleben
 - 21 Wintershall
 - 22 Hattorf
 - 23 Neuhof-Ellers
 - 24 Unterbreizbach
 - 25 Friedrichshall-Kochendorf
 - 26 Bernburg
 - 27 Braunschweig-Lünenburg
 - 28 Borth
 - 29 Stetten
 - 30 Zielitz
 - 31 Herfa-Neurode

- Reino Unido
 - 32 Boulby

	33 Minosus-Winsford
Polonia	34 Wieliczka-Ksawer
Ucrania	35 Stebnik nº2 36 Kalush
Rusia	37 Berezniki
Bielorusia	38 JSC Belaruskali
Brasil	39 Taquari-Vassouras

Del análisis de la información facilitada se concluye que el backfilling no es un tecnología habitual en la explotación de minas de sal salvo en contadas situaciones y muy particulares. Llama la atención que los cinco casos donde se hace relleno en la vida útil de la mina, a la fecha de la información más reciente, (a) dos han cesado su actividad, (b) otras dos, que realizan relleno con pasta, no introducen sal con relleno, luego, (c) solo queda una mina en activo que hace relleno con sal y en este caso son cámaras verticales:

- Relleno Mecánico

11a.- Penobsquis

Esta mina se explotaba capas inclinadas por el método de corte y relleno. Se realiza el relleno como parte del método de explotación. Ha sido cerrada recientemente.

- Relleno hidráulico

24.- Unterbreizbach

Esta mina explota una capa horizontal de hasta 80 metros de espesor lo que permite su explotación por cámaras verticales. Se hace un relleno hidráulico utilizando una solución de cloruro magnésico.

11b.-Picadilly

Cercana a la mina de Penobsquis y explotada por la misma compañía se diferencia de ésta en el hecho de que las capas están más horizontales. La mina se puso en funcionamiento hace muy poco tiempo (octubre 2014) y la explotación es por el

método de cámaras y pilares, con backfilling de tipo hidráulico según las noticias que se tienen. Esta mina ha sido cerrada en enero de 2016 después de invertir 1600 millones de dólares.

- Relleno en Pasta

4.- Kalium K2 Esterhazy.

Aplica backfilling además de depósito en el exterior. La pasta esta formada por arcilla, arena, aglutinante y salmuera. La pasta parece no tener sal en estado sólido. El contenido de cemento varía desde el 3% al 12%. La mezcla se realiza en el exterior. El backfilling se realiza con el fin de rellenar huecos indeseables. Esta mina ha tenido problema con entrada de aguas dulces.

32.- Boulby

Backfilling en pasta para los finos. Se abandono el método debido a la baja cantidad de material que se introducía en mina.

En la referencia citada se mencionan diversas minas que son utilizadas para el almacenamiento de materiales no provenientes de la industria minera y por tanto no tienen interés para esta nota.

Como nota anecdótica se quisiera comentar que la mina de Cardona (cerrada en 1990) también se hizo relleno como parte del método de explotación, esto ocurrió cuando se explotaron las capas verticalizadas por el diapiro (comunicación oral de técnico de la mina). Así mismo, para el caso de las minas en el municipio de Súria, también se realizó relleno hidráulico hasta finales de la década de los años 60 cuando las explotaciones mineras por cámaras y pilares se desarrollaban en la zona de los domos más próximos a superficie donde históricamente se inició la explotación y las capas estaban fuertemente inclinadas, abandonándose el relleno en el momento en el que el yacimiento perdió la inclinación preferente, configurándose desde esos momentos hasta la actualidad como un yacimiento de tipo horizontal.

3. EL CASO DE LA MINERÍA EN LA CUENCA POTÁSICA CATALANA

Una vez vistos los principios generales del backfilling y la casuística existente en la minería de sales en el mundo se hace ahora referencia a las posibilidades de realizar backfilling en las explotaciones de Iberpotash.

3.1. LA CAPA DE SAL

3.1.1. Litología de la capa de sal.

De una forma simplificada se puede decir que los yacimientos de la cuenca potásica catalana están compuestos por capas donde hay una cantidad adecuada de ClK y capas donde esta cantidad es insuficiente. La potencia (espesor) de las capas de interés y la distancia entre ellas no permite plantear una explotación que solo explote las capas de interés sino que es necesario explotar todas las capas, o lo que se denomina paquete de capas. Es decir que se va a explotar capas de mineral y capas de estéril.

