1 La mecánica de rocas en la ingeniería de minas.

1.1 Conceptos generales[1].

La problemática de la ingeniería mecánica en todos los diseños estructurales es la predicción del comportamiento de la estructura bajo las cargas actuantes o durante su vida útil. La temática de la ingeniería de mecánica de rocas, como una práctica aplicada a la ingeniería de minas, es concerniente a las aplicaciones de los principios de la ingeniería mecánica al diseño de las estructuras de roca generadas por la actividad minera. Esta disciplina esta estrechamente relacionada con las corrientes principales de la mecánica clásica y de la mecánica de materiales, pero hay varios factores específicos que la identifican como un campo distinto y coherente de la ingeniería.
Una amplia definición de la mecánica de rocas es la que ofreció el US National Comite on Rock Mechanics en 1964 y subsecuentemente modificada en 1974:

La mecánica de rocas es la ciencia teórica y práctica del comportamiento mecánico de las rocas y de los macizos rocosos; es la rama de la mecánica referente a la respuesta de la roca y del macizo rocoso a los campos de fuerza de su ambiente físico.

Como se define la temática, es de fundamental importancia para la ingeniería de minas por que el acto de crear excavaciones para minar cambia los campos de fuerza del ambiente físico de la roca. El estudio de la respuesta de la roca a estos cambios requiere de la aplicación de técnicas analíticas específicamente desarrolladas para dicho propósito, los cuales ahora forman parte de la temática. La mecánica de rocas forma parte de la amplia temática de la geomecánica que se enfoca a la respuesta mecánica de todos los materiales geológicos, incluyendo los suelos. La erudita sociedad de geomecánica en Australia, La Australian Geomechanics Society, define a la geomecánica como “la aplicación de principios geológicos y de ingeniería al comportamiento de los suelos, del agua subterránea y al uso de estos principios a la ingeniería civil, ingeniería de minas, ingeniería de costas e ingeniería ambiental en el sentido más amplio”.
Esta definición de geomecánica es casi sinónimo del termino ingeniería geotécnica, la cual es definida como “la aplicación de la ciencia de mecánica de suelos, mecánica de rocas, ingeniería geológica y de otras disciplinas relacionadas a la construcción en ingeniería civil, las industrias de extracción y a la preservación y mejora del ambiente” (Anon, 1999). El termino ingeniería geotécnica y el adjetivo geotecnia será usado de igual manera es este texto.
Los principios de aplicación de la mecánica de rocas en la minería subterránea esta basada en premisas simples y quizás evidentes en si. Primero, se postula que a un macizo rocoso se le puede atribuir un sistema de propiedades mecánicas que pueden ser medidas en una prueba estándar o se que pueden ser estimados utilizando técnicas establecidas. En segundo lugar, se afirma que el proceso de la explotación minera subterránea genera una estructura rocosa con huecos, elementos de soporte, estribos y que el funcionamiento mecánico de la estructura es favorable al análisis utilizando los principios de la mecánica clásica. La tercera posición es la capacidad de predecir y controlar el comportamiento mecánico de la roca encajonante en donde el proceso de minado puede garantizar o incrementar la seguridad y el comportamiento económico de la mina. Estas ideas pueden ser algo elementales. Sin embargo, incluso la aplicación limitada de los conceptos de mecánica en la excavación y en los diseños estructurales en minas es una innovación comparativamente reciente (Hood y Brown, 1999).

1.2 Complejidades inherentes en la mecánica de rocas[1].

Se ha observado que la mecánica de rocas representa un juego de principios, un cuerpo de conocimiento y varios procedimientos analíticos relacionados al campo general de la mecánica aplicada. La pregunta que surge es – que problemas mecánicos se presentan en los medios geológicos, suficientes para justificar la formulación o el reconocimiento de una disciplina coherente, dedicada de la ingeniería? Los cinco temas que se discutirán a continuación determinan la naturaleza y el contenido de la disciplina e ilustra la necesidad de esforzarse en investigar y para desarrollar funciones y metodologías especificas en la ingeniería de minas.

1.2.1 Fracturas en la roca[1].

La fractura en los materiales convencionales de ingeniería ocurren en un campo de tensión, algunas teorías sofisticadas han postulado la explicación del comportamiento antes de la falla y después de la falla del material. Los campos de esfuerzos que se encuentran en estructuras rocosas son de compresión, así que las teorías establecidas no son inmediatamente aplicables a la fractura en la roca. Existe una complicación peculiar en la roca referente a la compresión que esta asociada con la fricción del movimiento que se genera entre las superficies de las microfracturas, las cuales son los lugares donde se originan las fracturas. Esto causa que la resistencia de la roca sea altamente sensible a esfuerzos de confinamiento, y genera dudas concernientes a la relevancia de los principios de normalidad, flujos asociados y la teoría plástica en general dentro de los análisis de esfuerzos y deformaciones antes de la falla en las propiedades de la roca. Un problema relacionado es el fenómeno de la localización, en el cual la ruptura en un medio rocoso se expresa como la generación de uniones debidas a la intensa deformación de cortante, separando los ámbitos del material rocoso aparentemente sin alterar.

