CAPITULO 2

INTRODUCCIÓN A LA MINERÍA

2.1 CONTRIBUCIONES DE LA MINERÍA A LA CIVILIZACIÓN

La minería fue la segunda de las tareas primordiales del hombre, siendo la agricultura la primera. Ambas son catalogadas como las principales industrias de la civilización humana.

Otra manera de expresar la importancia fundamental de la minería, tanto en la cultura antigua como en la moderna, es recordando que la naturaleza provee sólo fuentes limitadas ó maneras para generar bienes.

Desde la época de la prehistoria, la minería ha sido esencial e integral en la existencia del hombre. El termino *minería* es usado ampliamente como: la extracción de todas las sustancias de origen natural—sólidas, liquidas ó gaseosas—de la tierra para su utilización. Se entiende por *utilización,* aquellas necesidades humanas, esenciales y que solo pueden ser satisfechas por los minerales a través de las épocas.

En sí, la mayoría de las etapas culturales del hombre, están asociadas e identificadas por los minerales ó sus derivados. Estas incluyen la edad de piedra (4000 años a.c.), la edad de bronce (4000-1500 a.c.), la edad de hierro (1780-1945), y la era nuclear (desde 1945 a la fecha). No es coincidencia que muchos de los viajes en la historia de la humanidad hayan tenido como meta principal la búsqueda de minerales, los viajes a china de Marco Polo, los viajes a África e India de Vasco de Gama, el descubrimiento de América por Cristóbal Colón, la fiebre del oro que llegó a California, Sudáfrica, Australia el Klondike Canadiense y Alaska (Rickard, 1932).

Puede demostrarse que la minería y los minerales han estado asociados con el engrandecimiento de grandes civilizaciones a través de la historia. De hecho la expansión del imperio Romano hacia España e Inglaterra, la conquista del Norte y Sudamérica realizada por los Españoles, Franceses e Ingleses, y la colonización de África y ciertas partes de Asia realizada por una coalición de fuerzas Europeas, fueron llevadas a cabo por el deseo de riqueza que generan los minerales.

TABLA 2.1. Usos de los minerales por el Hombre

Necesidad ó Uso	Propósitos	Era
Herramientas y utensilios	Comida, refugio	Prehistoria
Armas	Caza, defensa, guerra	Prehistoria
Ornamentas y decoración	Joyería, cosméticos	Antigua
Moneda	Cambio monetario	Inicial (temprana)
Estructuras y dispositivos	Refugio, transporte	Inicial (temprana)
Energía	Calor, corriente	Medieval
Maquinaria	Industria	Moderna
Fisión nuclear	Poder, guerra	Contemporánea

2.2 ELEMENTOS DE LA MINERÍA

Existen varios términos y expresiones únicas en la minería que la caracterizan como un campo técnico. Es aconsejable para las nuevas generaciones relacionadas con el ámbito minero, comenzar a dominar este lenguaje, para familiarizarse con este, evitando así aprender de memoria lo mismo, la mayoría de los términos se introducirán selectivamente en este texto.

Se relacionan entre sí, tres definiciones básicas:

Mina: excavación realizada en la tierra para la extracción de minerales
Minado: actividad, ocupación, e industria relacionada con la extracción de minerales.
Ingeniería de minas: arte y ciencia aplicados a los procesos de minado y operación de minas

Algunos términos distinguen a varios materiales minados. Geológicamente unos se distinguen de otros por lo siguiente:

Mineral: sustancia de ocurrencia natural, usualmente inorgánica, con composición química definida, y características físicas distintivas
Roca: mezcla de minerales

La distinción realizada económicamente entre los minerales, es la siguiente:

Mena: mineral con suficiente utilidad y valor para extraerse como ganancia
Ganga: mineral que carece de utilidad y valor al minarse (la ganga se asocia más con mena que el tepetate)

Cuando son relacionados los aspectos geológicos y económicos, los términos distintivos son los siguientes:

Deposito mineral: ocurrencia geológica de minerales en forma relativamente concentrada
Cuerpo mineral: ocurrencia económica de minerales que puede ser extraída como una ganancia.

