



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“MÉTODOS TOPOGRÁFICOS APLICADOS A LA
EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE
YACIMIENTOS MINERALES.”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

“INGENIERO TOPÓGRAFO Y GEODESTA”

PRESENTA:

SANDRA PÉREZ PÁEZ

DIRECTOR DE TESIS:

ING. ADOLFO REYES PIZANO

México, D.F., 2012.





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/100/11

Señorita
SANDRA PÉREZ PÁEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. ADOLFO REYES PIZANO, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA.

"MÉTODOS TOPOGRÁFICOS APLICADOS A LA EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES"

- INTRODUCCIÓN
- I. ASPECTOS LEGALES DE LA MINERÍA
 - II. MÉTODOS TOPOGRÁFICOS APLICADOS A LA EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO
 - III. MÉTODOS TOPOGRÁFICOS APLICADOS EN LA EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEA
 - IV. CARTOGRAFÍA MINERA
 - V. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 15 de noviembre del 2011.
EL PRESIDENTE


M.L. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JTS/MTH*gar.

AGRADECIMIENTOS

Creo que en verdad he sido una persona muy afortunada, por haber encontrado a personas que me han apoyado y han estado conmigo en diferentes etapas de mi vida, y aunque las palabras no son suficientes para demostrarles mi gratitud, al menos es un intento para que sepan que los tengo presentes y que son parte de mis plegarias diarias.

A mi madre por todo el apoyo que me ha brindado y porque siempre se ha esmerado por darme sólo lo mejor, disculpándome por no haber sido lo que ella hubiera esperado de mí, y aún así, ella siempre está ahí cuando la necesito.

A mi hermano Abel por “presionarme” constantemente para que termine lo que empecé y por saber escuchar.

A mi sobrino Dante, porque nunca deja de sorprenderme la cantidad de talentos que tiene, aunque él todavía no se haya dado cuenta.

A mi sobrina Yaneli, quien no sé por qué tiene la facilidad de hacer que cualquier problema o pesar desaparezcan con el simple hecho de contemplar su carita y porque de una manera inexplicable, estoy segurísima de que da buena suerte.

A los siguientes profesores de la Facultad de Ingeniería, quienes fungen como jurado:

Ing. Benito Gómez Daza

Ing. Erik de Valle Salgado

Ing. Casiano Jiménez Cruz

Ing. José Luis Higuera Moreno

Al Ing. Adolfo Reyes Pizano, quien es mi director de tesis, por tomarse el tiempo de revisar y corregir el presente trabajo.

A María Guadalupe García Paredes, quien ha sido una amiga incondicional y me ha escuchado y apoyado en todas mis crisis existenciales, esperando que pronto ella encuentre al fin su camino

Y por último, no por ser menos importante, sino por el contrario, para cerrar con broche de oro, al Ing. Juan Ernesto Cortés Pérez, porque inexplicablemente siempre ha sido un gran apoyo; porque sin él simplemente este trabajo no tendría forma; por su infinita paciencia en leer y corregir mis pergaminos; por toda la confianza (muchas veces inmerecida) que ha depositado en mí; porque sabe escuchar; porque me induce a ser una mejor persona en todos los aspectos; y por obrar el milagro de traerme nuevamente a la vida, MUCHAS GRACIAS.

INTRODUCCION	1
I. ASPECTOS LEGALES DE LA MINERIA.	3
I.1. Generalidades Respecto al Derecho de la Propiedad Minera.	4
I.1.1 Naturaleza de la propiedad minera.	4
I.2. Concesiones Mineras.	7
I.2.1. De las Concesiones en general.	7
I.2.2. Lote minero.	8
I.2.3. Concesiones mineras.	9
I.3. Trabajos Periciales.	15
I.3.1. Informes periciales.	17
I.3.2. Coordenadas del Punto de partida.	20
I.4. Expropiaciones y Servidumbres.	22
I.5. Inspección y Vigilancia Minera	24
I.6. Reglamento de la Policía Minera y Seguridad en los Trabajos de las Minas. . .	25
I.7. Registro Público de Minería.	26
I.7.1. Medición y Trazo De Lotes Mineros.	27
II. METODOS TOPOGRAFICOS APLICADOS A LA EXPLOTACION A CIELO ABIERTO	29
II.1 Perspectiva Histórica de la Explotación de Minas a Cielo Abierto.	29
II.1.1. Casos en los que se aplica la explotación a cielo abierto.	29
II.2. Consideraciones sobre el plan general de labores.	32
II.3. Métodos de Minado Superficial.	33
II.3.1. Minado de Placeres.	34
II.3.2. Minado a Tajo Abierto.	38
II.3.3. Glory Hole.	42
II.3.4. Transporte del mineral.	43
II.3.5. Medios de arranque.	44
II.4. Monitoreo de Fallas en las Explotaciones a Cielo Abierto.	46
II.4.1. Tipos de Fallas.	47
II.4.1.1. Falla plana.	47
II.4.1.2. Falla de cuña o multiplanar.	48
II.4.1.3. Falla de volcadura.	48
II.4.1.4. Falla de alabeo o de placa.	49
II.4.1.5. Falla circular.	49
II. 5 Topografía de Tajo.	51

II.5.1.	Control Primario: Triangulación.	51
II.5.2.	Control del tajo.	55
II.5.3.	Determinación de volúmenes y tonelajes.	55
II.5.4.	Rutinas diarias para el control de un Tajo.	56
II.5.5.	Rutinas frecuentes en el control de un Tajo.	57
II.5.6.	Trabajos ocasionales en el control de un Tajo.	57
II.5.7.	Ejemplos prácticos de topografía en explotaciones a cielo abierto.	58
II.5.8.	Exploración.	59
II.5.9.	Planeación.	60
II.5.10.	Preparación de sitio y construcción.	64
II.5.10.1.	Trabajo de gabinete.	64
II.5.10.2.	Localización física del área y preparación de sitio.	65
II.5.10.3.	Entrega física del sitio.	65
II.5.10.4.	Levantamiento para cubicación de movimientos de tierra.	65
II.5.11.	Explotación.	66
III.	METODOS TOPOGRAFICOS APLICADOS EN LA EXPLOTACION SUBTERRANEA	69
III.1.	Generalidades Respecto a Los Levantamientos Subterráneos.	69
III.1.1.	Entrada por socavón.	69
III.1.2.	Entrada por tiro.	71
III.1.3.	Apoyo topográfico superficial.	72
III.1.3.1.	Orientación astronómica.	73
III.1.3.2.	Puntos de control.	73
III.1.3.3.	Sistema de coordenadas.	74
III.1.4.	Transportación de la meridiana.	74
III.1.4.1.	Procedimientos magnéticos.	75
III.1.4.2.	Procedimientos óptico-mecánicos.	76
III.1.4.2.1.	Comunicación con el exterior por medio de un socavón.	76
III.1.4.2.2.	Comunicación con la superficie por uno o varios tiros. .	77
III.1.4.2.2.a.	Cuando el tiro se encuentra en perforación.	77
III.1.4.2.2.b.	Comunicación con la superficie por un solo tiro.	79
III.1.4.1.2.c.	Cuando la mina tiene acceso al exterior por dos tiros. .	87
III.1.4.2.	Procedimientos giroscópicos.	89
III.2.	Métodos de Minado Subterráneo.	90
III.2.1	Resistencia del mineral y de la roca encajonante.	91

III.2.2. Tamaño, forma y ángulo de buzamiento del depósito.	91
III.2.3. Profundidad del depósito y naturaleza del encape.	91
III.2.4. Continuidad de la mineralización dentro de los límites del cuerpo e influencia de la geología en la estructura de las rocas.	91
III.2.5. Rebajes Naturalmente Soportados.	92
III.2.5.1. Rebajes abiertos.	92
III.2.5.2. Aberturas aisladas.	93
III.2.5.3. Aberturas con Pilares.	93
III.2.5.4. Rebajes abiertos con pilares casuales.	94
III.2.5.5. Rebajes abiertos con pilares regularmente distribuidos.	94
III.2.5.6. Salones y Pilares.	95
III.2.5.7. Tumbe por Subniveles.	96
III.2.5.8. Tumbe Sobre Carga.	97
III.2.6. Rebajes Artificialmente Soportados.	98
III.2.6.1. Corte y Relleno.	99
III.2.6.2. Frentes Largas..	100
III.3. Levantamiento de Obras Mineras.	101
III.3.1. Tiros.	107
III.3.2. Socavones.	107
III.3.3. Cruceros.	107
III.3.4. Rampas.	108
III.3.5. Contrapozos.	109
III.3.6. Rebajes.	110
III.3.7. Barrenos de exploración.	111
III.3.7.1. Calculo del rumbo.	111
III.3.7.2. Cálculo de la distancia horizontal A-B y la inclinación del barreno.	112
IV. CARTOGRAFÍA MINERA	113
IV.1. Antecedentes.	113
IV.2. Generalidades de la Proyección Universal Transversa de Mercator.	121
V. CONCLUSIONES.	127

INTRODUCCION

La minería está profundamente vinculada a la historia de México. Nuestro país cuenta con una enorme cantidad y variedad de recursos minerales; seguir la trayectoria de su explotación y aprovechamiento nos permite entender mejor la evolución de nuestra Nación, desde los fenómenos que afectaron el crecimiento y distribución de la población en el territorio, hasta la evolución del arte y la cultura. Muchas de las ciudades más importantes de México surgieron en torno a los reales de minas y gran parte del patrimonio arquitectónico que las distingue y enorgullece fue auspiciado por el auge y la riqueza mineras.

Durante los siglos XIX y XX, hasta 1991, México produjo 197 486 toneladas de plata, cantidad mayor a toda la producción hasta el siglo XVI. La producción mundial desde 4000 a.C. hasta 1991 fue de 1 061 963 toneladas, de las cuales México produjo 251 685, lo que constituyó el 23.7% de toda la producción histórica mundial, y lo colocó en el primer lugar de producción, seguido por Estados Unidos de América, con una producción histórica de 160 356 toneladas, que hicieron el 15.1% de la producción histórica de la tierra.

Lo anterior ilustra la gran riqueza mineral de nuestro país, y pone de manifiesto la necesidad que históricamente ha habido en cuanto a una buena planeación y explotación de los recursos minerales. Para la concreción de tales fines, la labor de la Topografía de Minas ha sido fundamental.

El propósito de la topografía de minas es determinar las posiciones relativas de dos o más puntos, ya sea sobre la superficie o en el interior de una mina, o relacionar puntos en la superficie con otros en el interior. Consiste en medir con la intención de dibujar sobre el papel, planos y secciones de los trabajos superficiales y subterráneos, los edificios y otras instalaciones en la superficie, así como las características naturales de éstas y los límites de una concesión minera.

Los planos y secciones confiables son de un gran valor porque proporcionan una vista de todas las características importantes de la propiedad, aportando datos que ayuden en el desarrollo futuro de la mina y evitando litigios caros debidos a invasiones sobre los denuncios contiguos.