1.2.2 Efectos de la escala[1].

La respuesta de la roca a cargas impuestas muestra un efecto pronunciado en el tamaño o escala de la carga. Este efecto es relacionado en parte a la naturaleza discontinua de los macizos rocosos. Las uniones y otras fracturas de origen geológico están presentes en los cuerpos rocosos, y de esta manera la resistencia y las propiedades de deformación de los macizos rocosos están influenciadas tanto por las propiedades del material rocoso (por ejemplo, la continuidad del macizo rocoso) y la variación en las características estructurales. Estos efectos se pueden apreciar considerando varias escalas de carga como a los que los macizos rocosos se encuentran sometidos en la práctica de la minería. El proceso de la barrenación generalmente refleja las propiedades de la resistencia de la roca intacta, puesto que el proceso funciona induciendo fracturas al material rocoso debajo de la herramienta de perforación. Minando un cuele en roca con uniones puede reflejar las propiedades del sistema de uniones. En este caso, la sección final de la abertura estará definida por el comportamiento de las uniones. El comportamiento de la roca en la periferia de la obra puede reflejar la presencia de pequeños bloques de roca, en los cuales la estabilidad esta definida por la fricción y por otras fuerzas actuando sobre su superficie. En una escala mas grade, por ejemplo un pilar, las uniones del macizo pueden demostrar las propiedades de pseudo continuidad. Los efectos de escala se pueden ver de una manera esquemática en la figura 1.1.

Estas consideraciones sugieren que las especificaciones de las propiedades mecánicas de un macizo rocoso no tienen simple importancia. En particular, la inverosímil posibilidad de hacer pruebas en especimenes de rocas con uniones, a una escala suficiente para representar la continuidad equivalente satisfactoriamente, indica la

necesidad de postular y verificar métodos de sintetizar las propiedades del macizo rocoso para sus elementos constitutivos.

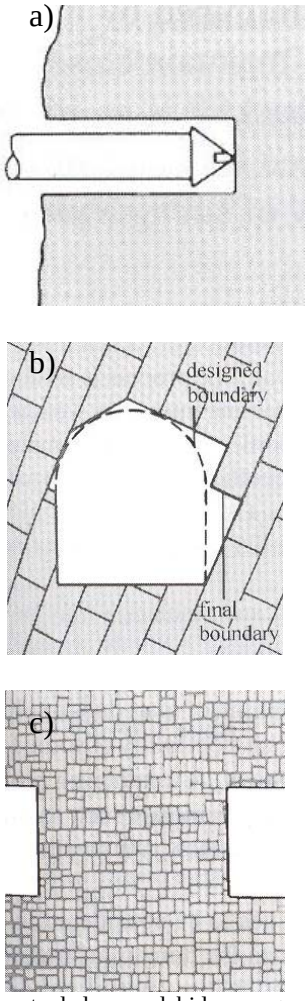

Figura 1.1 El efecto de la escala en la respuesta de la roca debida a cargas impuestas: a) falla de un material rocoso debido a la barrenación, b) Las discontinuidades controlan la forma final de la excavación, c) un pilar de mina opera de una forma pseudo continua.

1.2.3 Resistencia a la tensión[1].

Las rocas se distinguen de todos los demás materiales comunes de ingeniería, a excepción del concreto, por su baja resistencia a la tensión. Los especimenes de roca probados en pruebas de tensión uniaxial han fallado a esfuerzos muy bajos en comparación a los valores obtenidos en las pruebas a la compresión simple (UCS). Debido a que las uniones y otras fracturas ofrecen poca o nula resistencia a la tensión, la resistencia a la tensión en un macizo rocoso puede asumirse como nula. La implicación de esta propiedad en diseños de excavaciones en roca es que ninguna zona identificada por el análisis será sujeta a esfuerzos de tensión, en la práctica, destensionarla, y causar re distribución de esfuerzos locales. La destensión puede dar como resultado una inestabilidad en la roca, lo cual se verá reflejado en desprendimiento espontáneo o progresivo de la roca.

1.2.4 Efectos del agua subterránea[1]

El agua subterránea puede afectar el comportamiento mecánico de las rocas en dos sentidos. El mas obvio es el que ocurre en la operación de la *ley del esfuerzo efectivo*. El agua bajo presión en las uniones que definen bloques reduce el esfuerzo normal efectivo entre las superficies de las rocas y por lo tanto reduce la potencial resistencia al corte. En las rocas porosas, como la arenisca, la ley del esfuerzo efectivo tiene un comportamiento igual que al de suelos granulares. El efecto de fisuras o poros de agua bajo presión reducen el esfuerzo ultimo del macizo, en comparación con las condiciones que se presentan cuando se colocan drenes.