Por conveniencia, los minerales comerciales se subdividen en 3 categorías principales, estas se basan en el uso principal. Los *minerales metálicos* incluyen menas de metales ferrosos como (fierro, manganeso, molibdeno y tungsteno), metales base (cobre, plomo, zinc y estaño), metales preciosos (oro, plata, platino), metales radioactivos (uranio, torio, radón). Los *minerales no metálicos* consisten de menas industriales como fosfatos, potasio, piedra, arena, grava, sulfuros, sal y diamantes industriales. Los *combustibles minerales* algunas veces llamados combustibles fósiles, incluyen al carbón, petróleo, gas natural, uranio y algunos minerales no tan comunes (lignito, pizarra, alquitrán y gas metano). Cabe aclarar que las actividades asociadas con la extracción de petróleo y gas natural se han separado, creando así otra industria con su propia tecnología especializada.

La base de la minería en la extracción de minerales de la tierra, es conducir o construir una excavación, como medio de entrada, desde la superficie existente hacia el deposito mineral. Si la excavación es totalmente abierta y operada desde la superficie, es llamada *"mina superficial"*. *Sí* la excavación consiste de aperturas para el acceso de personal debajo de la superficie, entonces es llamada *"mina subterránea"*. Los detalles específicos del procedimiento para el minado, diseño y

equipo a utilizar en una mina, distinguen el *método de minado,* así como las circunstancias geológicas, ambientales y físicas prevalecientes.

Antes de realizar el minado, se llevan a cabo *investigaciones geológicas* que ubican al deposito y al *análisis económico*. Seguido a la extracción de carbón, roca o mineral, este material es generalmente preparado o beneficiado en procesos determinados corno *"procesamiento de minerales"*. Los productos de estos procesos pueden ser procesados para su concentración, refinamiento o fabricación durante la fundición o *refinación.* El paso final en la conversión de un mineral útil a un producto consumible es el *mercadeo.*

Ocasionalmente, se emplean excavaciones en la tierra con distintos propósitos para la extracción de minerales. Estos incluyen trabajos civiles y militares, en los cuales el objetivo es realizar una apertura de tamaño, orientación y permanencia deseados. Ejemplo, túneles para el tránsito de vehículos, bodegas subterráneas, basureros e instalaciones militares.

2.3 DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA MINERA

Como una de las primeras tareas del hombre, la minería tiene un historial ancestral. Para entender las practicas modernas en las industrias minerales, es útil hablar sobre la evolución de la tecnología de minado.

La minería empezó con la era paleolítica hace 450,000 años. No existen pruebas que aseguren ciertamente sí esto realmente pasó, pero han sido descubiertos artefactos de pedernal junto a huesos humanos de los primeros años de la edad de piedra. El hombre los extrajo del suelo y aprendió a darles figura. Al principio estuvo satisfecho al recuperar piedras de excavaciones superficiales, pero al principio de la nueva era de piedra, el hombre progresó hacia el minado subterráneo en aperturas de obras de 0.6 a 0.9 metros de altura y sobre 30 ft (9 m) de profundidad, sin embargo, la mina subterránea más vieja que se conoce es de la edad de piedra y se cree que tiene unos 40,000 años de antigüedad, es una mina de hematita en Bomvu Ridge, Swaziland. Los primeros mineros utilizaban métodos crudos de ventilación, transporte, dilusión, control de tierra y fracturación de la roca. Las minas subterráneas ya alcanzaban 250 metros de profundidad en tiempos egipcios.

Los minerales metálicos atrajeron la atención del hombre prehistórico. Inicialmente, los metales tenían que utilizarse en su forma nativa, probablemente obtenidos al lavar la arena de los ríos en los depósitos de placer. Con la llegada de las eras de bronce y hierro, el hombre descubrió la fundición y aprendió a reducir menas a metales o a aleaciones.

La primera hazaña notable en tecnología que los mineros tuvieron como reto, era quebrar la roca masiva, mientras que sus herramientas de hueso, madera y piedra sólo podían excavar en tierra, ó rocas sueltas, nunca para roca sólida, a menos que existieran ranuras o grietas. Poco después descubrieron una técnica revolucionaria, con calor aplicado a una roca, este expandía la misma y después se le aplicaba agua para enfriarla, contraerla y quebrarla. Entre los grandes descubrimientos de la humanidad y el primer avance tecnológico en minería, fue la fracturación de piedras. No existió ningún otro avance tecnológico en la minería de igual impacto hasta que la pólvora negra se utilizo para quebrar roca en el siglo XVII.

