

UNIDAD VI EXCAVACION DE GALERÍAS

1 Generalidades

La galería es una labor minera subterránea horizontal o levemente inclinada con una pendiente de drenaje de hasta un 10% que se desarrolla en interior mina y cuyo eje longitudinal puede ser paralelo al rumbo del cuerpo mineralizado como en el caso de las galerías en dirección o perpendicular como en el caso de las galerías transversales o cortavetas.

Las galerías dependiendo de la función y los objetivos para las cuales se desarrollan, así como también de las dimensiones y la orientación con respecto al rumbo del cuerpo mineralizado, reciben diferentes denominaciones, como, por ejemplo;

_Galería transversal; es una labor horizontal o levemente inclinada que se desarrolla en interior mina a partir de una labor de acceso principal como puede ser un pique, socavón o rampa sobre plano inclinado, e intercepta transversalmente al cuerpo mineralizado.

_Galerías de nivel: Son galerías horizontales o levemente inclinadas que se desarrollan en interior mina siguiendo el rumbo del cuerpo mineralizado, y que tienen como finalidad preparar al yacimiento en la dirección de rumbo para su posterior explotación. Estas galerías que se inician a partir de labores de acceso y a diferentes cotas, dividen al yacimiento en unidades independientes de explotación denominadas tajos o rajos. Entre las galerías de nivel se distinguen las galerías de transporte y las galerías de ventilación y servicios.

_Galerías de transporte; son galerías de nivel que determinan el límite inferior de los rajos de explotación y cuya función principal, es servir como vía de transporte para la extracción del material generado.

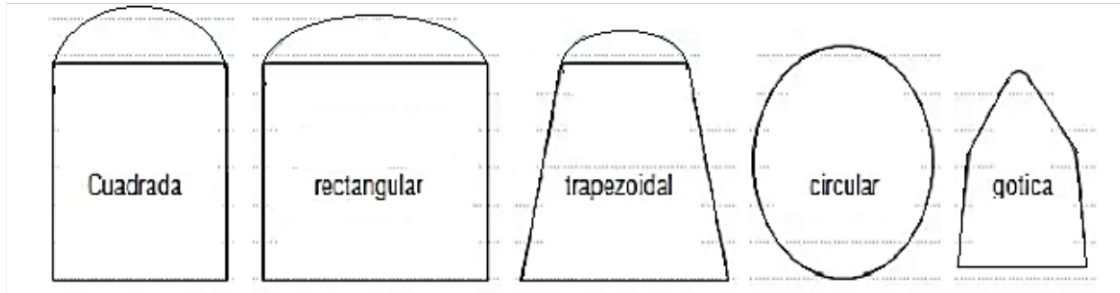
_Galería de ventilación y servicios; son galerías de nivel que determinan el límite superior de los rajos de explotación y cuya función principal es contribuir a la ventilación en interior mina y servir como vía de acceso para los materiales y servicios requeridos durante la explotación.

_Galerías de subnivel; son galerías horizontales o levemente inclinadas que se desarrollan entre las galerías de nivel y cumplen funciones específicas de preparación y explotación del cuerpo mineralizado.



1.1 Forma de la sección

Puede ser de forma cuadrada, rectangular o trapezoidal y en todos los casos puede adoptar una forma abovedada en el techo a los fines de que el peso del macizo rocoso que se ubica por encima de la labor actúe tangencialmente sobre los bordes logrando una mejor distribución de los esfuerzos. Además de las formas cuadradas, rectangulares o trapezoidales que usualmente se utilizan para labores mineras, también existen labores con secciones de forma circular y gótica, pero estas últimas son principalmente utilizadas para túneles ferroviarios y viales.



1.2 Dimensiones

Las dimensiones de una galería están caracterizadas por ancho, altura y longitud. En general, las galerías tienen un ancho de 3 a 5 metros y una altura de 3,5 a 5 metros, dependiendo de las necesidades de ventilación y maquinaria. En cuanto a las longitudes de las galerías éstas son muy variables según sea el avance de la explotación que se requiera.

De acuerdo con las dimensiones de las galerías se pueden clasificar en;

- Grandes $\geq 30 \text{ m}^2$
- Medianas $30 - 20 \text{ m}^2$
- Pequeñas $\leq 10 \text{ m}^2$

Sea cual fuera la sección, las necesidades del transporte generalmente exigen que la sección se ensanche en las curvas para el giro de vehículos de transporte.

1.2.1 Factores que influyen en la dimensión

Las dimensiones de la sección se determinan de acuerdo con las necesidades y funciones para las cuales se construye la galería y dependen básicamente de las siguientes variables;

- El tonelaje de mineral y estéril que se van a extraer.
- Las dimensiones de los equipos de extracción.
- El tipo de ventilación.
- La forma de desagüe.
- El tipo de sostenimiento requerido.
- Las dimensiones de los equipos de perforación
- El espacio requerido para la circulación segura del personal.

El tonelaje de mineral y de estéril que se va a extraer, depende de las dimensiones de los equipos de extracción, así como también de la planificación y el trazado del transporte, por lo tanto, las dimensiones de la sección deben ser tales que permitan una circulación segura y eficiente de los equipos de extracción que se han de seleccionar de acuerdo con la producción requerida.

En cuanto al tipo de ventilación que se va a utilizar, se debe tener en cuenta que, cuando la ventilación natural a sección completa no resulta suficiente, la inyección del aire fresco y la evacuación del aire viciado presente en los frentes de trabajo se logra mediante la utilización de una ventilación forzada, la cual puede ser aspirante, impelente o mixta y en todos los casos implica la utilización de mangas o ductos de ventilación que reducen la sección útil de la galería. En cuanto a la forma de desagüe, el agua presente en interior mina puede ser de origen natural producto de las filtraciones de aguas meteóricas o aguas subterráneas cuando los laboreos se desarrollan por debajo del nivel freático, o ser producto del agua utilizada como fluido de barrido durante la perforación. En ambos casos, el agua puede ser conducida por gravedad hasta el exterior o hasta estaciones intermedias de bombeo ubicadas en interior mina, mediante canaletas construidas en un extremo interior de las galerías. La presencia de estas canaletas, reducen la sección útil de la galería.