En el caso de esta explotación por cada tonelada de ClK que se arranca en las capas mineralizadas hay que arrancar varias toneladas de ClNa de las capas no tan o simplemente no mineralizadas (estéril). El ClK contenido en las capas mineralizadas en una proporción 1 a 3 respecto al ClNa, se vende en su totalidad pero no así el ClNa, esto hace que haya un excedente de ClNa que antes o después se venderá y por lo tanto hay que almacenarlo temporalmente

Las capas de estéril aunque tuvieran un interés económico nulo habría que arrancarlas para poder extraer las de interés económico. En minería es fundamental separar cuanto antes esto dos tipos de roca tanto por motivos económicos como medioambientales. Por eso es fundamental:

- Primero que no se mezcle el mineral con el estéril
- Segundo que el estéril se saque del ciclo productivo en cuanto se pueda. Sacarlo del ciclo productivo en cuanto se pueda significa realizar el mínimo de operaciones sobre el mismo (por ejemplo no introducirlo en la machacadora, pues consume mucha energía), no transportarlo o si se transporta que sea lo menos posible (el transporte consume energía, requiere infraestructura, consume materiales, etc.), etc.

3.1.2. Geometría

Como se ha citado anteriormente varias veces la geometría del yacimiento es uno de los factores principales que hay que tener en cuenta para diseñar un método de explotación. En el caso de la cuenca potásica las capas tienen una componente general horizontal, pero a menor escala las capas hacen numerosos pliegues de orden de varios metros lo que hace que el suelo y el techo de la cámara tengan frecuentes cambios de pendiente en todas las direcciones. Esto queda representado en la Figura 4. En la parte alta de la figura se muestra un corte geológico general de la explotación. En la parte de abajo se ha hecho un zoom de una unidad de explotación. Esta última figura se utilizará luego para explicar las limitaciones del relleno.

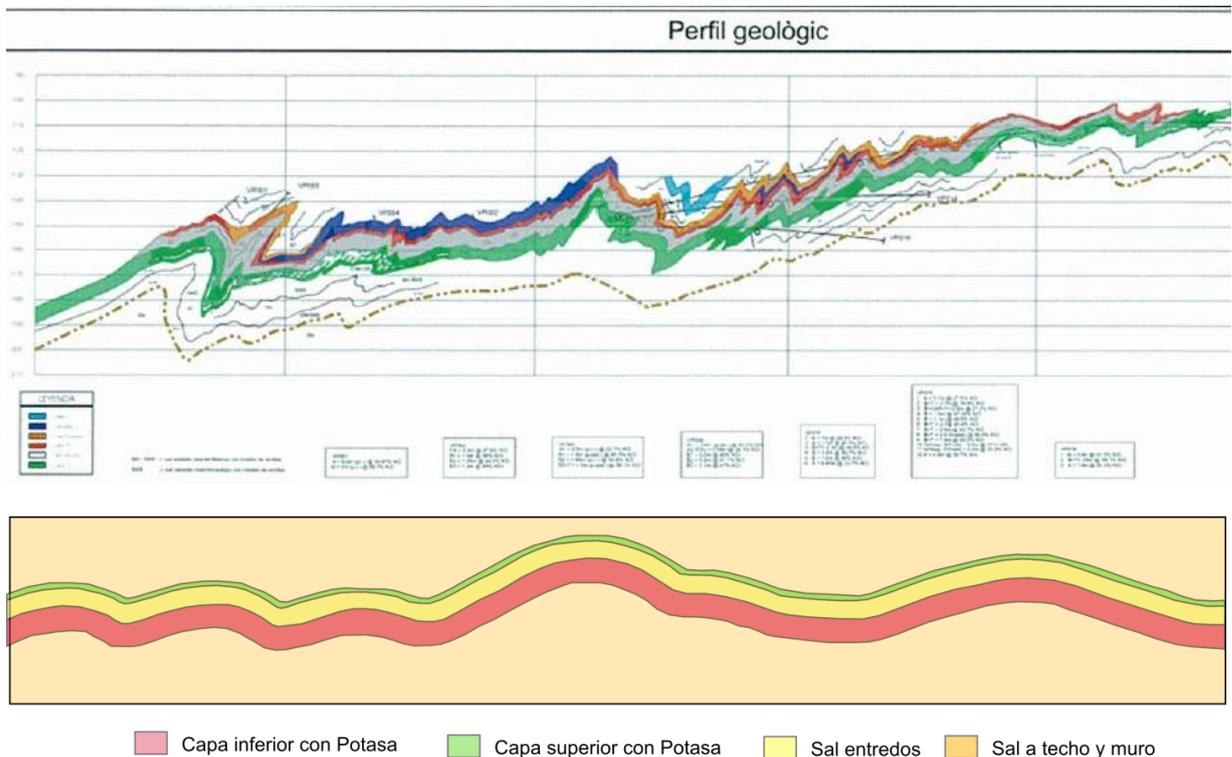


Figura 4. Corte geológico. Arriba: general. Abajo: zoom sobre una unidad de explotación (panel).

La explotación de cada una de estas unidades se plantea para minimizar la producción de Sal (CINa), por ese motivo la explotación resultante es la que se muestra a continuación. Lo que se muestra en la figura es el hueco que generaría la explotación. Con objeto de facilitar el entendimiento no se ha dibujado los pilares que hay que dejar. Como se puede ver la explotación tan solo se lleva las capas que contienen potasa y la capa de sal que se hay entre ambas y que es necesario arrancarla para poder arrancar la potasa.