Ha medida que se comenzaron a desarrollar los sistemas sociales y la cultura, la minería se volvió mas organizada. Ya que los trabajos eran arduos y peligrosos dado la naturaleza de los mismos, se destinaban esclavos y convictos para trabajar en las minas. Los supervisores e ingenieros tenían unas pagas envidiables. Los egipcios fueron los primeros organizadores de la

actividad minera, pero los operadores mineros más exitosos eran los romanos, utilizando sus habilidades colonizadoras, establecieron una industria mineral que prospero junto con el imperio.

El más grande impacto en la necesidad y el uso de minerales fue, sin embargo, registrado durante la revolución industrial a finales del siglo XVIII. Junto con las estratosféricas demandas de minerales, existieron mejorías en la tecnología de minado, especialmente en conceptos científicos y en la mecanización, los cuales continúan hasta la fecha.

No es posible mencionar cada uno de los desarrollos de la tecnología de minado, pero algunos de los más significativos que han impactado a la industria o a la civilización, se muestran en la Tabla 1.2. La culminación del lanzamiento de la era moderna en la minería al principio del siglo XX, junto con los avances mecanizados, producción en masa y otras técnicas de proceso, hacen posible la explotación de depósitos masivos de baja ley.

TABLA 2.2. Desarrollo Cronológico de la Tecnología de Minado

Fecha	Evento
450,000 a.c.	Primer minado (superficial) realizado por el hombre paleolítico, instrumentos de piedra
40,000	El minado superficial progresa a minado subterráneo, en Swaziland, África
30,000	Utensilios de arcilla son usados en Checoslovaquia
18,000	Posible uso de oro y cobre en su forma nativa
5000	Uso del método de calentamiento y enfriamiento para quebrar piedra utilizado por los egipcios
4000	Empezó el uso de metales fabricados, comienzo de la edad de bronce
3400	Primer explotación minera de turquesa, registrada, por egipcios en Sinaí
3000	Probablemente la primer fundición, de cobre y carbón por los chinos, uso de implementos de hierro por los egipcios.
2000	Primeros artefactos de oro de los que se tiene conocimiento en el nuevo mundo, Perú
1000	Uso del acero por los griegos
100 d.c.	Prospera la industria minera romana
122	El carbón es utilizado por los Romanos en Gran Bretaña
1185	Documento por el obispo de Trent les da derechos a los trabajadores mineros
1524	Primer explotación mineral registrada en el nuevo mundo, por Españoles en Cuba
1550	Uso de la bomba de elevación en Joachimstal, Checoslovaquia
1556	Primer trabajo técnico minero publicado en Alemania por Agrícola Georgius
1585	Descubrimiento de menas de hierro en América del norte y Carolina del norte
1600's	La actividad minera comienza en el este de USA (hierro, cobre, oro y plomo)
1627	Uso de explosivos en minas Europeas y Hungría
1646	Primer alto horno instalado en norte América en el estado de Massachusetts
1716	Primer escuela de minas establecida en Joachimstal, Checoslovaquia
1780	Comienzo de la revolución industrial
1800's	La minería progresa en USA; las fiebres de oro ayudan a abrir el oeste
1815	La lámpara de seguridad minera es inventada por Sir Humphrey Davy
1855	El proceso Bessemer para acero es usado en Inglaterra
1867	La dinamita inventada por Nobel es aplicada a la minería
1903	La era de la mecanización y producción en masa, comienza en la minería en USA, con el desarrollo del primer pórfido cuprífero de baja ley en Utah. La primer mina moderna fué operada a tajo abierto, las operaciones subsecuentes dieron como resultado la minería subterránea

actividad minera, pero los operadores mineros más exitosos eran los romanos, utilizando sus habilidades colonizadoras, establecieron una industria mineral que prospero junto con el imperio.

El más grande impacto en la necesidad y el uso de minerales fue, sin embargo, registrado durante la revolución industrial a finales del siglo XVIII. Junto con las estratosféricas demandas de minerales, existieron mejorías en la tecnología de minado, especialmente en conceptos científicos y en la mecanización, los cuales continúan hasta la fecha.