En cuanto al tipo de sostenimiento empleado, este no solo depende de la calidad del macizo rocoso atravesado por la labor, sino que también depende de las funciones y objetivos para las cuales se construye la galería, es decir si se trata de una labor temporal o permanente. Cuando una galería requiere de un sostenimiento de tipo no integrado, como puede ser arcos de acero estos reducen la sección útil de la galería.

El tipo y las dimensiones de los equipos de perforación requeridos para la excavación de la galería dependerán de las dimensiones de la sección. En cuanto al espacio requerido para la circulación segura del personal, la sección de la galería debe tener dimensiones suficientes para permitir en caso de ser necesario, una circulación simultánea de personal y equipos de extracción.

2 Técnicas de apertura de galerías

El método de excavación de galerías depende de las condiciones geológicas y los equipos disponibles. La excavación se puede realizar con **métodos mecánicos (tuneladoras) o convencionales (perforación y voladura).**

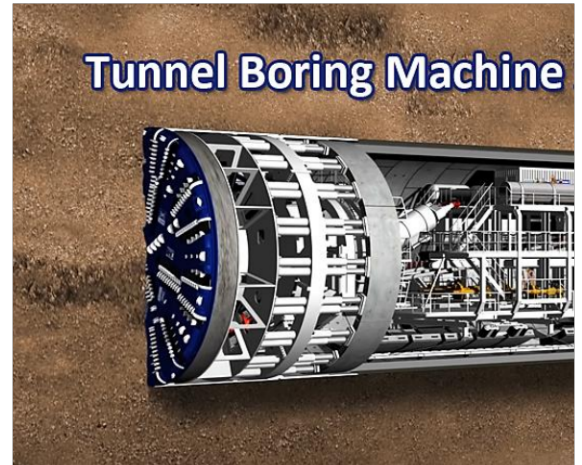
Los métodos mecánicos presentan ventajas como:

- La perforación sin daños a la roca alrededor de la labor.
- Una superficie de corte regular que reduce la necesidad de sostenimiento y/o revestimiento definitivo.
- Menos necesidades de personal.
- Mayor mecanización del frente de trabajo.

Pero, la excavación con explosivos se aplica en la excavación de galerías ya que el método mecánico presenta también ciertos inconvenientes:

- El sistema de trabajo es muy rígido, ya que las secciones deben ser circulares.

- La longitud de la labor debe permitir asumir una inversión elevada y unos gastos igualmente importantes de transporte y montaje en obra.
- Las curvas deben tener radio mínimo de 300 m, aunque son deseables al menos 500 m.
- El personal debe ser muy especializado.



El arranque con perforación y voladura suple en gran parte estos inconvenientes, pues en cuanto a las secciones, aunque éstas sean grandes, las excavaciones pueden realizarse por fases con galerías de avance, destrozadas laterales y/o banqueos al piso, y además los jumbos modernos poseen secciones de cobertura de grandes dimensiones y formas. La roca residual puede dejarse en buen estado ejecutando las voladuras de contorno con las técnicas de recorte y precorte, el sistema se adapta mejor a los cambios litológicos de los terrenos atravesados y la inversión en maquinaria es menor, pues una vez efectuadas las obras, los equipos pueden destinarse a la realización de otras labores.

2.1 Consideraciones para la selección del método de excavación

- La sección del túnel puede ser una condicionante importante, en caso de las tuneladoras permiten excavar únicamente los túneles de forma circular, por lo que en túneles carreteros que requieren una base plana se desaprovecha bastante espacio, a veces se usa para alojar instalaciones.
- El costo, las máquinas tuneladoras tienen un costo inicial elevado, esta inversión resultará rentable para una determinada longitud de túnel excavado, lo que exigirá un proyecto con importantes longitudes que permitan la amortización de la tuneladora
- Considerar si el terreno es poco resistente y necesita revestimiento.
- Considerar Básicamente, Factor técnico, factor económico, factor tiempo de ejecución.

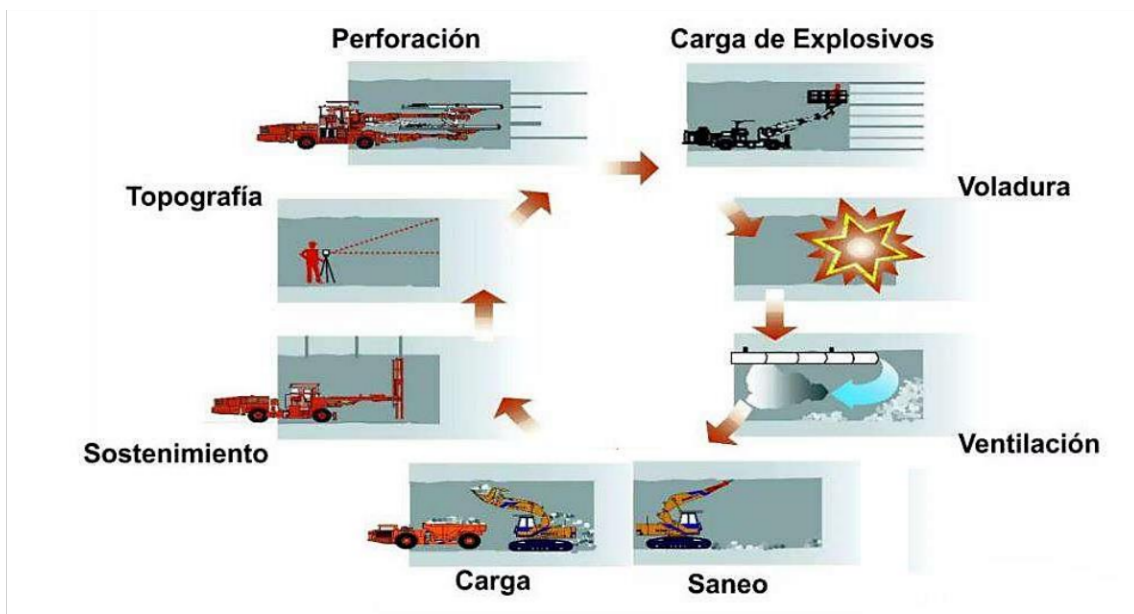
3 Excavación con explosivos: Arranque con perforación y voladura