Los accidentes y pérdidas causadas por realizar las labores en una dirección equivocada, o dentro de trabajos antiguos, donde se pueden encontrar gases o agua en grandes cantidades, también se evitan por medio de buenos levantamientos y planos confiables.

La topografía de minas, hasta años recientes, iba rezagada respecto a los avances en otras ramas de la topografía, y esto es debido a que los levantamientos en las minas, en algunas regiones, aún se hacen con instrumentos que hace mucho quedaron descontinuados.

El gran valor de nuestros yacimientos minerales y la intensidad con que han sido explotados, junto con el deseo de evitar dudas, como las mencionadas antes, han dado lugar a la necesidad de un alto grado de precisión en la topografía de minas.

El desarrollo de un proyecto minero comprende, invariablemente, las etapas de exploración, planeación, preparación de sitio, construcción y explotación. Son muy importantes los trabajos topográficos que se realizan durante todas estas etapas del proyecto de una mina; de hecho, es posible afirmar que no podría darse el desarrollo de la minería sin la existencia de la topografía. Es importante señalar que, aunque existen métodos establecidos para llevar a cabo los trabajos, éstos generalmente sufren cambios o adaptaciones, dependiendo de las condiciones específicas de cada lugar, así como del equipo y recursos disponibles.

El objetivo de este trabajo consiste en mostrar las funciones que el Ingeniero Topógrafo y Geodesta desempeña en la Industria Minera, durante todas las etapas del desarrollo de una unidad minera, y demostrar que la actividad del Ingeniero Topógrafo en dicha industria es un elemento continuamente presente, y además de relevante importancia, ya que con su desempeño contribuye a la buena marcha del negocio. En la industria minera, la capacidad profesional del Ingeniero Topógrafo afronta grandes retos, considerando que, además de exigírsele una sólida preparación técnica, se ponen a prueba también sus conocimientos en materia administrativa y legal, además de que debe relacionarse con otros profesionistas como ingenieros geólogos, ingenieros en minas, ingenieros geofísicos, metalurgistas, abogados, biólogos, ecólogos, etc.

I. ASPECTOS LEGALES DE LA MINERIA.

De acuerdo con la Ley, los trabajos que se realizan en el ámbito de la minería, comprenden básicamente los siguientes tres aspectos¹:

- ✓ **Exploración:** son las obras y trabajos realizados en el terreno con el objeto de identificar depósitos minerales, al igual que cuantificar y evaluar las reservas económicamente aprovechables que contengan.
- ✓ **Explotación:** son las obras y trabajos destinados a la preparación y desarrollo del área que comprende el depósito mineral, así como los encaminados a desprender y extraer los productos minerales existentes en el mismo.
- ✓ **Beneficio:** son los trabajos para preparación, tratamiento, fundición de primera mano y refinación de productos minerales, en cualquiera de sus fases, con el propósito de recuperar u obtener minerales o sustancias, al igual que de elevar la concentración y pureza de sus contenidos.

Al hablar de los aspectos legales en materia minera, es necesario aclarar que se llama Ley a la Ley reglamentaria del artículo 27 constitucional en materia minera (Ley Minera), misma que se encarga de regular a través de su Reglamento (Reglamento de la Ley Minera), los derechos y obligaciones correspondientes a las concesiones de exploración, explotación, beneficio y aprovechamiento de las sustancias que constituyen depósitos minerales distintos del terreno; siendo la Secretaría de Economía, la instancia encargada de administrar adecuadamente estos preceptos.

¹ Artículo 3° de la Ley Minera.

I.1. Generalidades Respecto al Derecho de la Propiedad Minera.

I.1.1. *Naturaleza de la propiedad minera.*

La propiedad minera puede considerarse como una propiedad especial, ya que por un lado, recae sobre objetos que son de primordial interés público y no pueden obtenerse sino después de grandes trabajos. Además, la explotación de las minas plantea diferentes problemas de orden jurídico, que el poder público no puede dejar desatendidos.

De aquí que lo relativo la propiedad minera caiga bajo el campo de acción del Derecho Privado y del Derecho Público. Con respecto al primero, en cuanto a que las minas forman parte del patrimonio de las personas y pueden ser objeto de transmisiones y convenciones jurídicas que regula el Derecho Civil, sin olvidar que la explotación minera requiere grandes capitales que por lo general exigen la formación de sociedades y que, por otra parte, los operarios mineros o trabajadores forman también agrupaciones o sociedades que tienen un régimen especial; el Derecho Público interviene, en primer lugar, porque la masa de productos minerales es absolutamente indispensable para la satisfacción de las necesidades generales y tiene carácter limitado, lo que hace que su explotación deba ser racional para que sea económicamente sustentable; y, en segundo término, porque los trabajos en el interior de la mina son especialmente peligrosos, por lo que se hace necesario el establecimiento de reglas especiales, que sirvan para la protección específica de los operarios, y que traen como consecuencia la creación de un cuerpo de empleados encargados de inspeccionar el ejercicio de la minería y la observancia de las disposiciones legales que lo regulan, disposiciones que tienden a subordinar el interés público al general.

Ese carácter especial que tienen las minas, hace necesaria la discusión acerca de a quién debe atribuírsele su propiedad; tres son, en general, las tesis que se sustentan al efecto: la que atribuye al propietario del suelo; la que atribuye al primero que las explora o explota, y la que la atribuye al Estado o a la Nación.

- a) La primera tesis, considera a la mina o el subsuelo como parte o extensión de la superficie, o como legítima accesión a ella, atribuyendo su propiedad al propietario de la superficie. Esta tesis rechaza la distinción entre el suelo y el subsuelo por considerarla como artificiosa e indeterminada.

- b) Otra tesis considera a las sustancias minerales como cosas sin propietario alguno, adjudicándose su propiedad al primero que las encuentra, y cuyos derechos se extienden a una cierta zona amparada por la ley.
- c) Otra tesis adjudica las minas al Estado, considerándolo como propietario del subsuelo, interviniendo el Estado solamente para regularlo, manteniendo el aprovechamiento de todo cuanto sea posible, o concediéndolas en orden de prioridad a los descubridores que lo soliciten (primer ocupante) cuando su explotación por parte del Estado sea imposible, y dejando siempre a salvo el derecho del dueño para aprovecharse de las sustancias que se considere como continuación del suelo, y aún dándole preferencia sobre cualquier otro solicitante.

En los Estados Unidos Mexicanos, el decreto de la ley de Agosto de 1930 con sus reformas posteriores, no establece ninguna distinción entre el suelo y el subsuelo y sujeta a sus disposiciones tanto la explotación como el beneficio de todas las sustancias minerales naturales, excepción hecha del petróleo con sus derivados, los minerales radiactivos, las tierras de aprovechamiento agrícola o forestal, todas las rocas que no sean susceptibles de utilizarse comercialmente en las industrias de la minería o del petróleo, así como los productos derivados de la descomposición de estas rocas siempre y cuando su explotación no necesite trabajos subterráneos; las sustancias en suspensión o en disolución de las aguas subterráneas cuando éstas no provengan de alguna mina, los materiales de construcción y ornato para fines de construcción y los productos que se obtengan de las salinas cuando éstas no sean formadas directamente por las aguas marinas; las rocas o los productos de su descomposición que sólo puedan utilizarse para la fabricación de materiales de construcción o se destinen a este fin; los productos derivados de la descomposición de las rocas, cuando su explotación se realice por medio de trabajos a cielo abierto, y la sal que provenga de salinas formadas en cuencas endorréicas².

En nuestro país, el Código Civil menciona que las minas (mientras no se otorgue su

² Artículos 4° y 5° de la Ley Minera.

concesión) se encuentran entre los bienes del dominio público que, sin ser de uso común; pertenecen primordialmente a la Nación y están destinados al fomento de la riqueza nacional, ya que el derecho de explotar y beneficiar cualquiera de las sustancias minerales anteriormente citadas se adquiere de ella mediante concesiones otorgadas por el Estado.

El decreto de ley también establece que la explotación y el beneficio de las sustancias minerales, por ser de utilidad pública, gozará de preferencia sobre cualquier otro aprovechamiento del terreno.

Cabe mencionar que la Nación puede reservarse la facultad de excluir temporal o definitivamente del derecho público de registro, aquellos terrenos que el Ejecutivo designe con objeto de investigar, descubrir y en su caso aprovechar como: criadero de sustancias minerales que puedan servir de abonos agrícolas o materia prima para la fabricación de los mismos, así como las sustancias minerales que considere indispensables para la defensa del territorio o para el desarrollo económico nacional.

Sin embargo, el Estado podrá enajenar o arrendar las sustancias o zonas que se reserve, a condición de que sirvan:

- I. Para promover y fomentar la explotación de recursos en zonas aisladas, inexploradas o abandonadas, concediéndolas cuando los interesados demuestren poseer los recursos económicos indispensables, así como los elementos técnicos necesarios para llevar a cabo los trabajos que requiera el aprovechamiento de la concesión.
- II. Para procurar que los mineros en pequeño y las sociedades cooperativas desarrollen actividades mineras en regiones que presenten perspectivas de explotación comercial y que respondan a su capacidad económica.
- III. Para llevar a cabo la explotación de sustancias minerales, cuando por circunstancias especiales sea necesario regular su producción y distribución.

Para poder autorizar la explotación de un yacimiento, el Estado impondrá las condiciones siguientes:

- a) La intervención del Estado en cuanto a la regulación y venta de los productos.
- b) Tratándose de sustancias que puedan ser en determinadas circunstancias indispensables a la defensa nacional, la obligación de ceder preferentemente, a igualdad de precio, sus productos a los departamentos o servicios nacionales que se le indiquen, y, en casos anormales, ponerlos absolutamente a disposición del Gobierno mediante indemnización de su coste. La reserva de terrenos a favor del Estado es de tres clases: provisional, temporal y definitiva.

I.2. CONCESIONES MINERAS.

I.2.1. De las Concesiones en general.

Todo mexicano que cumpla con los requisitos publicados en la Ley tiene derecho de obtener concesiones que amparen y autoricen:

- 1º Los trabajos de exploración para el descubrimiento de yacimientos minerales que puedan ser susceptibles de explotación.
- 2º Los trabajos de explotación para la apropiación y beneficio de las sustancias minerales especificadas con anterioridad, que se extraigan de los terrenos que la concesión ampare.
- 3º La construcción y explotación de establecimientos metalúrgicos y de preparación mecánica.

Anteriormente existía una diferencia entre las concesiones de exploración y las concesiones de explotación; pero, a partir de las modificaciones que se hicieron a la Ley Minera de 2005, la Secretaría de Minas sólo expide títulos de concesión o de asignación minera.

I.2.2. Lote minero.

Se entiende por *lote minero*³ un sólido de profundidad indefinida, limitado por planos verticales y cuya cara superior es la superficie del terreno, sobre la cual se determina el perímetro que comprende.