No es posible mencionar cada uno de los desarrollos de la tecnología de minado, pero algunos de los más significativos que han impactado a la industria o a la civilización, se muestran en la Tabla 1.2. La culminación del lanzamiento de la era moderna en la minería al principio del siglo XX, junto con los avances mecanizados, producción en masa y otras técnicas de proceso, hacen posible la explotación de depósitos masivos de baja ley.

TABLA 2.2. Desarrollo Cronológico de la Tecnología de Minado

Fecha	Evento
450,000 a.c.	Primer minado (superficial) realizado por el hombre paleolítico, instrumentos de piedra
40,000	El minado superficial progresa a minado subterráneo, en Swaziland, África
30,000	Utensilios de arcilla son usados en Checoslovaquia
18,000	Posible uso de oro y cobre en su forma nativa
5000	Uso del método de calentamiento y enfriamiento para quebrar piedra utilizado por los egipcios
4000	Empezó el uso de metales fabricados, comienzo de la edad de bronce
3400	Primer explotación minera de turquesa, registrada, por egipcios en Sinaí
3000	Probablemente la primer fundición, de cobre y carbón por los chinos, uso de implementos de hierro por los egipcios.
2000	Primeros artefactos de oro de los que se tiene conocimiento en el nuevo mundo, Perú
1000	Uso del acero por los griegos
100 d.c.	Prospera la industria minera romana
122	El carbón es utilizado por los Romanos en Gran Bretaña
1185	Documento por el obispo de Trent les da derechos a los trabajadores mineros
1524	Primer explotación mineral registrada en el nuevo mundo, por Españoles en Cuba
1550	Uso de la bomba de elevación en Joachimstal, Checoslovaquia
1556	Primer trabajo técnico minero publicado en Alemania por Agrícola Georgius
1585	Descubrimiento de menas de hierro en América del norte y Carolina del norte
1600's	La actividad minera comienza en el este de USA (hierro, cobre, oro y plomo)
1627	Uso de explosivos en minas Europeas y Hungría
1646	Primer alto horno instalado en norte América en el estado de Massachusetts
1716	Primer escuela de minas establecida en Joachimstal, Checoslovaquia
1780	Comienzo de la revolución industrial
1800's	La minería progresa en USA; las fiebres de oro ayudan a abrir el oeste
1815	La lámpara de seguridad minera es inventada por Sir Humphrey Davy
1855	El proceso Bessemer para acero es usado en Inglaterra
1867	La dinamita inventada por Nobel es aplicada a la minería
1903	La era de la mecanización y producción en masa, comienza en la minería en USA, con el desarrollo del primer pórfido cuprífero de baja ley en Utah. La primer mina moderna fué operada a tajo abierto, las operaciones subsecuentes dieron como resultado la minería subterránea

2.4. ETAPAS DE LA VIDA DE UNA MINA

La secuencia de actividades relacionadas con la minería moderna, es comparada con las etapas de la vida de una mina. Existen cuatro etapas: *prospección, exploración, desarrollo y explotación*. La prospección y la exploración, son los precursores actuales en la minería, además de estar ligados y algunas veces combinarse; Geólogos e Ingenieros mineros comparten la responsabilidad durante estas dos etapas. De la misma forma el desarrollo y la explotación son etapas que están relacionadas entre sí. Las cuatro etapas de la vida de una mina se muestran en la Tabla 1.3, existe una cobertura más completa en los capítulos 2 y 3, pero introduciremos el tema ahora. En adición a las etapas y pasos relacionados con el avance del cuerpo mineral, la Tabla 1.3 especifica los rangos comunes de tiempo y costo para cada etapa.

TABLA 2.3 Etapas de la Vida de una Mina

Etapa (Nombre del proyecto)	Procedimiento	Tiempo
antes de minar		
1. Búsqueda (deposito mineral)	Búsqueda de menas a)Métodos de búsqueda Directos: físicos, geológicos Indirectos: Geofísicos, Geomecánicos b)Localización de lugares favorables (mapas, literatura, viejas minas) c)Aéreo: fotografía aérea, geofísica aérea, satélites d)Superficial: geofísica de la tierra, geología e)Anomalías, análisis, evaluaciones	1-3 años
2. Exploración (cuerpo mineral)	Definir grado y valor del mineral (examen /evaluación) a)Muestreo (barrenación o excavación), b)Estimación de tonelaje y leyes c)Valuación del deposito Estudio de viabilidad: se lleva a cabo La decisión de abandonar o desarrollar la mina	2-5 años
minado propio		
3. Desarrollo	Llegar al deposito mineral para producción a)Adquirir los derechos de la mina (compra o renta) si no fue realizada en la etapa 2 b)Archivar la declaración del impacto ambiental c)Construcción de caminos de acceso, sistemas de transporte d)Localización de la planta superficial e)Excavación del deposito	2-5 años
4. Explotación (Mina)	Producción a larga escala de mineral a)Factores en la selección del método, Geológicos, geográficos, económicos, ambientales, de seguridad, sociales. b)Tipos de métodos de minado (superficiales y subterráneos) c)Monitorear costos y reembolso de inversión	10-30 años