En primer lugar, es importante tener en cuenta que la excavación de galerías usando la perforación y los explosivos es una operación cíclica y no continua, ya sea que se utilicen equipos

de perforación manual o mecanizados, el ciclo básico de minado de una galería incluye las siguientes etapas:

1. Preparación
2. Perforación
3. Carga del explosivo y voladura
4. Ventilación
5. Saneo
6. Carga y transporte
7. Fortificación

3.1 Ciclo básico de la excavación



La distribución de tiempos en el ciclo de avance para el caso de una excavación a sección total promedia los siguientes valores: perforación (30%), donde se realizan los taladros para los explosivos; carga de explosivos (15%), que consiste en colocar los explosivos y preparar la detonación; voladura (5%), es decir, la detonación de los explosivos; ventilación y desgasificación (10%), para eliminar los gases generados; desescombro (30%), que abarca la retirada del material fragmentado; y sostenimiento (10%), para estabilizar las paredes y techo del túnel con soportes o revestimientos.

4 Preparación del frente

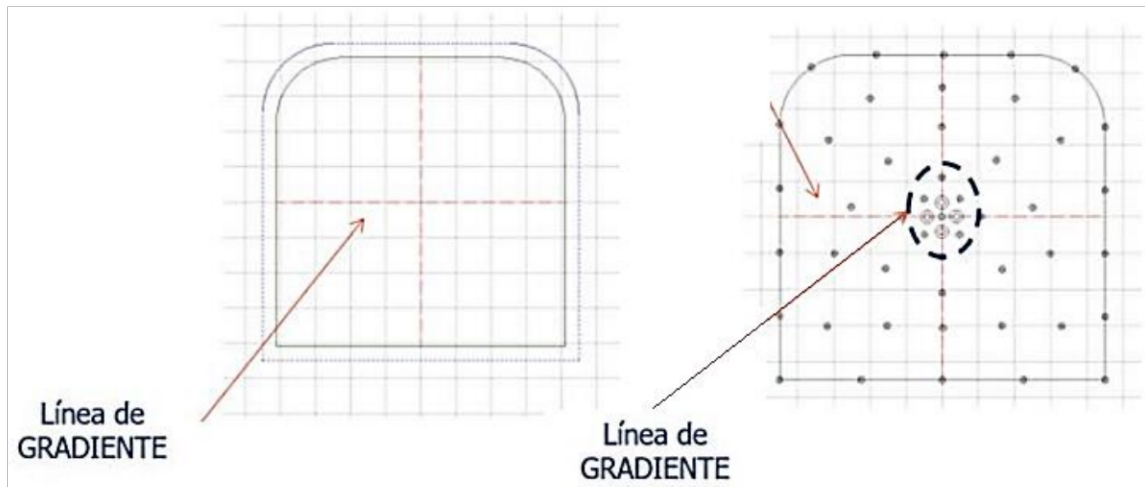
Esta etapa incluye básicamente las tareas de preparación del frente de trabajo, la instalación de los servicios y la preparación e instalación del equipo de perforación a utilizar.

En la preparación del frente del trabajo, se incluye la demarcación del diagrama de perforación, para lo cual resulta necesario marcar previamente los ejes de la labor *eje vertical* y *gradiente*.

La marcación del eje vertical determina un plano vertical cuya visual se proyecta en el frente, se

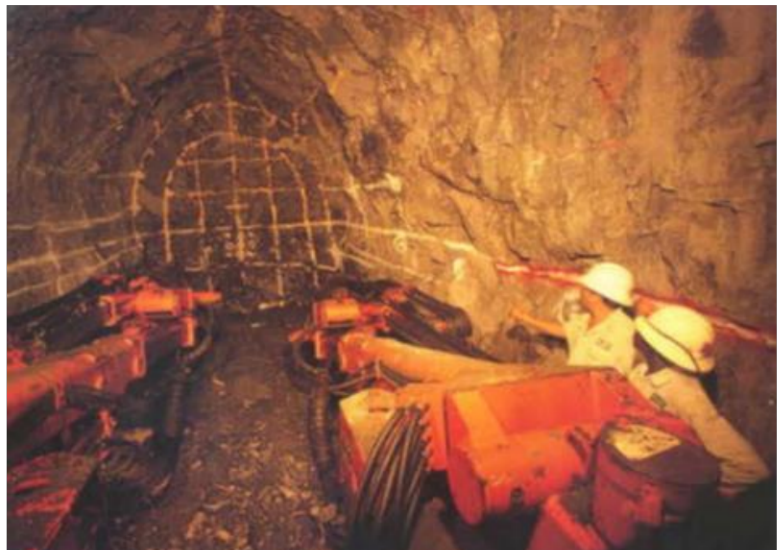
controla la dirección del eje longitudinal de la labor.

La demarcación y control del gradiente, define un plano horizontal, se controla la inclinación de la labor. Por lo general, la altura del plano horizontal (gradiente) es de 1 a 1.5 m con respecto al piso de la labor.