Los lados que integran el perímetro del lote deberán estar orientados astronómicamente norte-sur y este-oeste y la longitud de cada lado será de cien o múltiplos de cien metros, excepto cuando estas condiciones no se puedan cumplir por colindar con otros lotes mineros preexistentes.

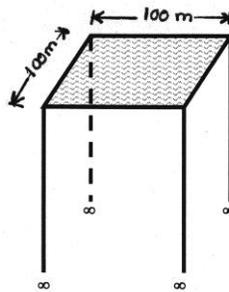


Fig. I.1.- Pertenencia o unidad de medida de un lote minero.

La localización del lote minero se determina con base en un punto fijo en el terreno denominado *Punto de Partida* (P.P.), ligado con el perímetro del lote o ubicado sobre el mismo. La liga del P.P. será preferentemente perpendicular a cualquiera de los lados norte-sur o este-oeste del perímetro del lote. Las características físicas del P.P., de acuerdo con la Ley⁴, son las siguientes:

- ✓ Dimensiones mínimas: sección horizontal cuadrada de 60 cm por lado y 1 m mínimo de altura.
- ✓ Material: concreto o mampostería con mortero de cemento.
- ✓ Terminado: aplanado en todas sus caras.
- ✓ Punto geométrico: barra de hierro de 12.7 mm de diámetro, empotrada verticalmente

³ Artículo 12 de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Minera

⁴ Sección SEGUNDA del Instructivo en el que se determinan las características del Punto de Partida Origen correspondiente a una solicitud de asignación o concesión minera.

desde su cara superior horizontal, al centro y al ras.

✓ Grabado: deberán aparecer en una de sus caras laterales los siguientes datos:

1. La abreviatura P.P.
2. Nombre del lote
3. Superficie del lote
4. Agencia de Minería a la cual deberá solicitarse.
5. Número de expediente.

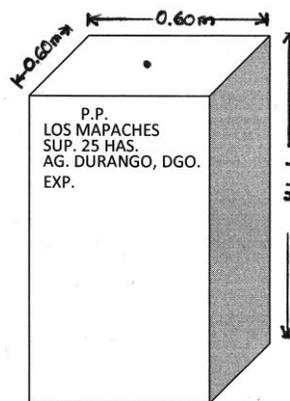


Fig. I.2.- Ejemplo Punto de Partida de un lote minero.

I.2.3. Concesiones mineras.

Las concesiones o asignaciones mineras se obtienen mediante una solicitud que es necesario presentar en la Dirección General de Minas, por conducto de la Agencia de Minería que corresponda, de acuerdo con la entidad federativa en que se encuentre situado el lote que se pretenda explorar y explotar. Dicha solicitud deberá contener los siguientes Datos⁵:

1. Nombre completo del o de los solicitantes:

⁵ Artículo 16 del Reglamento de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Minera

- a) Si es persona física,
 - b) Si es persona moral, datos de su inscripción en el Registro Público.
2. Registro Federal de Contribuyentes.
 3. Nombre del representante (en su caso).
 4. Domicilio para recibir notificaciones.
 5. Nombre del lote.
 6. Superficie del lote en hectáreas
 7. Municipio y estado de ubicación del lote.
 8. Principales minerales o sustancias motivo de las obras y trabajos de exploración.
 9. Ubicación del punto de partida y referencias a lugares conocidos y centros de población de la zona, y su ruta de acceso desde el poblado más cercano.
 10. Lados, rumbos, distancias horizontales y colindancias del perímetro del lote y, en su caso, de la línea o líneas auxiliares del punto de partida a dicho perímetro, en los términos del artículo 12 de la Ley.
 11. Perímetro o perímetros interiores de lotes mineros preexistentes de ser el caso.
 12. En su caso, nombre del lote y número de expediente o el título que amparaba con anterioridad al mismo.

A las solicitudes se anexarán los siguientes documentos:

- ✓ Copia del comprobante del pago de los derechos.
- ✓ Tres fotografías: una que muestre la mojonera, que señala la posición del punto de partida y sus datos de identificación, y otras dos tomadas desde distinto ángulo y distancia, en que se aprecien los aspectos panorámicos del terreno que rodea a dicha mojonera, indicando su posición con una flecha.
- ✓ Porción de plano INEGI donde se localice el punto de partida, para solicitudes cuya

En la figura I.4 (a), podemos observar el caso de una solicitud de concesión que al localizarla en el terreno, se encontró que toda ella estaba comprendida en terreno libre, es decir, no hubo ningún traslape con algún otro lote. Sin embargo, en la figura I.4 (b), se observa que al tratar de localizar el terreno que ampara la concesión a que se refiere la solicitud, se encontró que se interfería con un lote ya titulado, llamado “**Lote X**”, en la forma que se indica en la figura y, en consecuencia, de acuerdo con las disposiciones que se mencionaron anteriormente, la concesión quedará disminuida una porción EFGH correspondiente al *Lote X* y, con la porción DGH por no estar contigua a la que contiene el Punto de Partida se puede formar una fracción amparada por la misma solicitud.

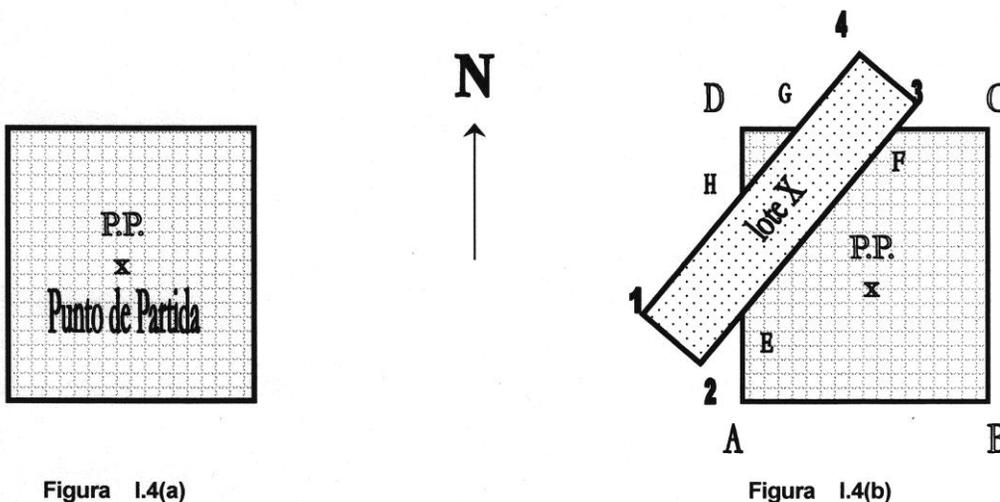


Figura I.4(a)

Figura I.4(b)

Las condiciones fijadas para la localización en el terreno y el deslinde o amojonamiento de los lotes de explotación son las siguientes:

- I.- Se precisará su localización por medio de un perímetro definido, relacionándose a un punto fijo.
- II.- El perímetro del lote se definirá por las longitudes horizontales y los rumbos de sus lados, y deberá contener el terreno libre o concesible que pueda existir dentro de la superficie.
- III.- El punto fijo o Punto de Partida debe ser permanente.
- IV.- Para poder precisar y comprobar la posición del Punto de Partida, se ligará la mojonera del Punto de Partida (P.P.) con un Punto de Control (P.C.) de la Subred Geodésica

Minera, que se relacionará por medio de la distancia horizontal y el rumbo astronómico.

Cuando el punto de partida no se encuentre sobre el perímetro del lote solicitado, la liga entre dicho punto de partida y el perímetro se hará por medio de una línea determinada por la distancia horizontal que no debe ser mayor que 3000 m y su rumbo astronómico.

En la localización de los lotes mineros se tendrán en consideración las siguientes definiciones:

- a) Se designa como *grupo*, al conjunto de lotes colindantes o no que se relacionan a una misma mojonera de localización. En la figura 1.3, podemos observar que los lotes “El lobo” y “San Juan” están referidos al punto de partida “o”.

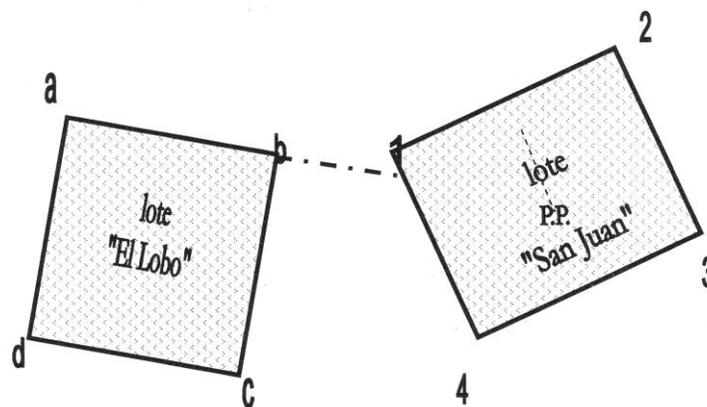


Figura 1.5. Agrupamiento

- b) Cuando se trata de lotes colindantes, el concesionario podrá solicitar una Unificación de los mismos, aún cuando no se encuentren referidos a un mismo P.P.

Cabe señalar que para la localización de esta clase de lotes se requiere referir sus posiciones a un mismo sistema de coordenadas dentro del cual se fijan siempre los vértices de los lotes ya existentes.

En los casos de grupos, y cuando la solicitud se refiera a un lote que se encuentra a una distancia mayor que 1 km de la mojonera de localización origen del grupo, el interesado podrá separar su lote del grupo, mediante la construcción de la mojonera especial respectiva. También podrá separar un lote cuando la mojonera de localización que sirva de punto de

partida del grupo no sea identificable y, por último, podrá también quitar al lote del grupo, cuando la mojonera de localización sea mojonera esquina existente sobre su terreno y le sirva de punto de partida en la solicitud de concesión al interesado.

c) El terreno libre que se encuentre rodeado por terrenos amparados por concesiones o asignaciones mineras y que tenga una superficie máxima de 10 hectáreas constituirá un lote minero denominado hueco, cuya concesión podrá ser solicitada con arreglo a lo siguiente:

- ✓ El titular de la concesión o asignación minera con mayor perímetro colindante con el hueco, tendrá derecho preferente para que se le otorgue la concesión correspondiente sobre el mismo.
- ✓ En caso de que el titular antes señalado no ejerza su derecho, la preferencia pasará al siguiente titular de la concesión o asignación minera con mayor perímetro colindante con el hueco y así sucesivamente.
- ✓ Cuando existan titulares de concesiones o asignaciones mineras cuyos lotes tengan igual perímetro colindante con el hueco, la preferencia se definirá mediante un sorteo entre ellos.