Prospección

Esta primera etapa es la búsqueda de minerales metálicos u otros minerales valiosos (carbón o no metálicos). Como los depósitos minerales se encuentran en ó debajo de la superficie de la tierra, se emplean ciertas técnicas directas e indirectas de búsqueda.

El *método directo* de descubrimiento, normalmente limitado a depósitos superficiales, consiste de examinación visual del afloramiento del depósito ó de los fragmentos sueltos (flotantes) que han sido intemperizados y desterrados del afloramiento. Por métodos de fotografía aérea, mapas topográficos y estructurales de la región, el geólogo obtiene evidencia por métodos directos para localizar yacimientos. Un mapeo preciso en el campo para formaciones de rocas con estructuras peculiares, complementado por estudios analíticos y microscópicos de muestras en laboratorio, ayudan a los geólogos a localizar cuerpos tanto superficiales como subterráneos.

Una herramienta muy valiosa empleada en la *búsqueda indirecta* para cuerpos escondidos, es la *geofísica*, éste es un método el cual detecta anomalías causadas por la presencia de depósitos minerales durante el análisis sísmico, magnético, eléctrico, electromagnético y radiométrico. Es aplicado vía aérea, superficial y sub-superficial. La geofisica aplicada desde el aire o el espacio a través de sensores remotos permite que, áreas muy grandes puedan ser exploradas. En *geoquímica,* el análisis microcuantitativo del suelo, muestras de agua y geobotánica, es el estudio de los patrones de crecimiento de la vegetación, el cuál también es empleado como herramienta de prospección.

Exploración

La exploración es la segunda etapa en la vida de una mina, y determina lo más preciso posible el tamaño y valor del cuerpo mineral, utilizando técnicas similares pero más especificas a aquellas utilizadas en la etapa de prospección. No existe una línea entre estas dos etapas que las diferencien de manera precisa, de hecho no se podría hacer una distinción entre las mismas. Se obtiene mas información sobre la extensión y riqueza del deposito por la representación subjetiva de muestras químicas, rayos X, espectrografía y análisis radiometricos de las muestras. Las muestras se obtienen de depósitos afloramientos, por canales, barrenos. Los testigos pueden ser tomados por geofísicos. Existen varios métodos de barrenación para el muestreo: barrenación de diamante para la obtención de testigos y barrenación rotatoria o percusión para la obtención de cortes.

La evaluación de los testigos permite al geólogo o ingeniero minero, calcular el tonelaje, la ley o la riqueza del deposito, permitiendo a este establecer el valor monetario del mineral, estimación de los costos y evaluación de algunos factores futuros en un esfuerzo por dar a conocer en conclusión las ganancias que se obtendrán. Este proceso es llamado *estimación de reservas* ó examinacion y valoración del deposito mineral. Al concluir esta etapa, se lleva a cabo un *estudio de viabilidad* para determinar el potencial de desarrollo del deposito mineral hasta convertirse en una mina en producción. El resultado del estudio de viabilidad, ayuda al ingeniero a tomar la decisión de abandonar ó explotar el deposito.

Desarrollo

En la tercera etapa, *desarrollo*, se realiza el trabajo de apertura del deposito mineral para su explotación. Es en esta etapa donde empieza el minado apropiado. Debe contarse con acceso al deposito, ya sea (1) por descapote, o por minado superficial; ó (2) por la excavación de aperturas para depósitos altamente profundos desde la superficie.

En cualquiera de los dos casos, debe desarrollarse un trabajo preliminar antes de procederse a minar: adquisición de los derechos del mineral, financiamiento, caminos de acceso, fuentes de energía, instalaciones para el manejo y tratamiento del mineral, áreas para desechos. Si la mina va a ser superficial se comienza removiendo el material de tepetate que se encuentra sobre el cuerpo.