5 Perforación de taladros

Una vez marcados los ejes de la labor, se procede a marcar el diagrama de perforación. El diagrama por utilizar se puede determinar mediante cálculos matemático como por ejemplo las fórmulas de Gustafsson y marcarse en el frente con ayuda de una cinta métrica o bien, utilizar una plantilla prediseñada. En ambos casos, los puntos de emboquillado se marcan con pintura en aerosol.



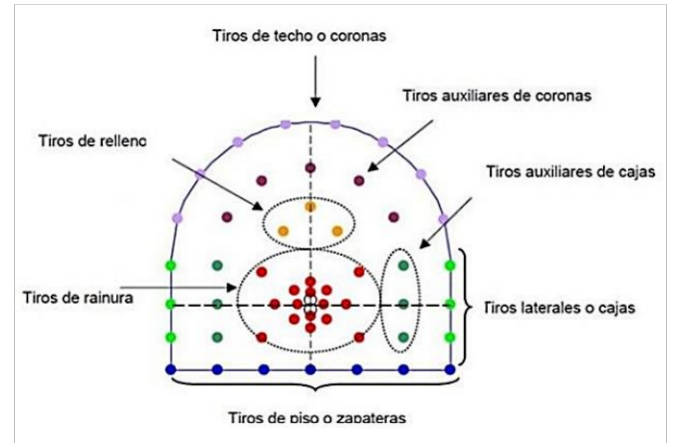
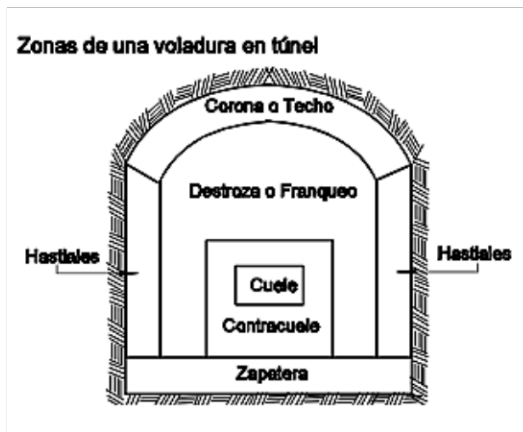
5.1 Diagrama de perforación y voladura

El diagrama de perforación para la excavación de una galería establece la distribución y cantidad de taladros en función de las dimensiones y tipo de roca. En una galería típica de 4x4 m, se utilizan entre 30 y 50 taladros aproximadamente. El número exacto depende de factores como la dureza de la roca, el diseño de la voladura y los requisitos de fragmentación. Autores como Jimeno y López plantean que la disposición de los taladros debe optimizar la eficiencia de la voladura y

minimizar los residuos. Un buen diseño de perforación es clave para asegurar un avance uniforme, una adecuada fragmentación del material y reducir costos operativos.

En el diagrama de perforación se distinguen barrenos de:

- arranque
- ayudas
- destroza
- contorno (coronas, hastiales y zapateras)



5.2 Equipos de perforación

Para la perforación en la excavación de galerías, se pueden utilizar equipos manuales y mecanizados, dependiendo del tamaño de la operación y las características del terreno.

5.2.1 Equipos manuales

Son adecuados para galerías pequeñas o cuando la mecanización es limitada. Su uso es común en minas con menores recursos o condiciones geológicas complicadas.

- Martillos neumáticos (jacklegs): Portátiles, fáciles de operar, utilizados para perforaciones cortas. Alcanzan profundidades de 1 a 2 metros por perforación y tienen diámetros de 32 a 38 mm. Ideales para roca blanda o media.



5.2.2 Equipos mecanizados

Se realizan con equipos de perforación montados sobre estructuras, para galerías de mayor tamaño y operaciones a gran escala, donde se requiere mayor eficiencia y rapidez.

- Jumbos de perforación: Equipos mecanizados con uno o varios brazos articulados que permiten perforaciones simultáneas y precisas.



Estos equipos mecanizados permiten mayor rapidez, precisión y seguridad en la excavación, mientras que los manuales son más versátiles en espacios reducidos o de difícil acceso.

5.3 PARALELISMO DE LA PERFORACION

Todos estos cálculos teóricos dan buenos resultados si la perforación de los taladros de arranque son paralelos entre sí. Si esta consigna no se cumple es muy difícil que el rendimiento de la voladura sea el esperado, y sin pensar que se puede quedar la voladura completa ocasionando pérdidas de tiempo, material y un gran problema con la seguridad del personal.



5.4 INFLUENCIA DE LA LONGITUD EN LOS TALADROS

Es necesario que se perforen todos los taladros con la misma longitud, esto se debe hacer necesariamente para obtener un buen rendimiento de avance de la voladura.

- Si los taladros de producción son más cortos que el de alivio, el rendimiento será menor del esperado debido a que estos no tienen cara libre de salida.
- Si los taladros de producción son más largos que el de alivio, el avance real será hasta la longitud de los taladros de alivio, por ende, una pérdida de tiempos y de aceros de perforación.



6 Carga de explosivo

La selección de explosivos depende del tipo de roca, el diseño de la voladura y las condiciones ambientales de la galería (humedad, ventilación, etc.). La carga del explosivo va a depender del sector del diagrama de voladura;

ARRANQUE; requiere por lo menos 1.3 veces más carga que los demás taladros, ya que es el sector que va a generar la cara libre para los sectores restantes. Este puede estar alojado en diferentes sectores del frente de avance, todo depende como uno quiere que quede la carga volada. Si el arranque esta por arriba de la línea media del túnel la carga será tendida. En cambio, si está por debajo de esta línea media del túnel la carga estará más cerca del frente y compacta. Lo recomendable es que el arranque se encuentre al medio de la labor.

CONTRACUELE; este sector se caracteriza por agrandar el arranque, la carga de este suele ser menos que la del cuele.