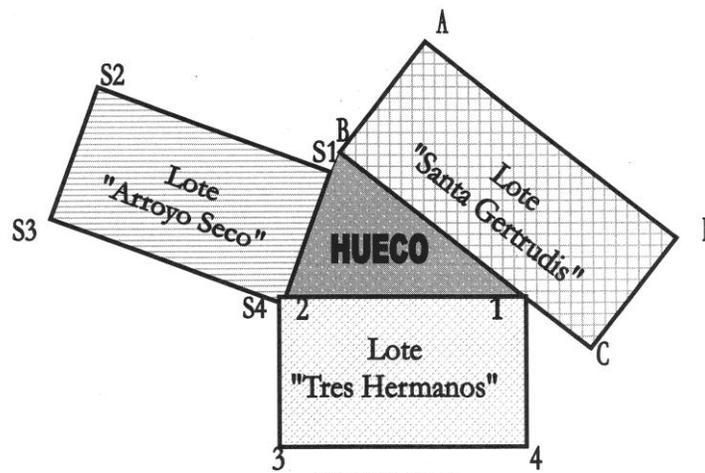


Figura 1.6. Hueco

En caso de que una persona distinta al titular señalado en el segundo párrafo de este artículo solicite la concesión minera sobre el hueco, la Secretaría notificará, dentro de los 30

días siguientes a la presentación de los trabajos periciales, a los titulares de las concesiones o asignaciones mineras que colinden con el hueco para que ejerzan su derecho preferente con arreglo a las disposiciones anteriores.

I.3. Trabajos Periciales.

Los trabajos periciales dentro del ámbito minero, involucran los trabajos topográficos relacionados para ubicar en superficie una concesión, y los realizados para la determinación del punto de partida del lote, así como la revisión de trabajos tanto del interior como del exterior de las minas⁶, siendo éstos, trabajos basados 100% en la topografía. De acuerdo con la Ley, se llama *Perito minero* a la persona registrada ante la Secretaría, capacitada para ejecutar trabajos periciales⁷. El Ingeniero Topógrafo, por su formación, es el más indicado para realizar estos trabajos, y por tanto, para fungir como Perito Minero.

Los trabajos periciales están comprendidos básicamente en las etapas sucesivas siguientes⁸:

- ✓ Análisis preliminar. En esta etapa el Perito debe revisar que la solicitud de concesión cumpla con los requisitos establecidos por la Ley en cuanto a superficie, orientación de los lados, ubicación del Punto de Partida (línea auxiliar, en su caso), y deberá seleccionar el o los Puntos de Control autorizados por la Secretaría, que sean los más convenientes de acuerdo con el método de levantamiento que aplicará.
- ✓ Reconocimiento. Búsqueda e identificación en el terreno del Punto de Control y de su línea base, así como del Punto de Partida del lote minero motivo de la solicitud, verificando que las características físicas de las mojoneras que sirvan para señalar tales puntos, cumplan con los requisitos establecidos por la Ley.

⁶ Los trabajos periciales comprenden las actividades señaladas en los artículos 17, 20,21, 22, 23, 26 y 31 entre otros del Reglamento.

⁷ Título Octavo (Peritos Mineros) del Reglamento de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Minera., e Instructivo por el que se determinan los requisitos para obtener el registro de perito minero. Art. 1º, 17, 25, 63 100, 103, 107, 108.

⁸ Fracción SEGUNDA del Instructivo para la Ejecución de Trabajos Periciales.

✓ Levantamiento. Son todos los trabajos referentes a la obtención de los datos requeridos para la determinación del punto de partida definitivo, por medio de observaciones en el terreno. Los métodos autorizados por la Ley para esta tarea, son los siguientes:

- i. *Poligonación*: medición directa, a partir de una línea base, de distancias y ángulos entre puntos consecutivos que forman una poligonal cerrada.
- ii. *Triangulación*: determinación de longitudes de los lados de un sistema de triángulos interconectados a partir de una línea base, por medio de la medición de todos sus ángulos.
- iii. *Lectura Autónoma de Satélites*: lectura de transmisiones radiales provenientes de satélites artificiales, por medio de un receptor G.P.S. ubicado en el punto de partida origen.
- iv. *Lectura de Satélites para Translocalización*: Lectura simultánea de transmisiones radiales provenientes de satélites artificiales, mediante dos o más receptores G.P.S., ubicados en el (los) puntos de control y el punto de partida origen.

MÉTODO	ORDEN Y CLASE	PRECISIÓN LINEAL MÍNIMA	PRECISIÓN ANGULAR MÍNIMA	NÚMERO DE LECTURAS MÍNIMO	DISTANCIA MÁXIMA DESDE EL PUNTO DE CONTROL	INSTRUMENTOS RECOMENDADOS
I. Poligonación	2° II	1:10,000	5 segundos por estación	8	5 km	Teodolito de 20" y distanciómetro
II. Triangulación	3° U	1:10,000	5 segundos por vértice	12	10 km	Teodolito de 20"
III. Lectura Autónoma de Satélites		De 40 a 10 m, según disponibilidad		35 min.		Receptor G.P.S.
IV. Lectura Autónoma de Satélites por translocalización	1° U	1:100,000	1+5" por longitud de la línea base en km	1.25 horas	L-1:50 km por estación L-2:500 km por estación	Receptor G.P.S. de 8 a 16 canales, de 1 cm ± 2 p.p.m.
	2° I	De 2 a 5 m		15 min.	50 km	Receptores G.P.S. de 3 a 6 canales
	2° II	De 5 a 10 m		15 min.	50 km	Receptores G.P.S. de 1 a 3 canales

Tabla I.1. Especificaciones de los métodos de Levantamiento

- ✓ Cálculos de gabinete. Para obtener la precisión mínima requerida en los diferentes métodos de levantamiento, deberá aplicarse a los datos obtenidos en el terreno, el procesamiento, compensación, reducción y ajuste correspondientes.
- ✓ Informe Pericial. Este es la memoria escrita de los trabajos periciales, en el que debe señalarse la información necesaria para la elaboración del plano correspondiente, teniendo en cuenta que el informe debe estar redactado de manera tal, que aún cuando los planos que acompañan el informe se extraviaran, puedan ser reconstruidos totalmente con los datos consignados en el informe y sin tener que volver al terreno para efectuar nuevamente el levantamiento.

En las solicitudes de concesión y de asignación, el solicitante deberá designar al perito que propone para la ejecución de los trabajos periciales correspondientes.

I.3.1. Informes periciales.

Los informes periciales deberán tener la siguiente información:

- I.-** Nombre completo del o los solicitantes.
- II.-** Nombre del lote.
- III.-** Número de expediente, agencia que corresponda a la ubicación del lote y, en su caso, número del título del que derive.
- IV.-** Superficie en hectáreas con cuatro decimales.
- V.-** Municipio(s) y Estado(s) de ubicación del lote.
- VI.-** Motivo del trabajo pericial.
- VII.-** Identificación del P.C. utilizado y sus coordenadas geográficas y U.T.M.
- VIII.-** Método de levantamiento aplicado, marca, modelo y número de serie del equipo utilizado.
- IX.-** Ubicación del terreno solicitado

- X.-** Descripción y localización del P.P. del lote, y referencias a lugares conocidos y centros de población más cercanos, confirmando y, en su caso, ampliando los datos de la solicitud respectiva y proporcionando las coordenadas ortogonales, geográficas o U.T.M. del mismo.
- XI.-** Datos numéricos de la línea auxiliar (L.A.) o líneas auxiliares y del perímetro exterior y, en su caso, del o de los perímetros interiores del lote, presentados en forma de cuadro, señalando: lados, rumbos, distancias y colindancias, anotando el nombre del lote y número de agencia y de expediente o número del título, o la anotación de terreno libre.
- XII.-** Rumbo y distancia de las ligas topográficas a lugares conocidos.
- XIII.-** La ruta de acceso al P.P. a partir de la población de mayor importancia más cercana, mencionando las poblaciones y accidentes topográficos más destacados que se encuentren en el trayecto, así como las observaciones que a su juicio sean pertinentes para facilitar el acceso al lugar en donde se encuentra el P.P.

Además, deberá anexarse lo siguiente:

- I.-** Datos y cálculos efectuados correspondientes a:
- a) El posicionamiento del P.P. y del P.C. como se establece en el inciso 6 de la presente Norma.
 - b) Las ligas topográficas o poligonales realizadas, y
 - c) Del cierre del perímetro y de la superficie del lote.
- II.-** Tres fotografías del P.P. del lote objeto de la solicitud, una que muestre claramente en detalle las características y señas notables de dicho P.P., y otras dos que muestren diferentes aspectos panorámicos del terreno que rodea al P.P., en las que deberá indicarse éste por medio de una flecha.
- III.-** Copia de la porción de la carta topográfica editada por el INEGI escala 1:50 000 en la que se localiza el lote, dibujando con tinta negra en la misma, un punto dentro de un círculo que indique la posición del P.P., seguido de sus iniciales, así como la línea o líneas auxiliares y el perímetro del lote, anotando el número de orden de las esquinas.

IV.-Plano a escala 1:10 000 o 1:20 000 o 1:50 000, según la superficie del lote, dibujado con tinta en papel tipo bond, empleando en las leyendas letra de molde de tamaño legible que contenga la expresión gráfica de:

a) P.P. del lote, señalado por medio de un círculo seguido de las iniciales P.P.;

b) La línea auxiliar (L.A.) con expresión de su rumbo y distancia, trazada con línea interrumpida;

c) El perímetro del lote con línea gruesa, indicando el número de orden de las esquinas de dicho perímetro;

d) En su caso, los P.P. de los lotes interiores, colindantes y vecinos, señalándolos por medio de un círculo seguido de las iniciales P.P., así como su perímetro con la anotación del nombre del lote, número de la agencia y del expediente y número del título, en su caso. Estos lotes se dibujarán con línea más delgada que el perímetro del lote objeto de la solicitud;

e) Las líneas de liga trazada a punto y raya, y

f) En sus márgenes las coordenadas de referencia.

En el mismo informe explicativo, el perito hará la certificación de las medidas realizadas, presentando fotografías del Punto de Control (P.C.), Línea base (L.B.), Punto de Partida (P.P.) y lotes colindantes.

La mojonera se conservará siempre en buen estado y no se cambiará de posición excepto sólo por motivos extremos, ya que solamente las que se encuentren construidas con entera sujeción a los datos del título de la concesión respectiva, tendrán valor en el caso de controversias.

Cuando la solicitud se refiera a un lote colindante, el perito antes de localizarlo en el terreno, obtendrá por los medios que juzgue más apropiados, el rumbo astronómico y la distancia horizontal que exista entre el punto de partida señalado en la solicitud y los puntos de partida que hayan servido de origen a cada uno de los lotes por ligar, identificando estos cuidadosamente y determinando la verdadera magnitud de las líneas de enlace.

En caso de que como resultado de los trabajos ejecutados se llegue al conocimiento de que la zona marcada en la solicitud abarca terreno no libre, el perito se limitará a planificar la parte del terreno libre comprendida en la solicitud y si ésta quedara dividida en dos o más porciones de terreno por la interposición del terreno no libre, entonces el perito planificará la fracción o las fracciones; el solicitante podrá pedir que su concesión se reduzca en la parte que sea necesario para que en ella solamente quede comprendido el terreno libre.