Un efecto más sutil del agua subterránea sobre las propiedades mecánicas de las rocas puede surgir de la acción nociva del agua en determinadas rocas y minerales. Por ejemplo, la arcilla se muestra suave en presencia de agua, reduciendo el esfuerzo y aumentando la deformabilidad del macizo rocoso. Las rocas argilizadas, como las pizarras y las areniscas argilizadas, también demuestran una marcada reducción en la resistencia de los materiales seguida de infusión en el agua (*infusión.-acción de introducir en agua caliente ciertas sustancias orgánicas para extraer de ellas las partes solubles*).

La implicación de los efectos del agua subterránea en la resistencia del macizo rocoso son muy considerables para las prácticas de minería. Puesto que el comportamiento de la roca se pude determinar por su ambiente geohidrológico, puede ser esencial en algunos casos mantener un control de las condiciones del agua subterránea en el área de la mina. Además, puesto que las operaciones de relleno son importantes en algunas operaciones de explotación de minas, se debe considerar cuidadosamente desde el punto de vista de las características de los esfuerzos bajo las condiciones variables del agua subterránea.

1.2.5 Intemperismo[1]**.**

El intemperismo se puede definir como la alteración física o química de la superficie de la roca debido a las reacciones con los gases atmosféricos y soluciones acuosas. El proceso es análogo a los efectos de la corrosión en materiales convencionales. El interés ingenieril del intemperismo se genera debido a su influencia en las propiedades mecánicas del material intacto, así como la potencialidad del efecto significativo del coeficiente de fricción en la superficie de la roca. Parece que mientras el intemperismo causa una reducción constante en las propiedades de la roca, el coeficiente de fricción de una superficie puede sufrir una reducción (Boyd, 1975).

A pesar de que los procesos físicos como el ciclo termal y la insolación pueden ser importantes en la minería a tajo abierto, el proceso del intemperismo subterráneo es en su mayor parte de origen químico. Esto incluye disolución y el fenómeno de cambio de iones, oxidación e hidratación. Algunos efectos del intemperismo son fácilmente apreciables, como la disolución de calizas en un ambiente de alteración debido al agua subterránea. En otros casos, como en la oxidación de la pirrotita, la susceptibilidad de algunas formas de minerales a un rápido ataque químico no esta totalmente comprendido. Otro problema de alteración se presenta en rocas básicas que contienen minerales como el olivino y piroxenos. La hidrólisis produce montmorilonita, la cual es una arcilla expansiva con un comportamiento mecánico especialmente intratable.

Esta discusión no identifica todos los términos a considerar. Sin embargo, es claro que este tema (el intemperismo) trasciende el dominio de la mecánica aplicada tradicional y necesita incluir un número de temas que no tienen que ver con ninguna otra disciplina de la ingeniería.

1.3 Minería subterránea[1].

La extracción de minerales mediante minería subterránea envuelve la generación de diferentes tipos de aberturas, con un considerable rango de funciones. En una mina convencional se puede tener: tiros, niveles de acarreo, contra frentes, cruceros de extracción, cámaras de bombeo, tiros de ventilación y entradas de aire que constituyen desde accesos a la mina hasta excavaciones para servicios. Su vida útil es comparable o en ocasiones excede la vida del depósito por ser minado y normalmente este tipo de obras se lleva a cabo en las tablas del deposito (roca estéril). Las obras de servicio y las de operaciones directamente asociadas con la recuperación del mineral que consisten en cruceros de extracción, frentes, contra pozos de acceso y metaleras, desde donde o en los cuales se lleva a cabo varias operaciones de producción. Estas obras se llevan a cabo en la zona mineralizada o en zonas estériles cercanas al depósito mineral y su vida útil esta limitada a la duración de la actividad del minado en su vecindad inmediata. Muchas obras van siendo eliminadas conforme se va minando. El tercer tipo de obras subterráneas son las que se encuentran en el depósito mineral. Puede ser un rebaje, con unas tablas bien definidas formando los limites geométricos del hueco minado, el cual aumenta de tamaño conforme se va minando. Alterno a esto puede ser que el rebaje tal ves tenga relleno de fragmentos con unos limites pobremente definidos, que normalmente coinciden con los limites del deposito. Las zonas fragmentadas son generadas por disgregación inducida. La vida útil de cualquier tipo de estas obras (rebajes) esta definido por la duración de la actividad de la extracción del mineral.