DESTROZA; si se generó con éxito la cara libre del arranque y contra cuele, estos taladros actúan como desquinche y la carga es mucho menor que el anterior.

CONTORNO; dependiendo de la calidad de la roca a estos taladros se cargan con la densidad más baja posible para evitar el daño en las paredes. Estos establecen la forma del túnel o galería.

ZAPATERA; los taladros de este sector deben vencer todo el peso del material ya volado más el Burden, es por es que su carga es muy parecida a la del arranque.

6.1 Tipos de explosivos

Los tipos de explosivos más comunes que se emplean en la excavación de galerías incluyen el ANFO, emulsiones y explosivos encartuchados.

– **ANFO** (Nitrato de Amonio y Combustible); es una mezcla de nitrato de amonio con un

combustible, como el gasoil. Es económico y seguro de manipular, pero requiere condiciones de confinamiento para detonar eficazmente y se usa principalmente en rocas secas. Su variedad es el ANFO pesado que se puede aplicar en ambientes húmedos.

- **Emulsiones;** son explosivos a base de nitrato de amonio en una fase continua de combustible. Ofrecen resistencia al agua, por lo que son útiles en ambientes húmedos. Las emulsiones son versátiles y pueden ajustarse en términos de potencia y velocidad de detonación.
- Explosivos Encartuchados; se presentan en forma de cartuchos, normalmente de dinamita o emulsión, y son utilizados cuando se necesita precisión en zonas de difícil acceso, suelen ser fáciles de manipular.

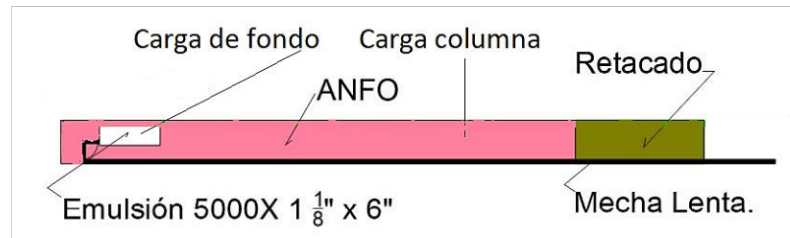


6.2 Generalidades de explosivos

Recordamos los conceptos relacionados a la carga de explosivo, que se deben tener en cuenta:

- Carga de Fondo; porción de explosivo colocada en la parte inferior del taladro para maximizar la energía en esa sección y romper la roca más densa.
- Carga de Columna; carga explosiva que se coloca encima de la carga de fondo y llena el resto del taladro. Contribuye a la fragmentación de la roca sin causar tanto daño a las paredes de la galería.
- Carga Explosiva Total; cantidad total de explosivo utilizado en cada taladro. Es crucial calcularla con precisión para garantizar una voladura controlada y eficiente.
- Densidad de Carga; cantidad de explosivo en relación con el volumen del taladro (g/m^3 o kg/m^3). Una densidad adecuada es esencial para una voladura uniforme y eficaz.
- Factor de carga; cantidad de explosivo utilizado en función del volumen de roca a romper. Este factor permite ajustar la cantidad de explosivo según la dureza de la roca y los objetivos de fragmentación.
- Retacado o Amortiguamiento; material (generalmente grava o arcilla) que se coloca en la parte superior del taladro después de cargar el explosivo. Mejora la contención de la energía y aumenta la eficiencia de la voladura.

- Orden de Detonación; secuencia en la que se detonan los explosivos en los diferentes taladros. Afecta la fragmentación y evita vibraciones excesivas o colapsos en la estructura circundante.
- Espaciamiento; distancia entre taladros en el diseño de la voladura, que afecta la eficiencia de la explosión y la fragmentación de la roca.
- Burden; distancia entre el taladro cargado y la cara libre de la galería. Controle la dirección y la expansión de la explosión y evite que la energía se disperse en exceso.



7 Voladura

Son voladuras con una sola cara libre y que requieren la creación de una segunda cara libre, esta es lograda mediante la apertura del arranque. La voladura en una galería subterránea debe seguir una secuencia de iniciación cuidadosamente diseñada para maximizar la eficiencia y seguridad del proceso, reducir las vibraciones y evitar daños estructurales en la roca circundante. La secuencia de iniciación determina el orden en que se detonarán los taladros, comenzando generalmente por el centro para crear una cavidad inicial, seguido de los taladros de contorno y finalmente los de perímetro.