En caso de solicitudes que se refieran a división, reducción y unificación de lotes de explotación o a lotes de explotación derivadas de exploración, el perito deberá relacionar los puntos de partida de los lotes preexistentes, con el punto de partida señalado en la solicitud.

El perito podrá hacer todas las aclaraciones y observaciones que juzgue pertinentes en relación con el trabajo que le fue encomendado y sin perder de vista que el objeto principal que se persigue con este informe, es contar con los elementos necesarios para construir el plano del lote a que se refiere aun en el caso de que dicho plano se haya extraviado. Deberá también anexar una copia de la porción de la carta o cartas topográficas a escala 1:50,000, editadas por el Instituto nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), donde se ubique el lote en el que se ejecutan los trabajos periciales.

I.3.2. Coordenadas del Punto de partida.

Si bien ya se ha mencionado que las coordenadas del Punto de Partida (P.P.) deben darse en coordenadas geográficas y coordenadas U.T.M., al respecto cabe hacer las siguientes aclaraciones.

Existe un Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-156-SCFI-2002, que establece los lineamientos y especificaciones técnicas que deberán cumplir los peritos mineros en la elaboración de trabajos periciales, que se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 31 de octubre de 2003. En este documento, se indica que las coordenadas del P.P., podrán darse en cualquiera de las siguientes formas, con sus correspondientes definiciones, siempre y cuando hayan sido obtenidas mediante cualquiera de los métodos previstos en la Norma Técnica para Levantamientos Geodésicos y sus modificaciones,

publicada en el Diario Oficial de la Federación en abril de 1985, y que se describen en la tabla I.1 :

- ✓ **Coordenadas Geográficas.** La latitud y longitud de un punto sobre la superficie del territorio nacional. Anteriormente, la latitud era obtenida a través de métodos astronómicos; actualmente, estas coordenadas son obtenidas generalmente por posicionamientos con equipo G.P.S., o bien aplicando algoritmos de transformación de coordenadas U.T.M. a coordenadas geográficas.
- ✓ **Coordenadas U.T.M.** Coordenadas geográficas en la proyección Universal Transversa de Mercator, referidas al Datum ITRF92, Época 1988.0, Elipsoide GRS80, publicado en el Diario Oficial de la Federación en abril de 1998⁹.

Los marcos de referencia han constituido una situación en la que hay que ser muy cuidadosos, ya que parte de la cartografía antigua de INEGI a escala 1:50 000 está referida al elipsoide de Clarke de 1866, teniendo como Datum asociado el NAD 27; actualmente, con el proceso de digitalización de la cartografía, también se dan las equivalencias con el elipsoide WGS84 e ITRF92, por lo que es común encontrar en los trabajos periciales las coordenadas de los P.P referidas a cualquiera de estos sistemas.

- ✓ **Coordenadas ortogonales.** Valores rectangulares topográficos resultantes de la liga topográfica entre un P.P. y un Punto de Control de la Subred Geodésica Minera (P.C.), derivadas del P.C.

⁹ El 23 de diciembre de 2010 se publicó en el Diario oficial de la Federación la Norma Técnica para el Sistema Geodésico Nacional, en la cual se establece que se adopta como nuevo Marco de Referencia oficial para los Estados Unidos Mexicanos, el ITRF08, época 2010.0, asociado al elipsoide de referencia GRS08. También aclara que desde el punto de vista cartográfico, el Sistema Geodésico Horizontal definido en esta Norma es compatible con el WGS84, así como SIRGAS, por lo que sólo en aquellos casos en que un proyecto tenga como requerimiento mejor exactitud posicional se deberá realizar la transformación de coordenadas de WGS-84 o SIRGAS al ITRF08 época 2010.0. La Secretaría de Economía aún no ha hecho ningún cambio a su legislación en este particular, pero es de esperarse que se realicen algunas modificaciones.

I.4. Expropiaciones y Servidumbres.

Ya he mencionado que la explotación de substancias minerales tendrá prioridad sobre cualquier otra actividad a que se dedique una determinada superficie de terreno, por considerarse de mayor utilidad pública; en consecuencia toda propiedad privada tiene que soportar como una de sus limitaciones la *expropiación* (con una correspondiente indemnización), con fundamento en la idea de bien común, interés público o utilidad pública¹⁰.

A este tipo de expropiación se le conoce como *expropiación forzosa* y para que sea factible, deberá cumplir con los siguientes preceptos:

1. Declaración de utilidad pública, bien común o interés público
2. Declaración de que la explotación exige como indispensable, la ocupación de todo o parte del inmueble que se pretende expropiar.
3. Determinación del precio justo por la parte que haya que ceder¹¹.
4. Pago al precio por lo que ha de pasar al dominio del expropiante y que representa la indemnización de lo expropiado.

Además de la expropiación forzosa, en toda propiedad privada puede constituirse una *servidumbre*, siendo ambas entre sí causas excluyentes para un mismo predio.

El concepto servidumbre es una restricción en la libertad del propietario con respecto al lote, ya sea por exigirlo el orden social, o por voluntad del mismo dueño, pero siempre los derechos de éste están limitados, concediéndose a otra persona el aprovechamiento o apropiación sobre las sustancias minerales que se especifiquen, derecho que por tanto representa una carga o gravamen con relación a dicho propietario.

¹⁰ Artículo 21 de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Minera, y Arts. 55, 57 y 58 del reglamento.

¹¹ Ver Instructivo por el que se determinan los criterios para fijar el monto de la indemnización con motivo de la ocupación temporal o constitución de servidumbres previstas por la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Minera

Si se pretende llevar a cabo una expropiación o la constitución de una servidumbre en terreno de ajena propiedad, será necesario dirigir una solicitud a la Dirección General de Minas en la que se expresará:

- ✓ El nombre completo del solicitante si fuera una persona física, así como su edad, ocupación, nacionalidad y domicilio.
- ✓ Su denominación o razón social y el nombre completo y domicilio del gerente o apoderado, si se trata de persona moral, así como su número de inscripción en el Registro Público de Minería.
- ✓ La clase y el nombre de la concesión de que disfrute y el número de su título.
- ✓ Si pretende expropiar o construir alguna servidumbre.

En los casos de expropiación, además de los datos arriba mencionados, se deberán proporcionar los siguientes:

- a. El nombre y ubicación exactos del terreno que parcial o totalmente pretenda expropiar, dando a conocer el municipio y Estado o territorio, en que se encuentre.
- b. El nombre y domicilio del propietario del terreno.
- c. La superficie y los datos de localización exactos de los que se pretenda expropiar.
- d. Las obras que trate de llevar a cabo o el uso que pretenda dar a lo expropiado.
- e. Las razones que funden la expropiación.

Cuando se pretenda constituir una servidumbre, el solicitante expresará, además de los datos indicados, los siguientes:

- a. El nombre y ubicación exactos del predio que haya de someterse a la servidumbre, dando a conocer el municipio y estado o territorio en que se encuentre, así como si se halla o no sujeto a alguna de las concesiones mineras que establece la ley.
- b. El nombre y domicilio del dueño del predio y del concesionario del mismo, en su caso.
- c. La clase de servidumbre que desee constituir, expresando si es interna o externa.

- d. Las obras que intente ejecutar, si es que alguna habrá de hacer.
- e. En su caso, la extensión de terreno que abarcará la servidumbre con los datos indispensables para su exacta localización.
- f. Las razones que funden la necesidad de la servidumbre.

Estas solicitudes deberán acompañarse de los documentos siguientes:

- ✓ Informe del perito que justifique la necesidad de la expropiación, o servidumbre.
- ✓ Plano en el que aparezcan los lotes dominantes y sirviente, debidamente relacionados, con expresión del área que abarque la expropiación o servidumbre pretendida, con todos los datos indispensables para su debida comprensión.
- ✓ Certificado que exprese el valor fiscal del terreno, si se trata de expropiación o de servidumbre externa.

I.5. Inspección y Vigilancia Minera.

Para fijar detalladamente los deberes y los derechos de los concesionarios en los preceptos referentes a la Seguridad y Salud Pública a que estarán sujetas las minas, se han decretado la Inspección Oficial, así como el Reglamento de Seguridad Minera¹².

La inspección oficial por parte de la Dirección General de Minas, tiene por objeto, vigilar el estricto cumplimiento en las disposiciones de la Ley Minera y el Reglamento de policía y seguridad, por lo que esta dependencia manda practicar visitas de inspección a todos los trabajos exteriores y subterráneos amparados por cualquiera de las concesiones que otorga la ley, cuantas veces lo juzgue necesario y con toda la amplitud que cada caso lo requiera y ordenará a sus ingenieros la ejecución de operaciones topográficas para obtener datos sobre la cartografía de una región minera.

¹² Capítulo VII. De las Inspecciones, Sanciones y Recursos, de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en materia Minera.

De las visitas de inspección que se practiquen, se levantará un acta que deberá ser firmada por el encargado de la empresa o por quien lo represente, por el Ingeniero responsable de los trabajos topográficos y por el Inspector que practique la visita.

También está permitido solicitar inspecciones que tengan por objeto averiguar si existen invasiones de una concesión a otra o causadas por obras que ejecute un tercero, quedando las cuestiones que puedan surgir con motivos de las inspecciones, sujetas a la resolución de los tribunales competentes. El Inspector junto con el Perito Minero, ejecutará todos los trabajos que sean necesarios para comprobar si existe o no la invasión alegada, y presentará los planos que sean necesarios para justificar sus conclusiones.

I.6. Reglamento de la Policía Minera y Seguridad en los Trabajos de las Minas.

Nos da las disposiciones aplicables de seguridad en los trabajos y obras referentes a las concesiones de exploración y explotación de sustancias minerales, incluyendo los trabajos de explotación de carbón de piedra, por lo cual exige que:

- ✓ Toda mina en explotación o conjunto de minas vecinas amparadas por una sola concesión, deberá tener un Ingeniero titulado responsable de que dicha explotación se practique de acuerdo con las prevenciones del Reglamento¹³.
- ✓ En el caso de que no haya Ingeniero titulado en el lugar de ubicación de la mina, el responsable podrá ser perito práctico de reconocida competencia.
- ✓ Se tendrán siempre planos disponibles y detallados, de las minas en explotación, tanto en proyección horizontal, orientadas con respecto a la meridiana astronómica, como en proyección vertical, y se harán figurar en ellos los nuevos trabajos y obras, por lo menos cada mes.
- ✓ En las minas de carbón en explotación existirán planos relativos a su ventilación, en los cuales pueda verse, con toda claridad y con todos sus detalles, tanto la manera de

¹³ Artículo 34 de la Ley reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Minera

llevarse a cabo la ventilación general de toda la mina, como de cada una de sus partes; en dichos planos se hará también figurar, por lo menos cada semana, los nuevos trabajos practicados en la misma.