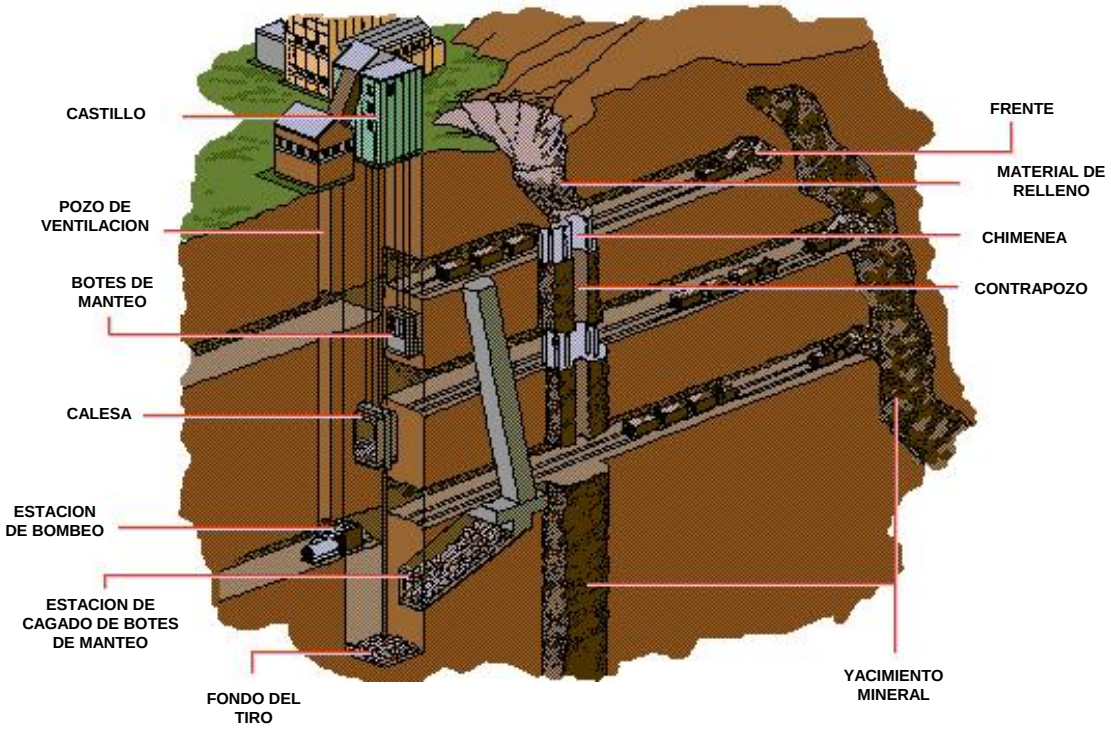

Figura 1.2 Obras Mineras
Imagen tomada de http://html.rincondelvago.com/carbon.html

Independientemente del sistema de minado subterráneo que se adopte para la extracción de mineral, es posible especificar cuatro objetivos comunes de la mecánica de rocas para una buena ejecución de la estructura del minado, y para los tres tipos de obras subterráneas que se describieron anteriormente. Estos cuatro puntos son:

- Asegurar la estabilidad total de la estructura completa de la mina, definida por los rebajes y los huecos minados, mineral por minar y la roca estéril adyacente;
- Proteger las obras principales de servicio de principio a fin según la vida útil con la cual se diseño.
- Proveer de accesos seguros a lugares de trabajo seguros, tanto en las zonas de producción y como en sus alrededores.
- Preservar las condiciones de minado para las reservas sin minar.

Es instructivo definir las diferencias significativas en operaciones referentes a excavaciones subterráneas diseñadas para propósitos de ingeniería civil y aquellas excavaciones envueltas en la práctica de la ingeniería de minas sujetas a la entrada del personal de la mina. En el ultimo caso, el uso de cualquier obra esta enteramente en bajo control de los operadores de la mina. Y durante su uso activo la superficie de la excavación esta sujeta a la virtual inspección continua del personal de la mina. Los trabajos de mantenimiento o de restauración de las condiciones de seguridad alrededor de las obras subterráneas, tienen rangos que van desde amazice hasta métodos de soporte y refuerzo, que se pueden realizar en cualquier momento, bajo la dirección del departamento de operación o de planeación de la mina. Estas operaciones raramente se ven en las obras enfocadas a la ingeniería civil. Otra gran diferencia es que la mayoría de las excavaciones con propósitos mineros tienen una vida útil significativamente menor que aquellas excavaciones usadas para propósitos de ingeniería civil. No es de sorprender, por lo tanto, que el diseño de una excavación minera refleje el grado de control inmediato sobre la utilización de la excavación, mediante inspecciones, mantenimiento y el soporte que pueda ofrecer la operación e la mina.
Además de los diferentes limites de operación para las excavaciones mineras y civiles, hay una marcada diferencia en la naturaleza de las estructuras generadas y esto afecta directamente la filosofía del diseño. La principal diferencia es que una estructura de roca de la ingeniería civil es reparable, considerando que una estructura minera continúa su desarrollo desde el inicio hasta el fin de la mina. En el último caso, la secuencia de los rebajes o del minado por bloques asume gran importancia. Las dediciones hechas en los primeros años de la vida de la mina puede limitar las opciones y el éxito de la mina, cuando se esta buscando establecer una estrategia ordenada y efectiva para la extracción o la recuperación del mineral remanente.