Explotación

Esta es la cuarta y última etapa del minado, ésta se asocia con la recuperación de mineral de la tierra. Mientras los trabajos de desarrollo necesariamente continúan durante la vida de la mina, el énfasis en la etapa de explotación es la producción. Suficiente desarrollo es realizado antes de que empiece la explotación para así asegurar que una vez empezada la producción, esta pueda continuar sin interrupción durante la vida de la mina.

La selección del método de minado para la explotación es esencialmente determinado por características del deposito mineral, tecnología, economía y limites impuestos para garantizar la seguridad. También juegan un papel clave las condiciones geológicas, tales como tamaño e inclinación del deposito, dureza del mineral y la roca encajonante.

Los *métodos tradicionales de explotación* se dividen en dos categorías: superficiales y subterráneos. El *minado superficial* incluye métodos de excavación mecánicos como minado a cielo abierto, minado por capas y métodos de extracción acuosa tales como el minado de placer y por solución. El *minado subterráneo* es clasificado generalmente en tres métodos, con soportes, sin soportes y hundimiento.

Minado Superficial

El minado superficial es el método de explotación predominantemente mundial, produce en USA cerca del 85% de todos los minerales, incluyendo petróleo y gas natural. Casi todos los minerales no metálicos (96%), el 85% de los minerales metálicos, y el 60% del carbón son minados superficialmente, y la mayoría de estos son llevados a cabo por minado a cielo abierto y minado por capas. El minado a *cielo abierto* es un método de extracción mecánica, un deposito grueso se mina generalmente por bancos, aunque un deposito relativamente delgado es minado generalmente por una sola cara, como en el minado de canteras, por capas y con barrena helicoidal. El descapote se debe llevar a cabo antes o durante el minado, excepto en el minado por capas donde el tepetate y el mineral (usualmente carbón) son recuperados en operaciones sucesivas. El minado a cielo abierto o el minado por capas se utiliza para explotar un depósito que se encuentra cerca de la superficie de la tierra o en aquellos casos donde el depósito tenga una baja relación de descapote, sea preferentemente de gran extensión y sea razonablemente uniforme en sus valores (leyes). Requiere de una gran inversión de capital, pero generalmente da

como resultado una alta productividad, bajo costo de operaciones y muy buenas condiciones de seguridad.

Los *métodos de extracción acuosa* dependen únicamente del agua u otros líquidos, como (ej., sulfato férrico, aceite antracénico) durante el minado y el procesamiento. El *minado de placer* es utilizado para explotar depósitos minerales poco consolidados, tales como arena y grava, y los cuales contienen un mineral denso valioso en estado libre. El oro, diamante, estaño y platino ocurren en forma de placer. El *minado hidráulico*, utiliza un chorro de agua de alta presión dirigido hacia un banco de placer expuesto, socavandolo y causando así el desprendimiento del material. El *dragado* realiza la extracción de las menas minerales de manera mecánica o hidráulica de balsas flotantes, En ambos métodos de placer, el mineral valioso constituyente, generalmente mas pesado que el material estéril, se remueve de lodos en base agua por concentración. El *minado por solución* incluye los dos métodos por *barreno*, tales como los pozos salinos o el proceso Frasch para la fundición de sulfuros, y *lixiviación* por solventes, ya sea in-situ o por montones.

Minado Subterráneo

La explotación subterránea es la técnica de recuperación de minerales de yacimientos debajo de la superficie de la tierra. Una mina subterránea requiere de una red extensa y cuidadosamente planificada para conseguir acceso a las áreas mineralizadas, para lo cual es necesario desarrollar chimeneas verticales, galerías horizontales, rampas inclinadas etc.