- ✓ Para que pueda permitirse la ejecución de trabajos mineros subterráneos en el subsuelo de los edificios o de cualquier otra construcción de propiedad pública o privada, será necesario que previamente se someta a la aprobación de la Dirección General de Minas, un informe rendido por un perito titulado, en el que se expongan detalladamente las precauciones que se tomarán para asegurar la estabilidad del suelo y de las construcciones.
- ✓ Toda mina en explotación deberá tener dos vías distintas que comuniquen con el exterior y deberá tener también ligadas entre sí las labores con que se cuente, para facilitar la salida del personal en caso de accidente.
- ✓ Cuando por extensión de una mina y sus trabajos, o por la naturaleza de la zona mineralizada que se explote sean necesarias a juicio de los Inspectores, mayor número de vías que comuniquen con el exterior, se podrán exigir con aprobación de la autoridad correspondiente.
- ✓ En las actividades de exploración, explotación y beneficio de minerales o sustancias, los concesionarios mineros deberán procurar el cuidado del medio ambiente y la protección ecológica.

I.7. Registro Público de Minería.

El Registro Público de Minería fue establecido para cumplir los preceptos establecidos en la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Minera; ante esta instancia, deben suscribirse los siguientes casos:

- a.** Los contratos de constitución, modificación y disolución de sociedades que tengan por objeto la adquisición o la explotación de concesiones mineras y de plantas de beneficio.
- b.** Los contratos de constitución, modificación o disolución de sociedades que no tengan por

objeto la adquisición de concesiones mineras o de plantas de beneficio, siempre que dichas sociedades quieran adquirir una de estas concesiones.

- c. Las concesiones mineras y de plantas de beneficio.
- d. La transmisión total o parcial de una concesión, así como la afectación de esta por cualquier título.
- e. Los contratos de arrendamiento o cualesquiera otros que tengan por objeto la exploración o explotación de los minerales objetos de la Ley.
- f. La constitución de servidumbre legales o voluntarias o las expropiaciones que se lleven a cabo de acuerdo con la Ley.
- g. Los contratos de promesa de traspaso de la concesión.

En el Registro Público de Minería, con el objeto de llevar a cabo el control de los asuntos mencionados, se llevan los libros generales siguientes:

- ✓ De “concesiones”, para el registro de los actos que se refieren en las fracciones b a f anteriormente citadas.
- ✓ De “expropiaciones y servidumbres”, para las inscripciones ordenadas en la fracción f y g indicada.
- ✓ De “sociedades”, para las inscripciones ordenadas en la fracciones a y b de la parte mencionada.
- ✓ De “asignaciones de reservas nacionales”, para el registro de las que se hagan a favor de la Comisión de Fomento Minero, y para la inscripción de los actos y contratos que afecten a dichas asignaciones.

1.7.1. Medición y Trazo De Lotes Mineros.

Las operaciones de deslinde de lotes mineros constituyen una actividad de mucha importancia, y se hace indispensable saber clasificarlos para poder saber cuáles son las

reglas que desde el punto de vista topográfico, deben aplicarse.

En los lotes de exploración solamente es necesario identificar sobre el terreno el punto de partida que se especifica en la solicitud.

En estos lotes no es necesario colocar mojoneras esquinas del cuadro, y que aunque no sean marcadas las líneas sobre el terreno, es necesario recorrerlas para saber si la solicitud comprende o no terreno libre o ya ocupado por otras concesiones.

Es conveniente señalar las diferencias que existen entre el deslinde de un predio cualquiera y el deslinde de lote minero. Cuando se nos pide efectuar el deslinde de una propiedad cualquiera sobre la superficie de la tierra, tenemos que reconocer sus linderos, los cuales ya están definidos en el terreno por medio de cercas, bardas, mojoneras o marcas cualesquiera que pueden ser fácilmente identificables en el terreno y que con las que vienen a constituir el polígono, forman los linderos del predio; efectuamos el levantamiento de sus linderos empleando los instrumentos y el método que más convenga, calculamos después, con los datos obtenidos en el campo y dibujamos el polígono, obteniendo un error de cierre, que se calcula y se compensa de acuerdo con las reglas que para el caso da la topografía, y con esto damos por terminado nuestro trabajo, obteniendo la superficie del predio deslindado.

En cambio, cuando se nos pide efectuar el deslinde de un lote minero, tenemos que proceder de un modo muy diferente. En este caso, y en especial en el de un lote de exploración, las operaciones por realizar difieren del caso anterior, porque sobre el terreno no existe previamente ninguna de las líneas que definen el lindero de la concesión, y por lo tanto, el perito deberá trazarlas sobre el mismo, y definir los vértices del polígono que circunscribe al terreno solicitado en la concesión.

Para llevar a cabo el trazo de lotes o concesiones mineras, se tienen que precisar cuáles son los instrumentos y también cual es el método de levantamiento más conveniente para satisfacer las condiciones impuestas por la Ley, establecidas en el manual de Servicios al Público en Materia Minera.

II. METODOS TOPOGRAFICOS APLICADOS A LA EXPLOTACION A CIELO ABIERTO

II.1 Perspectiva Histórica de la Explotación de Minas a Cielo Abierto

El inicio de la explotación de minas a cielo abierto no es una actividad que haya empezado en el siglo XX. La minería a cielo abierto comenzó desde tiempos remotos, cuando se descubrió el afloramiento del cobre, entre los años 15000 y 5000 a.C. El equivalente primitivo de este período, con los sistemas actuales de barrenación y detonación, fue la aplicación cíclica de fuego y agua. El movimiento de materiales y excavaciones, en los que actualmente se utilizan camiones de carga, palas mecánico-eléctricas, locomotoras, etc., eran realizados, entonces, de forma manual con herramientas de piedra, madera y bronce, se utilizaban animales y gente para el transporte. Actualmente, los sistemas de transporte y de carga del material se realizan a través de rampas proyectadas en la propia explotación, y utilizando camiones y palas de gran capacidad. Esto hace mucho más eficientes las labores.

II.1.1. *Casos en los que se aplica la explotación a cielo abierto.*

Los métodos de explotación a cielo abierto son aplicables solamente cuando el yacimiento económicamente explotable aflora en la superficie del suelo o se trata de cuerpos minerales localizados a profundidades menores de 160 m, con el fin de que las labores destinadas a poner al descubierto el yacimiento resulten económicamente posibles, separando el terreno estéril que lo recubre (figura II.1); es deseable que sus dimensiones horizontales sean más grandes en comparación con las verticales. Las condiciones del lugar tienen gran importancia en la determinación de la profundidad a la cual es todavía ventajosa la explotación a cielo abierto, en comparación con la subterránea, porque son las que pueden hacer más o menos económicos el arranque y la descarga del material estéril.

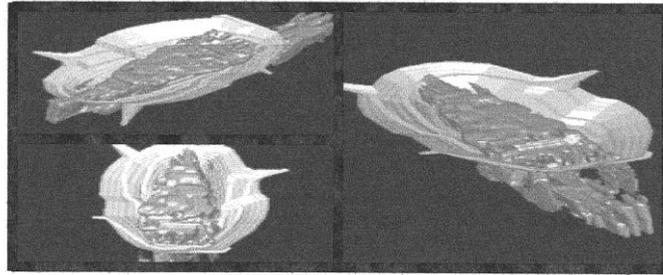


Fig.II.1.- Modelo en el que se puede apreciar la aparente posición del cuerpo del mineral, así como la posible profundidad en la que se encontrará.

Cuando el yacimiento presenta formaciones absolutamente desmoronables en la superficie, se hace precisa la explotación a cielo abierto, porque la explotación subterránea requeriría sacrificar en la parte superior del yacimiento una capa de mineral más o menos importante, para sostener las formaciones del techo de la mina.

Los sistemas modernos de demolición facilitaron e hicieron posible la explotación a cielo abierto de yacimientos en los cuales el mineral, por no presentarse en grandes masas, habría sido buscado antiguamente con labores subterráneas.

En muchas minas se han iniciado grandiosas excavaciones a cielo abierto en las cuales aunque se tiene que remover el mineral conjuntamente con material estéril, permiten reconocer y posteriormente beneficiar todo el mineral que se presenta en la amplitud de la excavación, mientras que con labores subterráneas una importante parte de aquél habría sido difícilmente reconocida.

Las explotaciones a cielo abierto, además de permitir hasta un 100% de extracción del cuerpo mineral, ofrecen otras ventajas sobre las explotaciones subterráneas, como son: el empleo de poco personal para operación, ya que permite un alto grado de mecanización, mayor seguridad del trabajo, mayor rendimiento de los obreros, menor gasto de transporte del material, supresión del gasto de madera para entibaciones, así como del costo del alumbrado, ventilación, etc.

Por el contrario, las explotaciones a cielo abierto presentan también inconvenientes, pues dependen de las condiciones climatológicas, que pueden suspender temporalmente o perjudicar las labores, y obligan a ocupar terrenos, tanto para efectuar las excavaciones

como para verter los escombros que deben depositarse en la proximidad de los trabajos. En las explotaciones a cielo abierto es frecuente la presencia de problemas ambientales indeseables, tales como la generación de polvo, ruido y vibraciones causadas por el uso de explosivos. Sin embargo, muchas de las operaciones mineras subterráneas de gran productividad como por ejemplo, el hundimiento de bloques, produce casi inmediatamente problemas de subsidencia en la superficie del terreno, dejándolo prácticamente inutilizable para otros trabajos propios de la superficie. En última instancia, la restauración del terreno para su posterior utilización resulta más sencilla y menos costosa cuando se trata de una excavación producto de una operación a cielo abierto, que cuando se trata de áreas minadas por métodos subterráneos que eventualmente se hunden.

La explotación a cielo abierto se adopta con frecuencia en las canteras, en las minas de hierro, y lignito; se encuentra en algunas minas de cobre y de plomo, que explotan yacimientos estratificados próximos a la superficie, y en algunas minas de carbón fósil donde las labores subterráneas provocaban frecuentes incendios.

En cualquier sistema de minado, debido a la necesidad de crear obras que permitan el libre acceso al cuerpo mineral en explotación, se generan grandes cantidades de material estéril o tepetate. Generalmente, este material se deposita en bancos, correspondiendo al ingeniero topógrafo su diseño, y el control de la altura y el talud de los mismos, para determinar su volumen, además de diseñar las obras de acceso a los depósitos, tomando en cuenta el área disponible y las medidas de seguridad pertinentes para evitar accidentes.

Normalmente, los costos generales en minería a cielo abierto son mucho más bajos que en la minería subterránea. Además, los grandes volúmenes de mineral generados por la minería superficial, han dado la oportunidad de producir equipo, que aunque haya sido diseñado primeramente para este tipo de explotación, puede emplearse también en la construcción de carreteras, presas, plantas hidroeléctricas, etc., mientras que la producción de equipos para el minado subterráneo, por su alto grado de especialización, resulta más limitada, y por consecuencia, más cara.



Fig. II.2- Ejemplo de excavación de un tajo a cielo abierto en Australia.

II.2.2. Consideraciones sobre el plan general de labores.