1.4 Estabilidad de taludes como una rama de la ingeniería[2].

Debido a la naturaleza discontinua de la roca, el diseño de taludes estables es en mucho tanto arte como ingeniería aplicada. La experiencia es importante así como un apropiado uso de las teorías de mecánica de rocas y mecánica de suelos, geología estructural e hidrología.
Actualmente existen muchos software disponibles para diseño de taludes, pero es importante que los ingenieros que manejen estos softwares comprendan la teoría básica de la estabilidad de taludes en roca (o inestabilidad) antes de que intenten utilizar algún método computarizado, especialmente antes de que intenten interpretar y aplicar los resultados.

1.4.1 Estabilidad de taludes en ingeniería civil[2,3]*.*

El campo de la ingeniería civil utiliza muchos principios de la mecánica de suelos para el análisis de la estabilidad de taludes. Este campo tiene mas que ver con cortes de taludes en suelos sueltos, granulares o materiales sin consolidar. Los análisis se utilizan principalmente para:

- Cimentaciones, construcciones o desplantes de presas.
- Cortes en caminos.
- Corte y recubrimientos en túneles.
- Canales de irrigación.
- Presas de jales.
- Patios de desperdicios (waste dumps).

El diseño de cortes en roca para obras de ingeniería civil tales como carreteras o líneas de ferrocarril son normalmente relacionados a la geología estructural. Esto es, la orientación y características (como la longitud, rugosidad y materiales de relleno) de las uniones, la estratificación y fallas que ocurren detrás de la cara de la roca.
Para muchos cortes en obras de ingeniería civil, los esfuerzos en la roca son mucho menores que la resistencia de la roca, esto tiene que ver un poco con las fractura que puede ocurrir en la roca. Por consiguiente, el diseño de taludes es principalmente relacionado con la estabilidad de los bloques de la roca formados por discontinuidades. La resistencia de la roca intacta, es indirectamente utilizado en el diseño de taludes, relacionado a la resistencia al cortante de las discontinuidades y del macizo rocoso, así como a los métodos de excavación y a los costos. La figura 1.3 muestra algunas condiciones geológicas y su influencia en la estabilidad e ilustra los tipos de información que es importante para poder diseñar. Los taludes a) y b) muestran condiciones típicas de rocas sedimentarias, como las areniscas y las calizas que contienen estratificaciones, en donde el deslizamiento puede ocurrir si la inclinación de los estratos es más pronunciada que el ángulo de fricción de la superficie de la discontinuidad. En el ejemplo a) los estratos cortan la cara del talud y los bloques pueden deslizarse debido a la estratificación, en el ejemplo b) la cara coincide con la estratificación y la cara es estable. En c) la mayoría de la cara del talud es también estable por que la principal discontinuidad tiene un echado hacia la cara del talud. No obstante, hay algún riesgo de inestabilidad de los bloques superficiales formados por la concentración de familias de uniones que están inclinadas hacia fuera de la cara del talud, particularmente si ha sufrido daños debido a los explosivos utilizados durante la construcción. En el ejemplo d) la principal familia de fracturas tiene una inclinación hacia dentro de la cara del talud pero con un ángulo más pronunciado que forma una serie de tablas delgadas que pueden fallar por volcadura de bloques (topping) donde el centro de gravedad de los bloques queda fuera de su base. El talud e) muestra una típica estratificación horizontal de una secuencia de arenisca-pizarra en donde la pizarra sufre mas rápidamente un proceso de intemperismo que el que ocurre en la arenisca que forma una serie de rocas que salen de la cara del talud y que pueden caer bruscamente debido a esfuerzos verticales que actúen en las uniones. El ejemplo f) esta cortado en roca débil que contiene espaciamientos cercanos pero uniones de baja persistencia lo cual no forma una superficie continúa de deslizamiento. Si se realiza un talud lo suficientemente inclinado en este macizo rocoso puede fallar a lo largo de de una superficie circular poco profunda parcialmente en las uniones y a través de la roca intacta.