Los métodos subterráneos—de soporte, sin soporte, y de hundimiento—son diferenciados por el tipo de soportes utilizados en pared y techo, la configuración de las aperturas de producción, y la dirección en la cual las operaciones de minado progresan. Los métodos de minado sin soporte, son utilizados para la extracción de los depósitos minerales rugosamente tabulares, planos o de echado inclinado, y generalmente en contacto con paredes de roca fuerte. El minado de cuartos y pilares se adapta para depósitos regulares y planos, con el avance horizontal; el soporte del techo lo dan los pilares naturales de carbón o mineral que se dejan en un patrón sistemático, y se cortan los cuartos desde las entradas de acceso para producir las frentes de trabajo. Cuando es necesario, se coloca soporte adicional con anclaje o ademe de madera. *El minado de rebaje y pilares* (un rebaje es una gran apertura de producción) es un método similar al usado en minas no carboníferas donde ocurren cuerpos minerales más potentes e irregulares; los pilares tienen normalmente un espaciamiento aleatorio y consisten de mineral de relativamente baja ley, ya que el mineral de alta ley se extrae de los rebajes; los dos métodos suman alrededor del 75% de todo el minado subterráneo de los E.U. En la *explotación por cámaras*, el minado avanza hacia arriba, quebrando tramos de mineral a lo largo de la longitud del rebaje. El mineral quebrado se acumula en el rebaje para así proveer una plataforma de trabajo para los mineros y después sacarse por tolvas hasta niveles de acarreo en el nivel inferior. El *rebaje por subniveles* difiere del minado por cámaras por proveer varios bancos de trabajo, alineados vertical o escalonadamente, y el minado avanza horizontalmente. Se dan barrenos largos en un patrón paralelo o en abanico para fracturar la roca. El minado por cámaras es más adecuado que el rebaje por subniveles para minerales más fuertes y paredes débiles:

En los *métodos de rebaje con soporte*, estos proveen el soporte necesario a las paredes y se utilizan con frecuencia en minas que tienen estructuras débiles. El *minado de corte y rellene* se utiliza para depósitos tabulares y de alto echado. A medida que el minado avanza hacia arriba, se rellena el rebaje con tepetate para proveer soporte para las paredes. El mineral se mueve a tolvas

o metaleras, mecanicamente. El relleno de tepetate se puede realizar con material seco ó jales. En el minado *square set* (marco de entibación) también involucra relleno; sin embargo depende principalmente o del conjunto de ademe para soportar las paredes durante el minado. Estos conjuntos de ademe están ensamblados en una estructura de soporte continua para formar prismas huecos que se rellenan posteriormente con material estéril. Como es el método más costoso, generalmente se utiliza sólo en minas ricas con estructuras muy débiles.

Los *métodos por hundimiento* son variados y versátiles e involucran el hundimiento del mineral y/o roca sobreyaciente. Debido a esto puede ocurrir hundimiento en la superficie. El minado de paredes largas es un método de hundimiento, particularmente adaptado a mantos delgados, normalmente carbón a cierta profundidad. En este método se mantiene una cara de longitud considerable (una pared "larga") y, a medida que avanza el minado, se hunde el estrato sobreyaciente, ayudando así al quebrado del carbón. Un método diferente, *hundimiento por subniveles,* se utiliza para depósitos masivos ó tabulares dc alto echado. A medida que el minado avanza hacia abajo, se minan cortes alternados de mineral y las capas intermedias se recuperan por hundimiento. La roca sobreyaciente también se hunde. El *hundimiento por bloques* es un método marcadamente de gran escala, de producción masiva, altamente productivo, de bajo costo, y conceptualmente ideal para depósitos masivos que deben explotarse de manera subterránea. Un gran bloque mineral de algunos cientos de ft (m) de lado, se socava y por lo tanto causa su hundimiento. Cuando el bloque se fragmenta y colapsa, se retira el mineral por tolvas o puntos de carga a las frentes de acarreo. El *hundimiento por bloques* junto con *las paredes largas* es el método más económico de todos los métodos subterráneos debido a que su producción es alta y, excepto durante la operación de socavado los requerimientos de mano de obra son bajos. Es adaptable a cuerpos de roca y mineral moderadamente fuerte, y también para depósitos masivos o tabulares de alto echado, de tamaño considerable.

2.5 OPERACIONES UNITARIAS DE MINADO

Cuando los materiales naturales—roca ó suelo, mineral ó tepetate—son extraídos de la tierra durante las etapas de desarrollo y explotación, se utilizan operaciones unitarias similares. Las operaciones unitarias en la minería, son los pasos básicos empleados para producir mineral de un deposito, y estos relacionados a su vez con los pasos auxiliares. Los pasos que contribuyen directamente a la extracción de mineral, son las operaciones de producción, las cuales comprenden al ciclo de producción en las operaciones. Los pasos que ayudan al ciclo de producción, son llamados operaciones auxiliares.