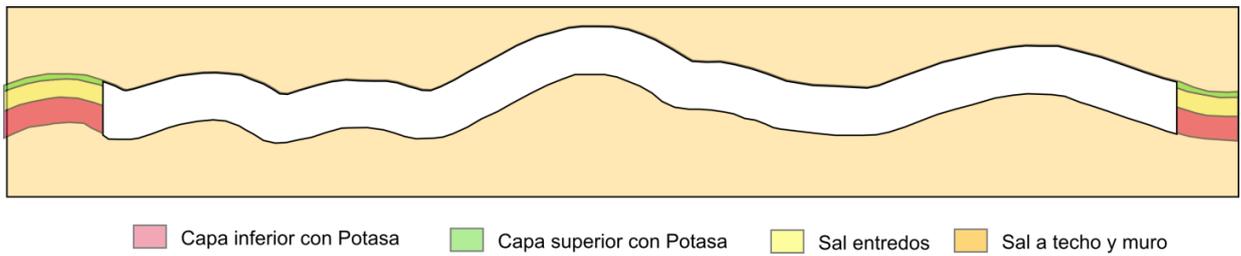


Figura 5. Hueco que deja la explotación.

Si se plantease otro método de explotación que no pudiera seguir las irregularidades de la capa, la cantidad de sal que se llevaría la explotación sería mucho mayor para la misma cantidad de potasa. En la siguiente figura se muestra el hueco que dejaría una explotación totalmente horizontal que produjese la misma potasa. Para evidenciar la cantidad de sal que se llevaría se ha dejado en el fondo el hueco de explotación.

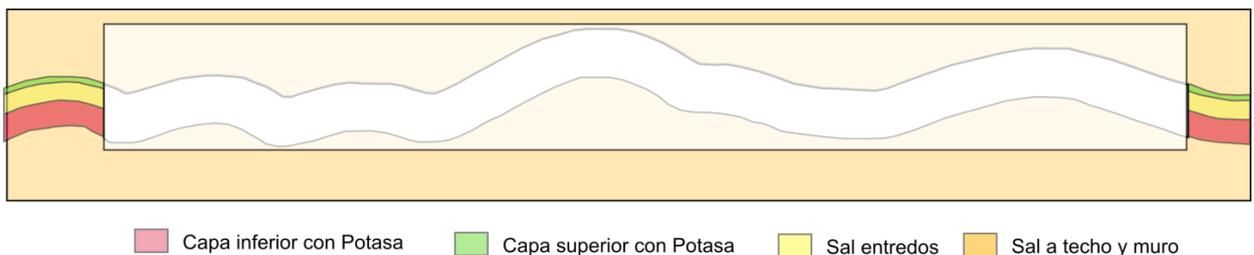


Figura 6. Hueco que dejaría un explotación totalmente horizontal.

La comparación de estas dos últimas figuras hace evidente como el método la explotación actual es el que minimiza la producción de sal. Esto tiene importantes repercusiones ambientales y económicas para la explotación.

3.2. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

El método de explotación seguido es el conocido por cámaras y pilares. En este método no se puede explotar la totalidad del mineral pues parte del mismo hay que dejarlo para que sostenga el techo de la explotación y no se derrumbe. Los pilares se diseñan para que las cámaras (huecos) permanezcan suficientemente estables mientras se está trabajando en ellas. Este método es muy habitual en capas horizontales.

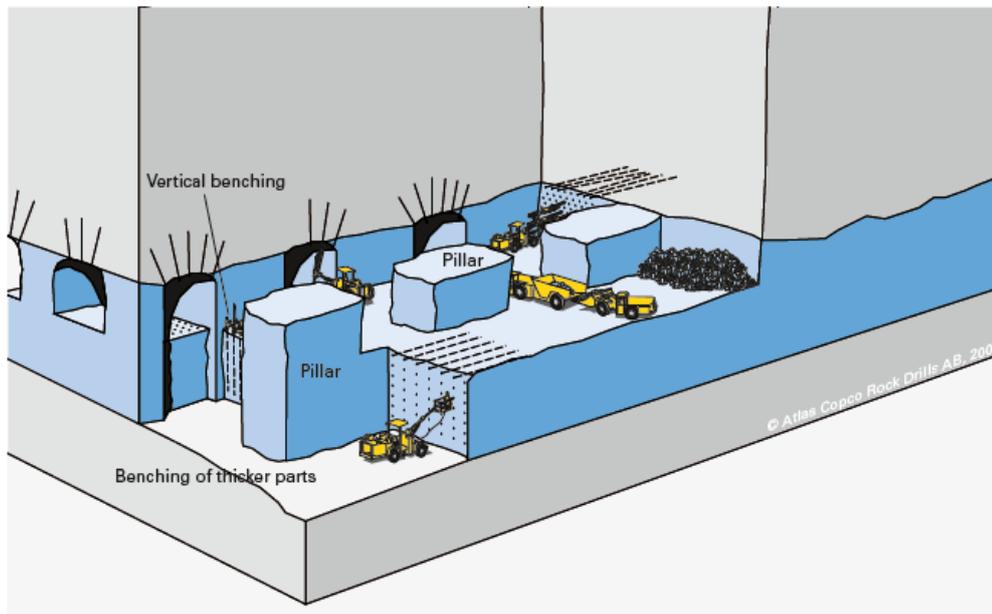


Figura 7. Explotación por cámaras y pilares.