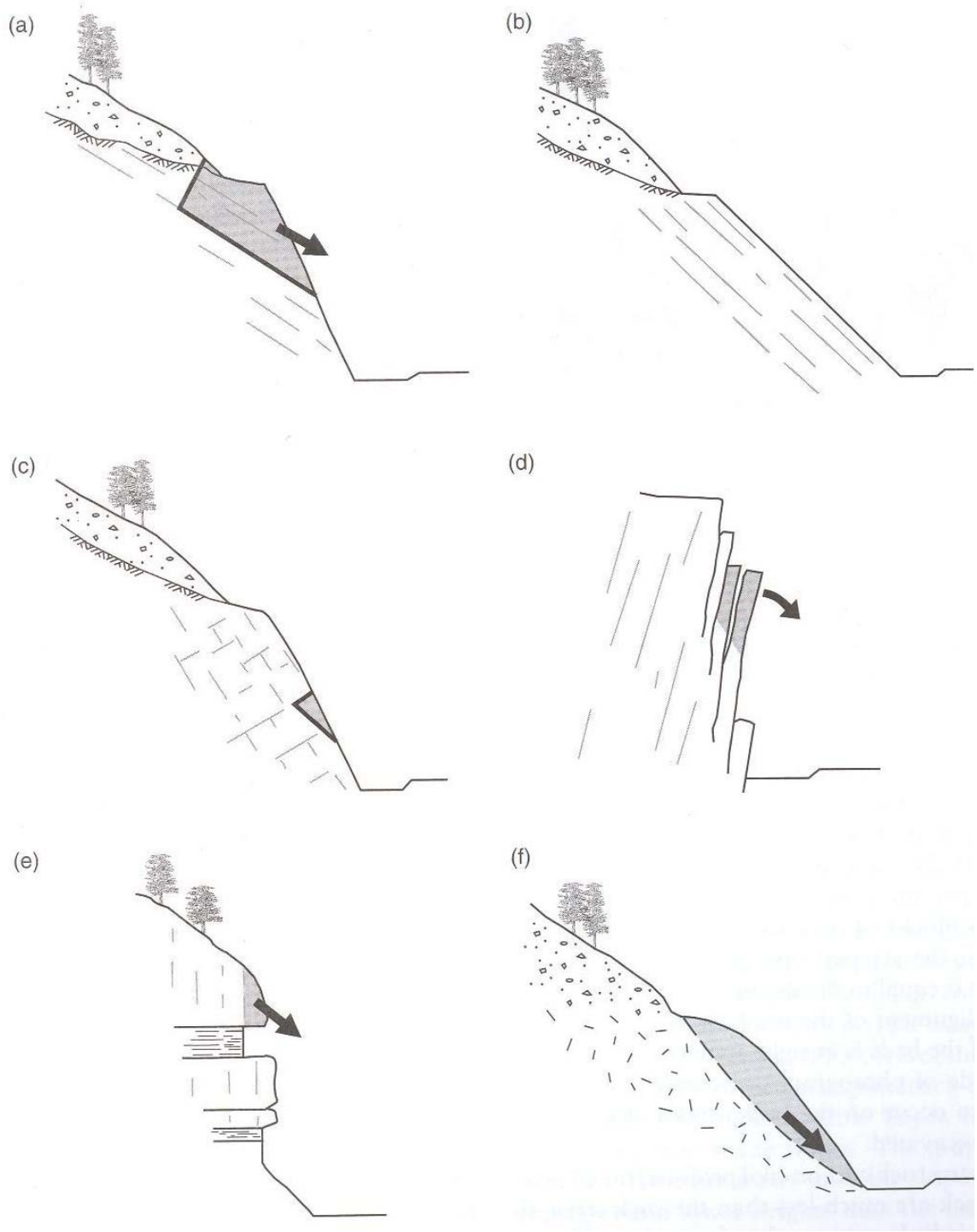

Figura 1.3 Influencia de las condiciones geológicas en la estabilidad de cortes en roca: a) potencialmente inestable, las discontinuidades están a favor de la cara del talud; b) Talud estable, la cara excavada es paralela a las discontinuidades; c) talud estable, las discontinuidades tiene un echado hacia adentro de la cara del talud; d) Falla por volcamiento de bloques que se encuentran con una inclinación pronunciada hacia la cara del talud; e) intemperismo de estratos de pizarra en donde sobresalen los estratos de la arenisca mas resistente; f) potencial falla a lo largo de una superficie circular poco profunda, en fracturas muy cercanas y roca débil.

1.4.2 Estabilidad de taludes en la ingeniería de minas[2,3].

El campo de la ingeniería de minas, en el otro lado de la estabilidad de taludes, utiliza fundamentalmente principios de la mecánica de rocas para analizar la estabilidad de taludes en cortes rocosos. La mecánica de rocas es más complicada que la mecánica de suelos por las siguientes razones (Brawner y Milligan 1971):

- Los materiales rocosos son heterogéneo y normalmente anisótropos.
- Los parámetros de resistencia relacionados a los macizos rocosos son infinitamente variables y difíciles, si no es que imposibles de determinar precisamente.
- Los modelos y teorías generalizadas del comportamiento de las rocas son muy complejos, así como las matemáticas que lo envuelven.
- Las condiciones de campo son extremadamente difíciles y a menudo imposibles de duplicar en un laboratorio.
- El muestreo en campo es por lo general complicado y el consumo de tiempo y dinero son altos.