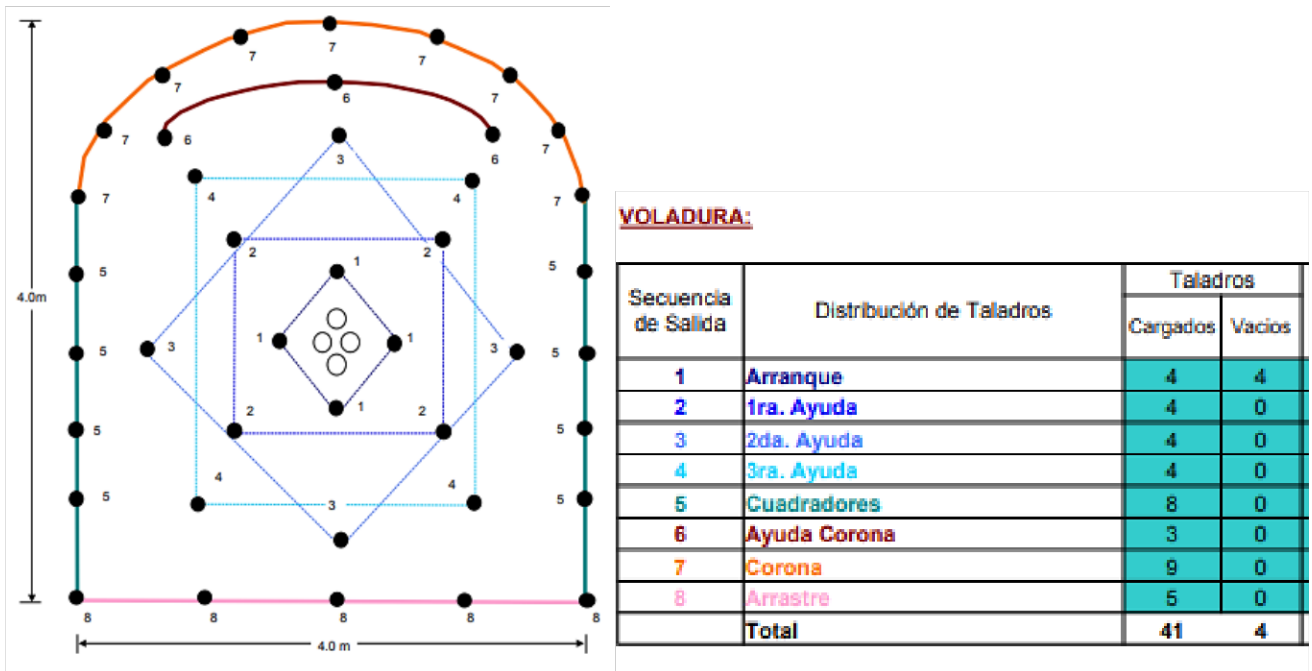


7.1 Importancia de la Secuencia de Encendido

Optimización de fragmentación; la secuencia controla cómo se fractura la roca, facilitando la extracción y minimizando la cantidad de explosivo necesaria.

Reducción de vibraciones; la configuración adecuada reduce las ondas sísmicas, protegiendo las estructuras cercanas y minimizando el daño a la galería.

Seguridad; un encendido controlado evita detonaciones accidentales y asegura que la carga explosiva libere su energía de forma predecible y controlada.



7.2 Materiales de iniciación

Los materiales para la iniciación de explosivos en voladuras subterráneas incluyen:

- Detonadores; dispositivos que inician la explosión y controlan el tiempo exacto de detonación. Los más comunes en voladuras subterráneas son:
- Detonadores eléctricos; conectados mediante cables eléctricos y activados desde una fuente externa.
- Detonadores no eléctricos (NONEL); utilizan tubos de choque que transmiten la señal de detonación mediante un impulso mecánico, reduciendo el riesgo de fallos por interferencia eléctrica.
- Cordón detonante; es un cordón flexible cargado de explosivo de alta velocidad (generalmente pentrita), que se utiliza para transmitir la detonación de un taladro a otro. Su uso es común para sincronizar detonaciones en taladros cercanos y asegurar una secuencia de voladura efectiva.
- Mecha lenta; es un dispositivo de ignición que arde a una velocidad controlada y permite un retardo suficiente para que el operador se retire a una distancia segura antes de la explosión.



8 Ventilación

La ventilación en minas subterráneas es fundamental para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores, así como para optimizar las condiciones operativas y prevenir daños en el equipo y la infraestructura. La ventilación suministra aire fresco, controla la temperatura y diluye gases tóxicos, partículas de polvo y humos generados.

8.1 Consideraciones

La ventilación en galerías subterráneas debe cumplir con normativas estrictas que aseguran la calidad del aire en todo momento. En su diseño, se consideran factores como la longitud de las galerías, el volumen de extracción, los contaminantes generados, la cantidad de trabajadores y los equipos presentes en el área.

8.2 Configuraciones de Ventilación

Existen diversos ajustes para optimizar el flujo de aire en galerías:

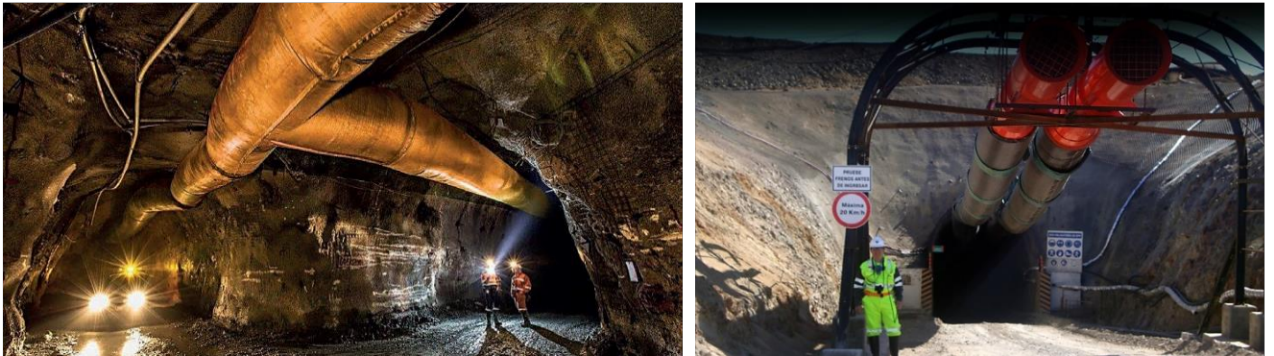
- Ventilación por aspiración (extracción); se emplea para extraer aire viciado a través de ductos, asegurando que el aire contaminado no se mezcle con el aire fresco.
- Ventilación por impulsión (inyección); suministra aire fresco directamente en el área de trabajo y es útil en galerías largas y profundas.
- Ventilación mixta; combina extracción e impulsión para mejorar la circulación, ideal en minas extensas y complejas donde se requiere un control preciso.
- Ventilación auxiliar; utiliza ventiladores portátiles y conductos móviles que distribuyen aire en zonas de difícil acceso, esenciales en avances de galerías.