En este tipo de explotaciones el arranque de la roca se puede realizar de diversas maneras. En este caso el arranque de la roca se realiza con lo que se denomina “minadores de ataque puntual”. Otros métodos son la perforación y voladura (caso de la figura 2) o los minadores de ataque frontal. Cabe indicar aquí que el método de la voladura se siguió en las explotaciones mineras del municipio de Súria hasta finales de la década de los 90, en que se abandonó por el método de minadores de ataque puntual que se venía utilizando en la mina de Sallent/Balsareny.

3.3. AGUA Y MINERÍA DE SALES

Es bien conocido que el ClNa y ClK son sales solubles en agua fácilmente, llegando a concentraciones de varios centenares de gramos por litro de agua. Por este motivo el agua es el gran enemigo de las minas de sal pues si el agua penetra en la mina se generan numerosos problemas tanto técnicos como de seguridad. Por este motivo la gestión de agua es fundamental en una mina de sal y uno de los grandes temores que tienen los responsables

La utilización de agua implica saturarla en todas las sales existentes en la mina pero además para la temperatura adecuada. Si se satura en ClK una disolución a temperatura del exterior al introducirla en el interior y dada la temperatura de la roca el agua puede subir varias decenas de grados, lo que hace que esa agua todavía tenga capacidad de disolver más ClK y lo hará. También hay que considerar el caso contrario donde el enfriamiento

produzca precipitación de sales y haga disminuir la permeabilidad del relleno y dificulte, en caso de relleno hidráulico, la extracción del agua. Como dato accesorio, y por una comunicación oral de un técnico de la mina, en Cardona se llegaron a medir temperatura de roca de 50 ° C.

La introducción de cantidades importantes de agua incrementará la sensación térmica, lo que empeoraría las condiciones laborables e incluso se podría llegar a superar los límites legales por lo que habría que parara la producción.

3.4. CONVERGENCIA Y DESESTABILIZACIÓN

Es bien conocido, y en las explotaciones de la cuenca potásica se puede constatar diariamente, que debido a las propiedades plásticas de las sales los huecos que genera la explotación minera tienden a cerrarse. Esto quiere decir que aunque se haya generado un hueco dado, según pasan los días, este hueco irá disminuyendo de tamaño. La velocidad de cierre varía de unos lugares a otros en función de la potencia de capa, profundidad, cantidad de material explotado, pero se puede afirmar que cualquier operación minera que se deje sin mantenimiento se cerrará totalmente en un plazo de 5 a 10 años, dependiendo de la zona minera en concreto. Hay que indicar que no es necesario el cierre total del hueco para que éste sea inutilizable, por ejemplo, en las galerías por donde circulan los camiones basta una reducción de gálibo para hacer que ya no se puedan utilizar, el camión no cabe. El trabajo de mantenimiento de gálibos es un trabajo habitual en la cuenca potásica.

Además del fenómeno de convergencia, el contacto con el aire degrada algunos materiales lo que hace que los techos puedan iniciar un proceso de caída lo que conlleva un gran riesgo para la seguridad del personal. Esta degradación es muy rápida y se suele manejar unos periodos de 2 a 10 semanas. La presencia de humedad acelera el proceso.

Todo esto hace que el hueco generado por la explotación tenga un periodo de vida útil de semanas. Esto tiene una consecuencia importante pues para efectuar relleno en capas horizontales hay que acceder a los huecos. Como un panel de explotación se tarda meses en explotarlo, quiere decir que el relleno hay que hacerlo simultáneamente con la explotación del panel pues no se puede esperar a terminar la explotación. Esto conlleva asociado tanto temas de seguridad como de logística pues hay que explotar y rellenar a la vez.

3.5. TRATAMIENTO DE MINERAL

El proceso de tratamiento de mineral que logra separar el mineral (ClK) y la sal (ClNa) es mediante flotación. El tamaño al cual se muele el mineral, el que permite tener granos de ClK y granos de ClNa separados, es del entorno de 0,7 mm. Esto quiere decir que el producto de ClNa que se obtiene tiene un tamaño de grano de entorno al milímetro.