La ingeniería de la estabilidad de taludes en roca es la aplicación de los principios de la mecánica de rocas y los principios de la geología estructural. Esto incluye no solo los análisis cinéticos (kinetics) (posibles modos de falla) y análisis cinemático (estabilidad de los modos de falla) (kinematics) sino que también incluye análisis probabilísticos, métodos de estabilizar los taludes, análisis de aguas subterráneas, recolección de datos geológicos, métodos de monitoreo de taludes, etc.

Los tres componentes principales del diseño de taludes para un tajo abierto son los siguientes (Figura 1.4). Primero, el ángulo de reposo (ángulo total) del talud del tajo desde la cresta hasta el pie, incluyendo todas las rampas y bancos. Este puede ser un talud mixto, con un talud poco pronunciado en materiales superficiales y débiles, y con un talud más pronunciado en una roca más competente en las zonas mas profundas. Aunado a esto, el ángulo del talud puede variar alrededor del tajo para acomodar tanto a la geología y la disposición de las rampas. Segundo, el ángulo de la rampa interna es el talud o taludes que se encuentran entre cada rampa que dependerá del numero de rampas y de sus respectivos espesores. Tercero, el ángulo de la cara de cada banco depende del espaciamiento vertical entre bancos, o bancos múltiples combinados, y el ancho de los bancos requiere contener caídas menores de roca. Algunos factores que influyen en el diseño de los taludes, es la altura, la geología, la resistencia de la roca, la presión del agua subterránea y el daño provocado por los explosivos a la cara del talud. Por ejemplo, por cada avance hacia atrás (push-back?), la profundidad del tajo se incrementara y puede que se requiera un disminución correspondiente al ángulo total del talud. También, para taludes por donde pasa una rampa, el ángulo del talud deberá tener menos pendiente para disminuir los riesgos de fallas que dejen inhabilitada la rampa, a diferencia de los taludes que no tienen rampas y donde se pueden tolerar algunos tipos de inestabilidad. Donde exista una presión de agua significante en alguno de los taludes, esta se debe de tomar en cuenta para instalar sistemas de drenes, si estos pueden ayudar a disminuir la presión del agua que permitan que el ángulo del talud se incremente. Para tajos profundos donde el incremento del ángulo del talud en uno o dos grados ayude a recuperar varios millones de metros cúbicos de excavación en roca, tal vez se pueda justificar un vasto sistema de drenaje. Como los sistemas de drenaje que incluyen abanicos de barrenos con longitudes de cientos de metros barrenados desde la

cara del talud, o un socavón de drenaje con barrenos dentro de la roca del túnel. Con respecto al ángulo de la cara de los bancos, estas pueden estar dominadas por la orientación de la familia de uniones predominante si es que hay uniones que salgan de la cara con un ángulo mas inclinado. Si esta situación no existe, entonces el ángulo del banco estará relacionado a la geometría general. Un factor que puede afectar la máxima altura de un banco individual, es el alcance vertical de los equipos de excavación, para limitar los accidentes debido al colapso de caras de taludes.