8.3 Componentes del sistema de ventilación

Los componentes de la ventilación en galerías subterráneas incluyen ventiladores principales y secundarios, los cuales generan y distribuyen el flujo de aire necesario para ventilar toda la mina. Los ventiladores principales suelen ubicarse en la superficie para crear la presión requerida en el sistema, mientras que los secundarios se colocan en puntos específicos dentro de las galerías para reforzar la circulación de aire en áreas críticas. Los conductos de ventilación transportan el aire fresco o contaminado a lo largo de las galerías, permitiendo una distribución controlada y evitando la mezcla indeseada de aire limpio con contaminantes. Las compuertas y cortinas de ventilación actúan como elementos de control, permitiendo redirigir o cerrar el flujo de aire según

las necesidades operativas. Además, los sistemas de ventilación incorporan sensores de calidad del aire que monitorean en tiempo real la concentración de gases y partículas, activando alarmas en caso de niveles peligrosos y permitiendo ajustes automáticos en el flujo de aire para mantener condiciones seguras.



9 Saneo

El saneo o tojeo es una operación esencial en la minería subterránea que consiste en la inspección y limpieza de las galerías, enfocándose en eliminar materiales sueltos e inestables en los techos, paredes y frente de avance.

Este proceso es fundamental para garantizar la seguridad de los trabajadores, ya que minimiza el riesgo de desprendimientos y caídas de rocas, que son una de las principales causas de accidentes en minas subterráneas. Al eliminar las rocas inestables, se garantiza un entorno seguro y estable que permite continuar las operaciones de minería sin riesgos adicionales.

La frecuencia y metodología del saneo depende de las condiciones geológicas, el tipo de roca y la actividad minera en curso, y debe realizarse de forma constante en todas las áreas de trabajo.

9.1 Métodos de Saneo

El saneo se puede realizar a través de las siguientes técnicas:

Saneo manual; es una técnica en la que se utilizan herramientas como varillas, barras metálicas o barretas para remover las rocas y fragmentos sueltos. Este método es especialmente adecuado para áreas de difícil acceso o donde las condiciones del macizo rocoso exigen un saneo cuidadoso y controlado. Las varillas permiten al operador verificar manualmente (por golpes) la estabilidad de y liberar aquellos fragmentos inestables.



Saneo Mecanizado; utiliza equipos especializados como brazos hidráulicos, especialmente adaptados para trabajos en minería. Estos equipos están diseñados específicamente para el saneo en minería subterránea, ya que permiten realizar el proceso de forma más rápida y segura en comparación con el saneo manual. Los brazos hidráulicos tienen la capacidad de llegar a alturas y posiciones complicadas, además de aplicar la presión necesaria para remover grandes fragmentos de roca. No se deben utilizar los jumbos para esta operación debido a los riesgos presentes de caída de roca que pueden afectar los mecanismos del jumbo.



9.2 Consideraciones

El sano es una operación de alto riesgo, por lo que es fundamental que el personal esté capacitado para identificar áreas peligrosas y utilizar el equipo de forma adecuada. Es importante contar con un protocolo de seguridad que incluya el uso de equipo de protección personal (EPP), como cascos, chalecos y guantes. Además, el saneo debe realizarse regularmente y antes de iniciar trabajos en una nueva sección de la galería o después de voladuras, ya que estos eventos pueden generar inestabilidades en el techo y las paredes.

10 Carga y transporte

En minería subterránea, la carga y transporte del material volado representan operaciones fundamentales para la productividad y eficiencia de la mina. Tras una voladura, el material fragmentado debe ser rápidamente removido de la galería para permitir nuevas etapas de perforación y voladura. Estas operaciones requieren una cuidadosa planificación para garantizar la seguridad, la eficiencia y la minimización de costos.

El proceso de carga y transporte depende tanto de las características del material como de las dimensiones de las galerías y la capacidad de los equipos disponibles. Un sistema eficiente de transporte y extracción del material producto de la excavación reduce el tiempo de los ciclos de excavación y por consiguiente el costo de la galería.



10.1 Generalidades

La carga y el transporte son procesos fundamentales en la operación de minas subterráneas, constituyendo el eslabón crítico entre la producción de mineral y su traslado hacia la superficie o zonas de procesamiento. La eficiencia en estas etapas impacta directamente en la productividad general de la mina y en los costos operativos. Por ello, es esencial entender diversos conceptos relacionados que permiten optimizar estas operaciones y asegurar su eficacia.

Esponjamiento; se refiere al aumento del volumen de un material fragmentado debido a su extracción y a la liberación de tensiones que se producen durante el proceso de voladura. Este aumento de volumen puede afectar directamente la eficiencia de las operaciones de carga y el rendimiento de los equipos utilizados.

Es importante tener en cuenta el esponjamiento al calcular la cantidad de material que se debe cargar y transportar, ya que un mal cálculo puede resultar en un incremento en los costos operativos y en una reducción de la productividad.

$$\text{Esponjamiento (\%)} = \frac{V_{\text{esponjado}} - V_{\text{original}}}{V_{\text{original}}} \times 100$$

Factor de llenado; se refiere a la proporción del volumen del material cargado en relación con la capacidad total del contenedor. Un factor de llenado adecuado asegura que el equipo opere en su capacidad óptima, lo que minimiza el tiempo y los costos asociados con cada ciclo de carga y transporte.

$$\text{Factor de Llenado} = \frac{V_{\text{material}}}{V_{\text{capacidad}}}$$

Factor de carga; representa la relación entre el peso del material cargado y la capacidad máxima de carga del equipo, mantener un factor de carga óptimo es esencial para garantizar que los equipos no operen por encima de su capacidad, lo que podría resultar en daños y fallas operativas.

$$\text{Factor de Carga} = \frac{P_{\text{cargado}}}{P_{\text{capacidad}}}$$

Disponibilidad de flota; se refiere al porcentaje de tiempo que los equipos están disponibles para operar, en comparación con el tiempo total de operación. Una alta disponibilidad de flota es crucial para garantizar que las operaciones de carga y transporte no se vean interrumpidas, lo que impactaría negativamente en la productividad general de la mina.

$$\text{Disponibilidad de Flota (\%)} = \frac{T_{\text{disponible}}}{T_{\text{total}}} \times 100$$

El esponjamiento, junto con el factor de llenado, el factor de carga y la disponibilidad de flota, son elementos clave que afectan la eficiencia de las operaciones de carga y transporte en minería subterránea. Comprender y gestionar estos conceptos permite optimizar los procesos, mejorar la productividad y reducir los costos operativos, lo que es crucial en la competitiva industria minera.