3.6. POSIBILIDAD DE UTILIZAR EL RELLENO

Como se ha dicho anteriormente hay básicamente tres métodos de relleno. A continuación se analizan los tres desde el punto de vista de la cuenca potásica catalana

3.6.1. Relleno hidráulico

El relleno hidráulico es uno de los rellenos tradicionales y que se ha utilizado profusamente en la minería. En este método se usa el agua como medio de transporte del relleno. Esto hace que el relleno tenga una mayor capacidad para ocupar los huecos existentes y que haya ocasiones en que desde un solo punto se puedan rellenar volúmenes muy grandes. Para que el relleno lo pueda transportar el agua es necesario que tenga unas granulometrías determinadas y una vez depositado debe permitir la percolación del agua. Aproximadamente en volumen el agua representa un 60-50% y el relleno propiamente dicho el resto. Para poder hacer este relleno es necesario construir unas barreras que contengan el fluido, y una serie de sumideros que permitan evacuar el agua además de necesitar una infraestructura específica para su manejo.

Este método tiene limitaciones claras que imposibilita totalmente en la práctica su implantación en Iberpotash en la configuración actual y prevista del yacimiento, por cuanto:

1. Si se espera a terminar la explotación del panel no se podrá acceder a los huecos, por motivos de seguridad, con lo que el relleno hidráulico solo se podrá hacer desde el exterior. En este caso la Figura 8 muestra cuánto relleno hidráulico podría llegar al hueco, suponiendo que el slurry lo sigue siendo cuando está en reposo. Dada la geometría de la capa el relleno hidráulico solo accede a parte del hueco. El acceso al hueco de trabajo está en A.

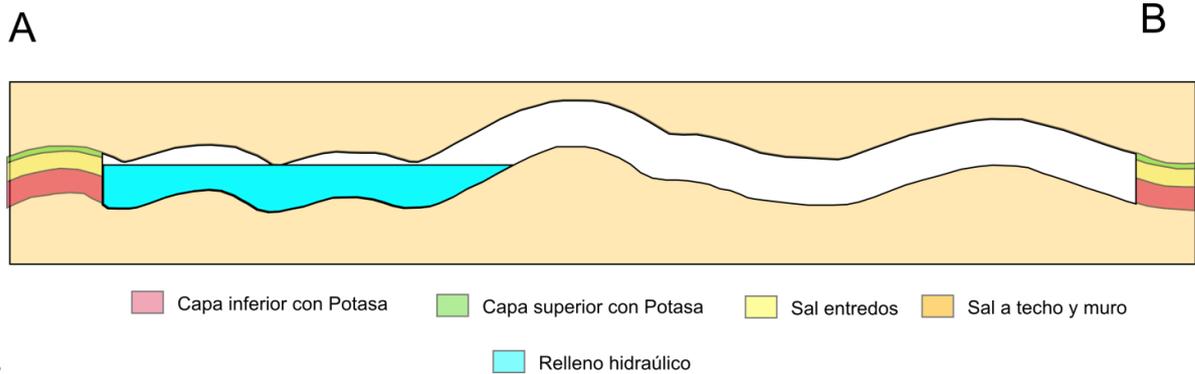
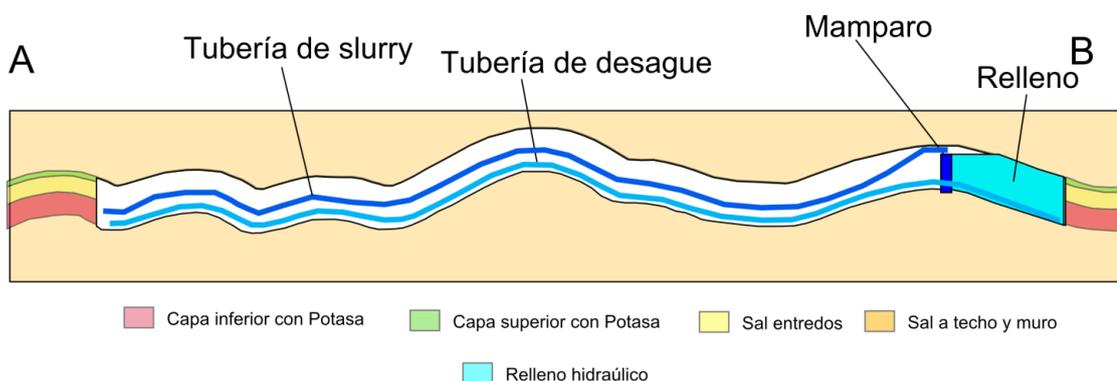


Figura 8. Reparto del relleno hidráulico máximo posible desde el exterior.