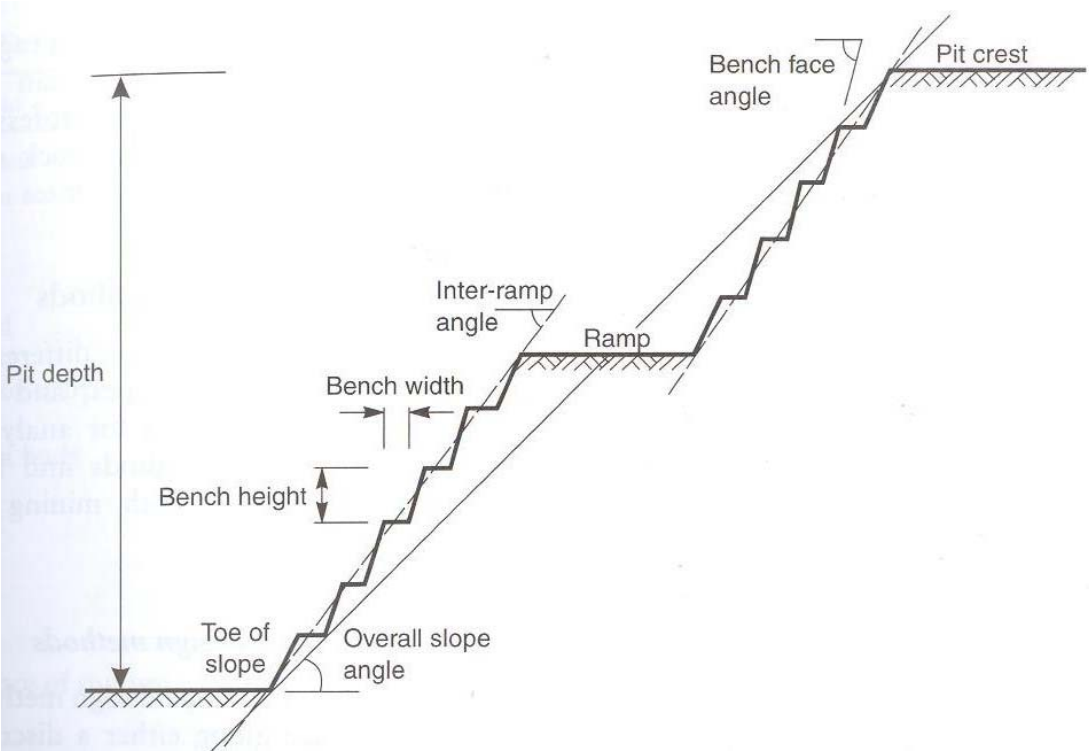

Figura 1.4 Geometría típica del talud de un tajo abierto mostrando la relación entre ángulo total del talud, ángulo de la rampa interna, geometría de los bancos.

Con la finalidad de proveer guía en relación a los ángulos de taludes estables se han llevado a cabo un número de estudios mostrando la relación entre el ángulo del talud, altura del talud y la geología; los resultados muestran si el talud es estable o inestable (Figura 1.5). Estos estudios se llevaron a cabo para los dos tipos de taludes tanto en tajos abiertos (Sjöberg, 1999), como para taludes naturales y artificiales en China (Chen, 1995). Como es de esperarse, si los taludes no fueran escogidos de acuerdo a la geología, habría una pequeña relación entre la altura y el ángulo para los taludes estables. Sin embargo, la clasificación de los datos de acuerdo al tipo de roca y a la resistencia de la roca muestra una razonable correlación entre la altura del talud y el ángulo para cada clasificación.

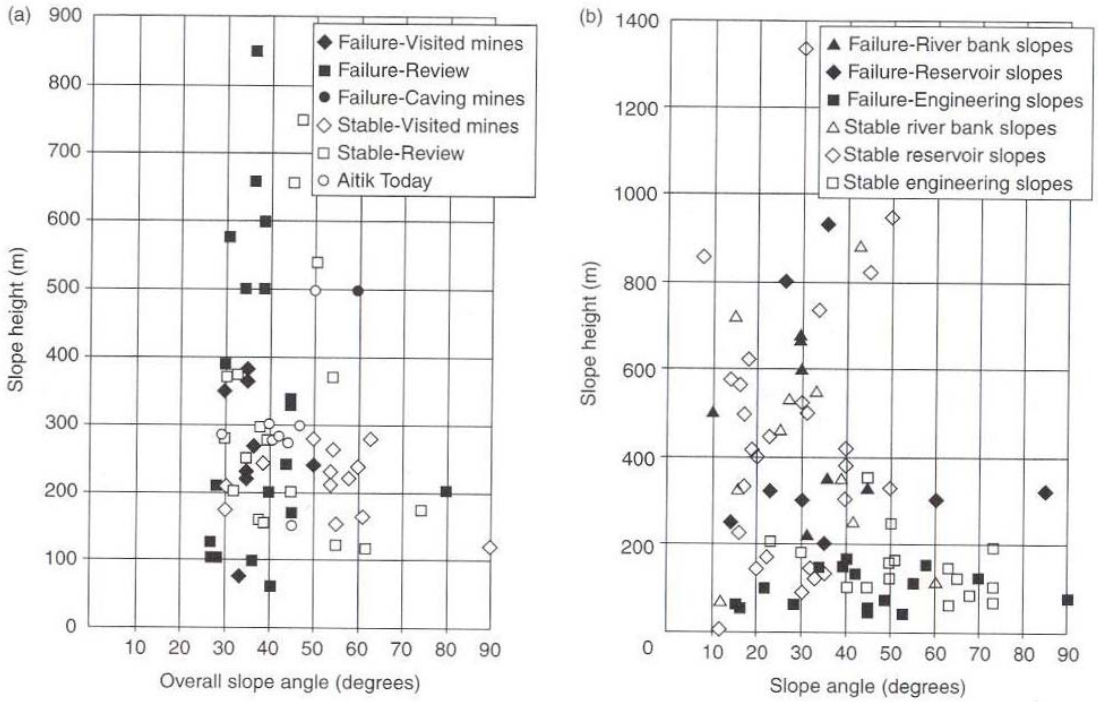

Figura 1.5 Relación entre altura y ángulo de los taludes para tajos abiertos, taludes naturales y taludes ingenieriles: a) taludes de tajos y hundimientos de minas (Sjöberg, 1999); y b) taludes naturales e ingenieriles en China (Chen, 1995).

Bibliografía:

1. Rock Mechanics for underground mining, Tercera Edicion, B.H.G. Brady and E.T. Brown, Ed. Springer, 2006, Holanda.

2. Rock Slope Stability, Charles A. Kliche, SME, 1999, EUA.

3. Rock Slope Engineering Civil and Mining, Duncan Wyllie y Christopher Mah, Cuarta Edición, Spon Press, 2004, EUA