10.2 Carga de Roca Fragmentada

La carga de roca fragmentada comienza inmediatamente después de la voladura. El material resultante, fragmentado en tamaños variables, es removido de la zona de trabajo mediante palas cargadoras o cargadoras subterráneas, conocidas como LHD (Load-Haul-Dump), diseñadas específicamente para manejar materiales sueltos en espacios reducidos.

El objetivo es cargar el material volado en camiones de bajo perfil mediante cargadores frontales de bajo perfil (Scoop). Estos equipos llenan los camiones en una operación continuada desde que queda disponible el frente después de la voladura.

10.2.1 SCOOPTRAM LHD

Es un equipo diseñado sobre todo para realizar trabajos en minería subterránea o en zonas confinadas. La altura máxima de esta máquina es de 2.5 metros, es decir, tiene poca altura y es alargado debido a que va abriendo camino por la mina formando túneles.

Este se puede desplazar fácilmente hacia adelante y de reversa ya que adentro de la mina no hay espacio suficiente para darse la vuelta completa, poseen una articulación central que le permite un radio de giro mínimo y les da una gran maniobrabilidad en curvas.

LOAD (Cargar). - Cargar una cantidad grande de material.

HAUL (Transportar). - Transportar el material a un área específica.

DUMP (Descargar). - Descargar la carga en un camión o en un área específica.



SCOOPTRAM LH307
(6.8 TN)



SCOOPTRAM R1300G
(6.7 TN)

10.3 Transporte de Carga Volada

El transporte de la carga volada, una vez realizada la carga inicial, implica desplazar el material desde el frente de trabajo hacia las estaciones de acarreo o la superficie. Dependiendo de la distancia y el tamaño de la mina, se utilizan diferentes sistemas de transporte: los vehículos de bajo perfil como los dumpers, los transportadores de banda o cintas transportadoras en pendientes moderados, y en ocasiones sistemas ferroviarios subterráneos.

10.3.1 DUMPERS

Vehículo autopropulsado sobre grandes ruedas, con caja abierta y muy resistente, supera importantes pendientes y la carga se realiza por medios externos, capacidad para moverse en radios de curvatura pequeños, gracias a su chasis articulado y motores de alto rendimiento y de baja emisión.



10.3.2 Cintas transportadoras

En túneles largos con métodos de excavación convencional y sobre todo con máquinas tuneladoras (TBM), el riesgo de incidencias por el transporte es alto, por lo que el empleo de cintas puede ser una alternativa viable para lograr mayor producción. Las cintas o bandas transportadoras en algunos casos constituyen un elemento más del sistema como sucede en las máquinas tuneladoras.

11 Fortificación

La fortificación de galerías subterráneas es una práctica fundamental en minería para garantizar la estabilidad de las excavaciones y la seguridad de los trabajadores. Este proceso consiste en aplicar distintos tipos de soporte al macizo rocoso para evitar desprendimientos, colapsos y deformaciones en las paredes y techos de las galerías. La fortificación adecuada permite además extender la vida útil de las excavaciones y optimizar la operatividad dentro de la mina. Los métodos de fortificación varían según las características geológicas, las dimensiones de la galería y el tipo de explotación, y requieren una evaluación cuidadosa para seleccionar los métodos y materiales más apropiados para cada entorno.

11.1 Métodos de Fortificación

La selección del método de fortificación depende de múltiples factores, como el tipo de roca, la profundidad de la excavación, el tamaño de la galería y las condiciones geomecánicas del entorno. Para ello, los criterios de selección se basan en evaluaciones geomecánicas, tales como la clasificación del macizo rocoso mediante sistemas como el RMR (Rock Mass Rating) o el índice Q, que ayudan a determinar el tipo y nivel de soporte necesario.

11.2 Tipos de Sistemas de Fortificación

Entre los sistemas de fortificación más comunes se encuentran el uso de pernos de anclaje, mallas metálicas, marcos de acero, hormigón proyectado (shotcrete) y estructuras de madera en áreas específicas. Cada uno de estos sistemas tiene ventajas y limitaciones según las condiciones de la galería. Los pernos de anclaje, por ejemplo, son efectivos para reforzar el macizo en galerías estables y ayudan a mejorar la cohesión de la roca; las mallas metálicas se combinan frecuentemente con pernos para cubrir áreas amplias y distribuir la carga de presión en las paredes. El hormigón proyectado se aplica para dar soporte adicional y cubrir superficies irregulares, formando una capa de protección de rápida adherencia.



11.3 Desafíos en la Fortificación de Galerías

La fortificación de galerías presenta desafíos importantes debido a la naturaleza variable del macizo rocoso y las condiciones de cada mina. Los cambios de presión, las filtraciones de agua y la presencia de fracturas naturales en la roca exigen ajustes en el sistema de soporte y mantenimiento continuo. La durabilidad de los materiales de fortificación también es una preocupación, ya que deben resistir las condiciones de humedad y las tensiones mecánicas propias de la minería subterránea. Los avances en materiales de construcción y el uso de tecnología para el monitoreo de estabilidad están ayudando a mejorar la efectividad y duración de los sistemas de fortificación.