2. Dada la geometría de los huecos que se generan no es posible garantizar que se vaya a extraer la totalidad del agua, y garantizar esto es condición "sine qua non" para poder aplicar el método. En la figura anterior se hace evidente la dificultad de extraer el agua, pues aparecen lugares donde se quedará estancada.
3. Por otra parte no hay un camino preferente para el agua con lo que no solo se puede quedar agua dentro sino que también puede encontrar caminos que imposibiliten su control con el riesgo que esto supone para la explotación minera.
4. Como se ha dicho ya esta operación no se puede realizar en la cercanía de zonas donde se está arrancando mineral por motivos de seguridad. No puede ser simultánea. Esto quiere decir que la convergencia va a reducir de todas formas el volumen utilizable.
5. Aún en el caso que se decidiese entrar en los huecos o se hiciese de forma simultánea con la explotación, dada la geometría de las capas habría que realizar numerosas barreras e instalar una infraestructura de tuberías compleja y que no siempre se podrá recuperar. En la figura se muestra como se tendría que realizar el trabajo. Obsérvese que los trabajadores tendrían que hacer el relleno justo delante de la contención del mismo. Esta es una situación muy peligrosa que no sería admisible. En las figuras se supone que el acceso se realiza desde el punto A. Obsérvese como a pesar de ser un relleno hidráulico ideal hay parte del volumen del hueco de explotación que no se puede rellenar.



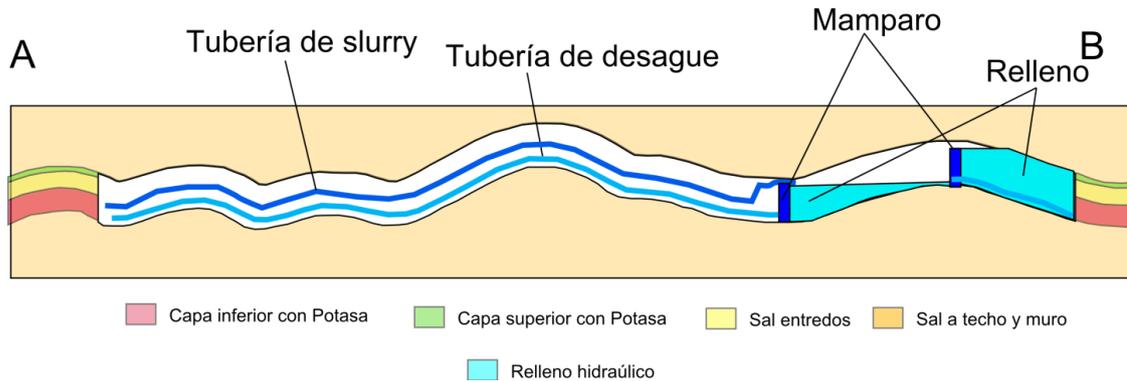


Figura 9. Relleno hidráulico por fases.

6. Esta operación es incompatible con el relleno mecánico que se realiza actualmente. Este relleno impediría la circulación del slurry, la construcción de mamparos y la instalación de tuberías de desagüe.
7. Por este motivo, la minería selectiva que se realiza en la actualidad, descrita anteriormente, no se podría llevar cabo, esto implicaría que se tuviera que transportar hasta el exterior, triturar e incluso procesar hasta un 40% más de material que se transporta, tritura y procesa hoy.
8. Dado que el objeto de todo esto es aumentar la cantidad de relleno utilizado habría que volver a bajar a la mina un cantidad superior (es decir más del 40%), por tanto el tráfico de material se incrementaría en al menos un 80%, lo cual no es soportable con la infraestructura actual.
9. Se necesita la construcción de infraestructura adicional que entre otras cosas hará que aumente la producción de estéril.
10. La introducción de una importante cantidad de agua (aproximadamente tanta como material de relleno) aumentará sensiblemente la humedad en el interior lo que generará unas peores condiciones de trabajo. Este incremento de humedad haría que se superen los umbrales de temperatura ambiente máxima permitida para trabajar.
11. También el aumento de humedad alterará más rápidamente las formaciones salinas del techo y las caídas de rocas que conllevan y por tanto un aumento del riesgo que esto supone para las personas.

Por tanto por motivos de que la técnica no funciona en este caso, por seguridad, por salud en el trabajo, porque no garantiza que se pueda rellenar más que lo que hoy se hace, por incremento de algunos impactos ambientales (es necesario transportar un 80% más de material, hay que triturar y moler un 40 % más de material), la técnica de relleno hidráulico es inviable en si misma en este tipo de yacimiento y método de explotación, incluso antes de analizar cuáles serían los aspectos económicos a considerar en cada caso concreto.

3.6.2. Relleno de pasta

El relleno con pasta como técnica está conociendo una amplia expansión en los últimos años en toda la minería subterránea. Se genera una pasta a partir de los estériles y algún aglomerante. Presenta la ventaja frente a la hidráulica que no es necesario la extracción de agua o se reduce de forma importante.

Sin embargo, no todos los materiales son capaces de generar una pasta adecuada por si solos, motivo por el cual hay que añadir materiales externos a la propia operación minera y un aglomerante, además de agua. La viscosidad de la pasta es muy superior a la del relleno hidráulico lo que dificulta tanto la gestión como la distribución en el hueco a rellenar.

En el caso de Iberpotash ni el tipo de material ni la granulometría es la adecuada para generar una pasta. Esto implica que si se quisiera hacer este tipo de relleno habría que añadir material proveniente de otros lugares, no del proceso minero, además del aglomerante y del agua. Esto hace que parte del hueco subterráneo vaya a ser ocupado por otros materiales que nada tienen que ver con los residuos mineros.