El ciclo de producción emplea operaciones unitarias que normalmente se agrupan en dos funciones: *rompimiento de la roca* de la roca y *manejo de materiales*. El rompimiento incluye una variedad de mecanismos pero en la roca usualmente es realizado por barrenación y voladura. El manejo generalmente abarca carga o excavación y acarreo (transporte horizontal), con extracción opcional (vertical o inclinada). Así entonces el ciclo básico de producción en la minería consiste de estas operaciones unitarias:

Ciclo de producción = Barrenación + Voladura + Carga + Acarreo

Mientras que las operaciones de producción tienden a separarse y ser cíclicas en la naturaleza, la tendencia moderna y futura en el minado, es eliminar ó combinar funciones que incrementen la continuidad. Por ejemplo, el suelo puede ser excavado por una maquina que no requiera de barrenación ni voladura. Si se requiere de aflojamiento, este podría ser llevado a cabo sin explosivos al rasgar la tierra antes de cargar. En carbón o en minerales blandos, los mineros continuos quiebran y excavan mecánicamente y por consiguiente eliminan los pasos de barrenación y voladura.

El ciclo de operaciones en el minado superficial y subterráneo, se distingue principalmente por el tamaño de su maquinaria. Maquinas especiales han evolucionado para satisfacer las necesidades y condiciones únicas de éstos dos métodos.

En el minado superficial moderno, barrenos de varias pulgadas de diámetro son perforados por rotarias móviles ó barrenos de percusión para colocar los explosivos en rocas consolidadas. La carga es entonces insertada y detonada para reducir material y tepetate a fragmentos. El material quebrado es cargado por palas o dragas hacia métodos dentro de unidades de acarreo, trenes, bandas transportadoras, o más comúnmente en camiones (euclids). El carbón y el material parcialmente suelto son minados de manera similar aunque la voladura no es necesaria en la mayoría de los casos. En las canteras de piedra dimensionable, los bloques de roca se cortan por medio de máquinas o sierras sin necesidad de explotar (tronar).

En el minado subterráneo, el ciclo difiere un poco, aunque se emplea equipo normalmente a escala reducida. Se realizan barrenos más pequeños para las voladuras, y se usa maquinaria mas compacta para el cargado.

En adición a las fases de producción del ciclo actual de minado, se deben llevar a cabo ciertas operaciones auxiliares, estas operaciones consisten en proveer y mantener un soporte adecuado en el techo, ventilación y acondicionamiento del aire, fuentes de energía, bombeo, mantenimiento, iluminación, comunicación, y entrega de suministros. En el minado superficial, las dos primeras funciones no son necesarias, pero el control de taludes y la disposición de desperdicios deben estar en práctica.

2.6 LA MINERÍA Y SUS CONSECUENCIAS

Los impactos de la minería, no son del todo favorables. Los aspectos menos favorables y más controvertibles son generalmente los efectos de lado—secundarios o terciarios—los cuales son difíciles de medir y difíciles de predecir en el avance. Estos son agrupados en las siguientes categorías:

1. Impactos ambientales y del uso de la tierra
2. Accidentes y daños a la salud
3. Impactos económicos—políticos—sociales—psicológicos

Los cambios físicos, químicos y biológicos que se dan en el ambiente, a menudo resultan a consecuencia del minado. Estos son, normalmente los más evidentes y serios en los efectos de lado del minado. Ejemplos de estos son: perturbancia de la superficie, subsidencia, contaminación de agua y suelo, consumo de recursos irremplazables e intempestivo uso de la tierra.

La minería ha demostrado históricamente ser una de las industrias más peligrosas. La minería industrial produce numerosos impactos negativos en el ambiente. Estos varían desde erosión del lugar hasta la contaminación por mercurio y otros contaminantes químicos que pueden durar siglos después de que la actividad minera termina.

Los impactos más significativos ocurren durante la etapa de explotación, aunque algunas partes de la etapa de exploración también dañan el medio ambiente. El minado a cielo abierto genera enormes cantidades de basura sólida. Durante su etapa de producción una mina de oro en USA generó mas de 540 millones de toneladas métricas de basura en un año para producir 329 toneladas métricas de oro; esto es 0.00006% del material de basura.