Antes de emprender una explotación a cielo abierto, es fundamental estudiar las condiciones del lugar, tanto topográficas como geológicas, y formar un plan de trabajo con gran amplitud, de manera que se puedan desarrollar las labores multiplicando los bancos de demolición y asegurando siempre la economía de los transportes, la extracción de las aguas, la seguridad de las labores y el beneficio completo del yacimiento.

Para facilitar el trabajo, así como para poder transportar y verter económicamente el escombro hay que empezar por escoger bien el punto de ataque del yacimiento, teniendo en cuenta el buzamiento de los estratos y la topografía local; después convendrá asegurarse de que las labores sucesivas tendrán obras alternas para el desvío de las aguas superficiales y bombeo del interior del tajo, de modo que no se inunden los trabajos.

Convendrá alcanzar, desde el principio, el límite económicamente costeable definitivo que deba tener la excavación, a fin de ir apoyándose sobre material estéril o de baja ley, sin temor a tener que removerlo en un futuro próximo, para continuar con la explotación. El costo de remoción del tepetate o material pobre podría superar entonces al valor del mineral y en este caso ya no sería conveniente beneficiar el mineral que, por consiguiente, se perdería. Por otra parte, conviene colocar la mayor cantidad posible de tepetate en las mismas excavaciones, para no ocupar terrenos que puedan tener valor como terreno agrícola, o los yacimientos de baja ley que, en un futuro, lleguen a tener mayor valor en el mercado de dicho mineral.

Debe ser preocupación constante el no comprometer con trabajos poco evaluados la preparación y el proceso de explotación de la mina. Debe preverse también dónde habrán de colocarse las instalaciones de trituración, molienda, almacenes, mantenimiento y oficinas que puedan ser necesarias para la explotación y estén destinadas a tener larga duración, para evitar tener que reubicarlas más tarde, por ocupar terrenos importantes desde el punto de vista minero, o por ser necesario para el desarrollo de labores futuras.

II.3. Métodos de Minado Superficial.

Las condiciones que determinan el método de minado más adecuado dependen de las siguientes características:

1. El tamaño y la morfología del cuerpo mineral.
2. El espesor y tipo del encape superficial.
3. La localización rumbo y buzamiento del depósito.
4. Las características físicas y resistencia del mineral.
5. Las características físicas y resistencia de la roca encajonante.
6. La presencia o ausencia de agua subterránea y las condiciones hidráulicas relacionadas con el drenaje de las obras.

7. Factores económicos involucrados con la operación, incluyendo la ley y tipo de mineral, costos comparativos del minado y ritmos de producción deseados, así como la disponibilidad de equipo.
8. Factores ecológicos y ambientales, tales como conservación del contorno topográfico original en el área de minado y prevención de que sustancias nocivas contaminen el agua y la atmósfera.

También habrá que considerar el límite inferior de la excavación a cielo abierto, evaluando la posibilidad de continuar la operación por métodos subterráneos, o la opción de emplear ambos métodos simultáneamente si el tamaño y las características estructurales del depósito lo permiten técnica y económicamente.

Una manera de clasificar los trabajos de minado a cielo abierto, es la siguiente:

1. Minado de placeres.

- a) Bateas y canalones
- b) Minado hidráulico
- c) Dragado

2. Tajo Abierto.

- a) Banco individual
- b) Bancos múltiples
- c) Descapote de mantos
- d) Explotación de canteras

3. Glory Hole

II.3.1. Minado de Placeres.

El minado de placeres se efectúa concentrando minerales pesados (generalmente en su

forma nativa), mediante una concentración gravimétrica selectiva en un medio acuoso o neumático en movimiento. Esta operación requiere que el depósito mineral se encuentre en o cerca del agua y en la superficie, aunque hay casos en los que se dan placeres en seco.

a) Bateas y canalones.

Este sistema fue ampliamente usado por los *gambusinos* en la época de la “fiebre del oro”, en placeres donde los ríos y arroyos arrastraron grandes cantidades de minerales nativos (oro, plata, piedras preciosas, etc.), concentrándolos en estratos, “bolsas” o meandros, cuando las aguas que los transportaban perdían fuerza o cambiaban de rumbo. Esta concentración se efectuaba por acción gravimétrica natural, al asentarse el fragmento de mineral en el lecho del arroyo, dependiendo de su tamaño, de su peso específico y de la fuerza de la corriente de arrastre.

El método de *bateas* sólo puede ser utilizado cuando el mineral comercial es más pesado que el material estéril y cuando no se requiera de grandes volúmenes de producción. Este sistema es de muy baja productividad y por tanto, en la actualidad sólo se emplea con propósitos de exploración para detectar depósitos de placer o mineral proveniente de vetas u otros tipos de yacimientos.

Los *canalones* también son empleados en la actualidad, únicamente con fines de exploración. La separación del material se realiza mediante una canaleta inclinada de madera, con el fondo obstaculizado con tiras de madera, y de un flujo de agua corriente que se deposita en el canal junto con el mineral. El flujo actúa como medio de arrastre de las partículas, quedando atrapadas en el fondo las partículas más pesadas y las “pepitas” de minerales nativos; el tamaño, longitud y ángulo de inclinación dependen del volumen del depósito y del tamaño de los fragmentos.

b) Minado Hidráulico.

Este tipo de minado es ampliamente usado en la explotación de grandes depósitos de placer, que generalmente contienen arena parcialmente cementada, gravas y cantos rodados. También se le emplea en el minado o “repulpeo” de presas de jales, donde han

quedado La mecánica de explotación consiste en aprovechar el impacto producido por un chorro de agua a presión, a través de mangueras de alta presión y boquillas de flujo ajustable; el agua disgrega el material y se mezcla con él formando una pulpa, la cual transporta en suspensión las partículas hacia zanjas o canales, a través de las cuales, el material se conduce hasta las instalaciones metalúrgicas para su beneficio. Esta red de zanjas y canales debe estar diseñada de tal manera que permita el flujo continuo del líquido, por lo que es importante que el Ingeniero Topógrafo lleve un estricto control tanto de la pendiente del canal, como del ancho y profundidad del mismo.

La altura de operación de los bancos varía de entre 5 y 17 metros, dependiendo del grado de compactación del depósito y de la capacidad de las mangueras y las boquillas. Para obtener mejores resultados, la pendiente de los bancos debe ser de cuando menos 2% para arenas y gravas finas; de 4 – 5% para gravas de tamaño medio; y mayor de 5% para material grueso y pesado. El diseño y control de la altura de los bancos y del talud de los mismos es una labor conjunta entre el ingeniero minero y el ingeniero topógrafo. El ingeniero topógrafo también es el encargado de controlar los volúmenes de producción y de actualizar los planos de trabajo; dichos volúmenes están limitados por las cantidades disponibles de agua, por el tamaño del depósito, por el tamaño de las partículas y trozos de material, y por las pendientes de trabajo.

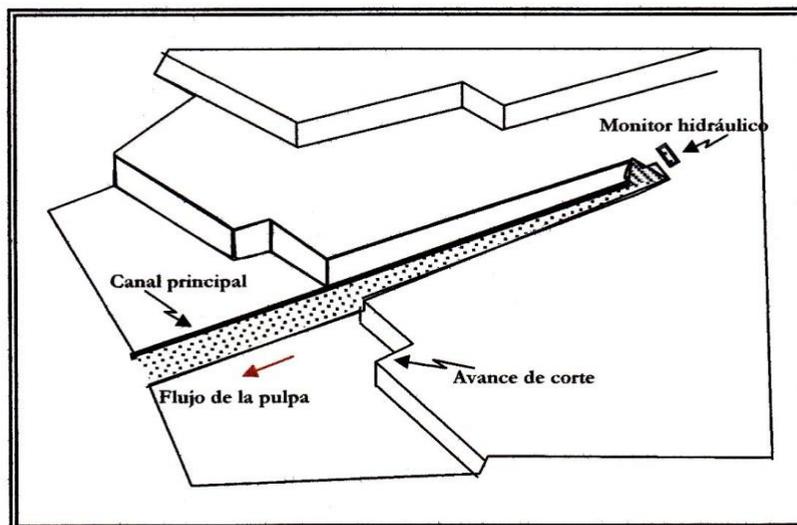


Fig. II..3. Sistema de Minado Hidráulico

c) Dragado

El sistema de dragado consiste fundamentalmente en realizar excavaciones por debajo del agua en materiales rocosos de tipo detrítico. Para la aplicación de este método de minado, los depósitos explotables son generalmente de baja ley pero de gran tamaño, tanto en área como en espesor.

El depósito puede ser un arroyo (activo o extinto) o bien el lecho de un río o laguna. La mejor pendiente superficial del depósito es del orden del 2% con un máximo del 6%, cuyo control es labor del ingeniero topógrafo. Las dragas pueden mover materiales depositados debajo del agua desde 4 hasta 30 m. La altura de los bancos formados con el material extraído normalmente no debe exceder de 5 a 8 metros, aunque dependiendo del equipo se pueden alcanzar alturas de 13 a 17 metros.

Es necesario que se lleve a cabo un estricto control batimétrico tanto del volumen de explotación como del control de asolve, y la pendiente y volumen de rampas y depósitos de sólidos de desecho.

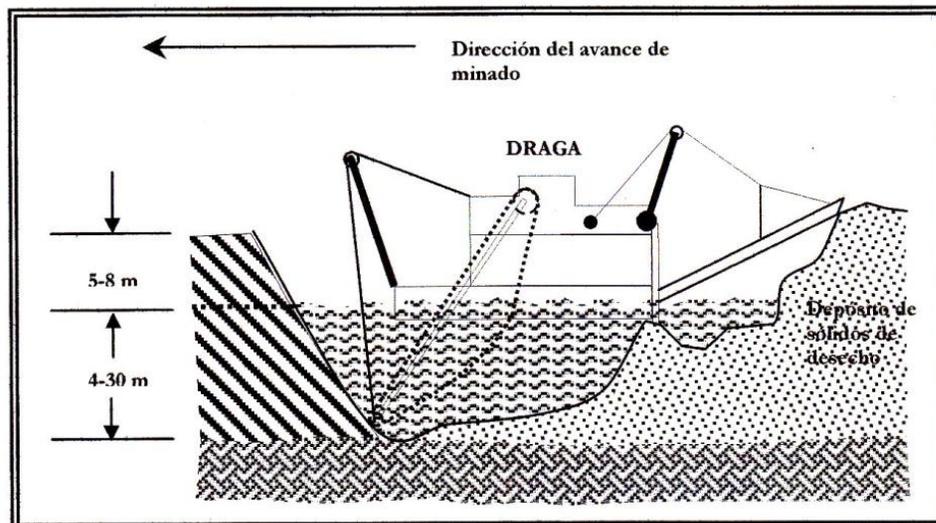


Fig. II.4. Sistema de Dragado

II.3.2. Minado a Tajo Abierto.