La importancia de lo dicho queda reflejada en los siguientes números. Experimentos de laboratorio permitieron pensar en el caso de Cleveland Potash comentado que se podría tener una pasta adecuada para el backfilling con una densidad de 1.6 gr/cm³ mezclando $\frac{3}{4}$ partes de residuo salino con $\frac{1}{4}$ de finos, a esto habría que añadirle entorno a un 6% de cemento y un 23% de agua.

Aplicando esta experiencia para el caso de la mina de Sallent/Balsareny, al día se produce un hueco del 7000 m³ y podría considerarse en la teoría que se puede rellenar hasta el 75% de este hueco (finalmente 5250 m³) (hay pérdidas por galerías, por bóvedas y otros elementos asociados a la explotación, así como a la convergencia por no poder hacer el relleno en el mismo instante que la explotación). En este caso, por la densidad del material se estaría introduciendo 8400 t de material de las cuales 504 t serían de cemento, 1932 t de agua, 1491 t de otros materiales y 4473 t de sal. Es decir que en el mejor de los casos se estaría introduciendo un 10% más de material en los huecos que lo que logra el relleno mecánico actual. Se dice que en el mejor de los casos, pues esta mezcla de laboratorio se ensayó en realidad y la presencia de sal en los lodos los hacían totalmente inmanejables, es decir aunque la pasta cumplía los objetivos no se podía manejar teniendo que reducir significativamente la cantidad de sal por tonelada de relleno lo que haría que el relleno mecánico fuese mejor sin ningún género de dudas. Los mismos cálculos pueden efectuarse

para el caso de la mina de Cabanasas sobre la base de un hueco de 5000 m³ diarios.

Algunos de los inconvenientes del relleno de pasta son:

1. Es necesario procesar el relleno y añadir materiales para lograr las propiedades adecuadas.
2. Dada la geometría tanto de las capas como la caverna hay que realizar numerosas barreras e instalar una infraestructura de tuberías compleja y que no siempre se podrá recuperar.
3. Esta operación es incompatible con el relleno mecánico que se realiza actualmente, salvo que durante la explotación aparecieran algunas zonas debidamente preparadas, y que con ello no se modificaran en términos de seguridad y legales de trabajo las condiciones de humedad de la mina.
4. Parte de la minería selectiva descrita anteriormente no se podría llevar cabo, esto implicaría que se tuviera que transportar hasta el exterior, triturar e incluso procesar hasta un 40% más de material.
5. Dado que el relleno incorpora además de sal, cemento, agua y otros materiales hay que bajar a la mina entorno un 84% el tráfico interior-exterior-interior de material aumentaría hasta un 124%., con lo que, ambientalmente consume mayores recursos

Se quiere recordar la experiencia, ya comentada anteriormente, de Cleveland Potash que tuvo que abandonar esta tecnología por solo permitir la introducción de un 1% del material extraído.

3.6.3. Relleno mecánico

3.6.3.1. Relleno con waste-rock

Este es el relleno que actualmente se realiza en Iberpotash.

El material que se ha denominado estéril o waste-rock no se extrae de la mina, por la minería selectiva que se realiza, sino que se lleva a los huecos, zonas explotadas con anterioridad. Los mismos camiones que se utilizan para el transporte de mineral se utilizan para llevar el estéril hasta los huecos disponibles y como la capa de sal es horizontal una pala de apoyo reparte y compacta. Obsérvese que la planificación detallada es la que permite utilizar los mismos medios para el transporte de mineral que del estéril. Es necesario sincronizar los tiempos de ida y vuelta de camiones con los tiempos de carga de los mismos con objeto de que ni camiones ni minador tengo paradas involuntarias.

En una mina como la de Sallent el arranque diario es del entorno de 14000 m que con una densidad de 2 t/m³ se obtiene un hueco de 7000 m³/día. De las 14000 t arrancadas entre

un 25 y un 30% es de material bajo en CIK, es decir unas 4000 t, y como ahora el material está suelto y no es tan compacto la densidad baja hasta cerca de 1 t/m³, lo que implica que de los 7000 m³ teóricamente disponibles, 4000 m³ se rellenen tan solo con el material que no sale de mina. En la práctica no todos los 7000 m³ de agujero generado se pueden rellenar y ello por dos motivos, (1) parte del agujero realizado se seguirá utilizando como galerías de acceso a los frentes de trabajo, se estima esto en un 10%, y, (2). Por las características del material, no se tritura y no se clasifica, y la geometría del hueco, pseudohorizontal y con numerosos huecos y recodos, no se puede rellenar el 100 % del hueco disponible, estimándose que el relleno mecánico puede dejar un 25% del total del volumen sin rellenar y de acceso imposible. Con estas estimaciones se deduce que de los 7000 m³ generados el relleno mecánico utiliza unos 6000m³.

Estas cifras quedan refrendadas por la experiencia cotidiana que enseñan que hay días que se tiene más material de relleno que hueco a rellenar.

Los mismos cálculos pueden efectuarse para el caso de la mina de Cabansas en Súrria, considerando unas toneladas arrancadas de 10000 t con entre un 20-25% de material bajo en CIK,

3.6.3.2. Relleno con tailings

El relleno mecánico con tailings implica necesariamente crear una infraestructura específica que permita bajar nuevamente el estéril a la mina. Pero si lo que se quiere es maximizar el relleno también sería necesario extraer de la mina todo el material con el que se rellena actualmente. Esto tiene unas consecuencias inmediatas en el sistema de transporte.

Para el caso de la mina de Sallent/Balsareny, hoy en día el sistema de extracción de mineral está pensado para transportar entorno a 10000 t/día por frente y habría que pasar a transportar 14000 t/día, es decir un 40% más. Para el cálculo teórico de las necesidades de bajada de mineral se supondrán dos escenarios, el primero es que no se mejora la cantidad de relleno, esto haría que fuese necesario bajar 4000 t por día y frente de trabajo, el segundo, que se puede reintroducir en mina el 50% de lo extraído (cantidad optimista de la UE para cuando considera en términos generales este sistema si el mismo puede ser aplicado), lo que supondrían 7000 t por día y frente.

Es decir que el sistema de transporte pasaría de necesitar manejar 10 000 t/día a 18000 o 21 000 t/día por frente de trabajo, es decir un incremento del 80 al 121%. Esto requeriría primero la modificación completa del sistema de transporte, ahora se necesita subir un 40%

más de material y bajar una cantidad del orden del 60% de lo que se sube hoy. Esto implica necesariamente cambiar totalmente el sistema de transporte actual lo que implica también, en el caso de Sallent, modificar la sección de la rampa (hacerla más grande). Pero los cambios no finalizan aquí, dado que ahora hay dos sentidos de flujos de material es necesario completar el sistema para permitir el segundo flujo, esto implica áreas de almacenamiento tanto en el interior como en el exterior, galerías auxiliares de transporte dotadas de nuevos medios de transporte, ampliar las instalaciones de molienda, etc. Como son capas horizontales el relleno implica la necesidad de acceder a las mismas, igual que en los otros sistemas, hidráulico o de pasta. Por temas de seguridad del acceso y de optimización de la cantidad de relleno se tendría que hacer el relleno simultáneamente a la explotación. Esto implica duplicar el transporte en el panel de explotación, meter en el mismo espacio de trabajo el doble de camiones, lo que obligaría a generar más galerías de servicio (disminuye el volumen de relleno posible) y que haya muchas más situaciones de interferencia lo que bajaría la productividad del frente de trabajo. Todo esto haría en la práctica que la cantidad de material de relleno que se introdujese en la mina no fuese el deseado sino significativamente menor y parecido a lo que hoy se logra con el relleno con el backfilling mecánico de estéril pero con un mayor consumo de energía y de recursos, con un aumento del riesgo laboral, con un aumento de la producción de estéril debido a la nueva infraestructura que es necesario realizar. En el plano teórico por el mismo resultado final el sistema es descartable para el caso de la mina Cabanasas del término de Súria.

4. CONCLUSIONES

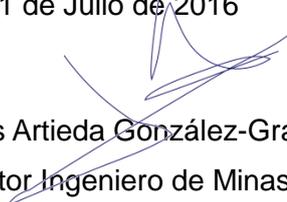
Actualmente en las explotaciones de Iberpotash se realiza relleno mecánico con estéril (waste-rock). Este estéril se obtiene de los frentes de trabajo al realizar una minería selectiva. Con objeto de aumentar la cantidad de material estéril que se reintroduce en la mina, se han estudiado los tres métodos de relleno habituales: hidráulico, de pasta y mecánico de colas (tailing). Las capas horizontales imponen claras limitaciones al uso de estos métodos de relleno. El hidráulico hay que rechazarlo por motivos de seguridad, tanto para el personal como para la propia mina. El método de pasta hay que rechazarlo de partida porque no supone un aumento de la cantidad de relleno. Y por último el mecánico de colas incrementa de forma sustancial la necesidad de infraestructura lo que hace que finalmente la cantidad de material de relleno tampoco varíe mucho de lo que se logra hoy pero a base de una mayor producción de sal que en la actualidad, consumo de energía y recursos y un aumento del riesgo laboral.

Por lo tanto no se ve viable aumentar el relleno.

Estas conclusiones están en sintonía con el estudio bibliográfico de diversas minas en el mundo, donde solo se ha encontrado una mina que haga relleno con sal en la actualidad, esta mina se explota por cámaras verticales.

Así mismo las conclusiones alcanzadas también confirman lo indicado por los documentos de instituciones como la Comisión Europea o la ONU.

1 de Julio de 2016


D. Jesús Artieda González-Granda

Doctor Ingeniero de Minas

Colegiado 1643 CE