Estos Métodos de minado son altamente recomendables para la explotación de yacimientos minerales de baja ley, con dimensiones grandes, de tal manera que su magnitud permita la extracción económica del depósito mediante la remoción de grandes volúmenes de mineral a bajo costo.

a) Bancos Individuales.

Un banco en una mina a tajo abierto está constituido por un nivel individual de operación encima del cual los materiales de explotación (mineral y tepetate) están siendo excavados de la cara del banco. El minado a cielo abierto de bancos individuales puede ser empleado para minar cualquier tipo de depósito somero, alojado en cualquier tipo de roca.

La altura máxima estable y la pendiente recomendada dependerá del tipo de material rocoso que forme el banco. La altura normal de un banco individual puede variar entre 4 y 10 m para rocas que varíen de suaves a moderadamente resistentes, aunque en algunos casos muy especiales, la altura máxima puede alcanzar hasta 70 m en rocas muy competentes. En cuanto al área de explotación del banco no existen limitaciones físicas.

Este sistema se utiliza en mantos de arena y grava, mantos de vetas de carbón con encape limitado y cercanos a la superficie, y rocas útiles para agregados de construcción.

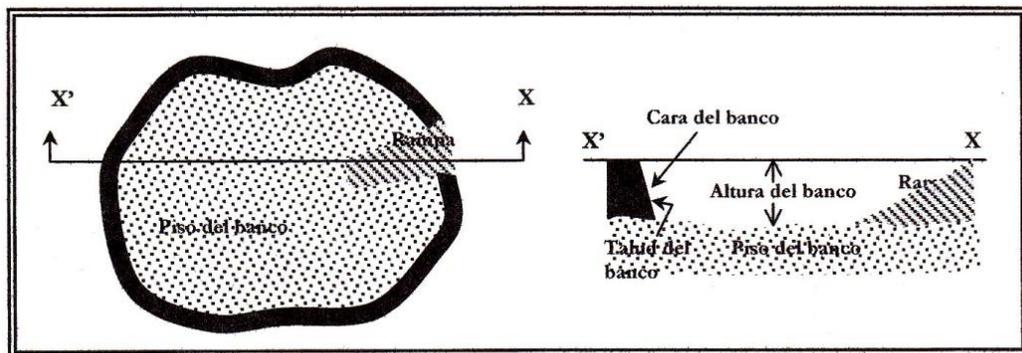


Fig.II.5. Banco Individual a Tajo Abierto

b) Bancos Múltiples.

El sistema de bancos múltiples normalmente puede ser empleado en cualquier tipo de depósitos masivos, ya sean mantos, vetas anchas, chimeneas o cuerpos diseminados que se extiendan a suficiente profundidad, más allá de lo recomendable para bancos individuales.

Si el depósito mineral se extiende a una profundidad de más de 17 m, muy probablemente se requerirá más de un banco para su explotación. En tajos donde exista más de un banco, el ancho de éstos podrá variar de 7 a 25 m, dependiendo fundamentalmente del tamaño del equipo de acarreo y del tipo de material por minar. Las bermas de los bancos son usadas normalmente como caminos de rodamiento, ya sea en espirales que lleguen al fondo del tajo, o como rampas individuales.

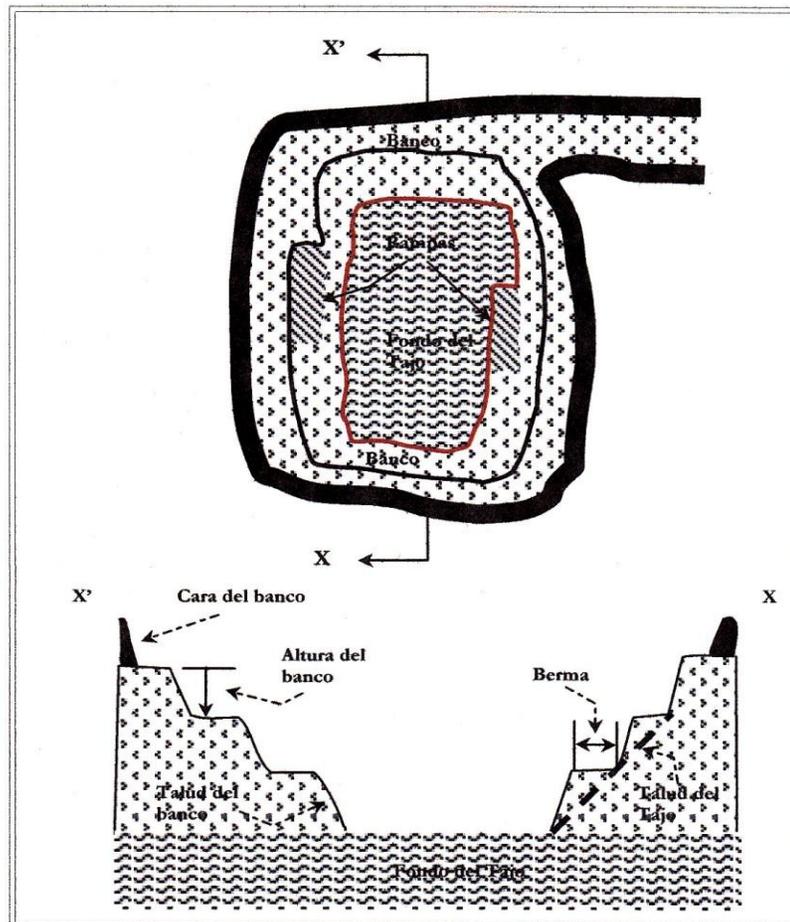


Fig. II.6. Minado a Tajo Abierto con Bancos Múltiples.

Es necesario que se diseñen, tracen y controlen las rampas de acuerdo con la pendiente máxima de trabajo del equipo de transporte del mineral. El ancho o berma de los bancos debe ser diseñado también para proporcionar protección, tanto al personal como al equipo, de pequeños derrumbes y deslizamientos de los taludes o paredes de los bancos.

El ángulo de los taludes de los bancos, usualmente es más pronunciado que el ángulo del talud final del tajo, debido a que la roca excavada se puede mantener más estable en paredes cercanas a la vertical cuando los bancos son de poca altura. Los taludes finales del tajo varían de 20° a 70°; pudiéndose incrementar esta pendiente durante la etapa terminal de operación, con objeto de aumentar las recuperaciones de minado.

c) Descapote de mantos.

El término *descapote de mantos* se aplica generalmente a las operaciones de minado de mantos de carbón y otros depósitos de baja resistencia cohesiva. La potencia de los mantos de carbón que pueden minarse por descapote, varía de 0.60 a 10 m; cuando se presentan mantos de más de 12 m o mantos múltiples, se recomienda emplear un método de bancos múltiples. Cuando las condiciones físicas del encape son favorables, se han podido minar con éxito depósitos alojados a profundidades de hasta 50 m.

El sistema de descapote usualmente se lleva a cabo mediante la remoción tanto del encape como del carbón, partiendo de una primera franja de dimensiones conocidas, localizada a lo largo del depósito. A continuación y después de excavada la primera franja, se procede a excavar otra paralela a ésta, pero en sentido opuesto, depositando el encape o roca estéril dentro del hueco que ocupó la primera. El ciclo se repite tantas veces como el área del depósito lo permita.

En el minado por descapote, el mantenimiento de los taludes no es tan crítico como en el minado de bancos en operaciones a cielo abierto, sin embargo, si se forman pilas muy altas de tepetate, pueden presentarse problemas de fallamientos en los taludes.

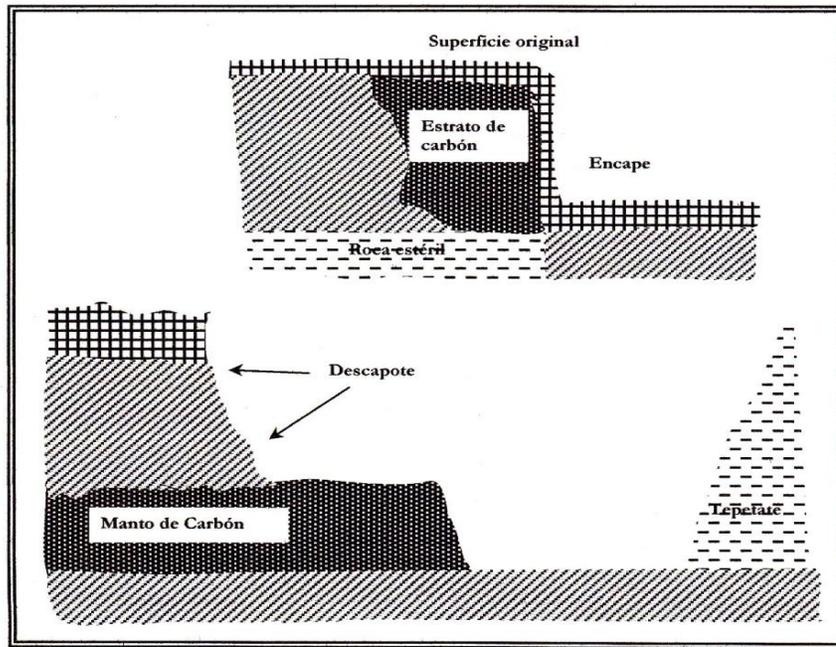


Fig. II.7. Descapote de Mantos

d) Explotación de Canteras.

El término *cantera* se emplea para describir la explotación superficial de rocas de origen sedimentario como la caliza, metamórfico como el mármol y otras de origen ígneo como el granito.

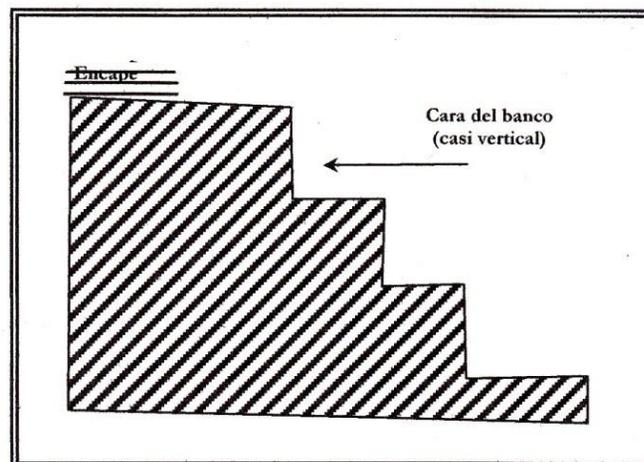


Fig. II.8. Minado de canteras

Las canteras normalmente se explotan por bancos múltiples con las caras de los estratos y la pendiente final del tajo muy pronunciadas, por lo que la roca debe estar cementada a lo largo de cualquier fractura para que produzca una resistencia cohesiva relativamente alta. La altura de los bancos de producción puede llegar a los 70 m.

II.3.3. Glory Hole.

El Método de minado conocido como *Glory hole*, implica una excavación a cielo abierto, a partir de la cual el mineral es removido por gravedad a través de uno o más contrapozos comunicados a niveles de acarreo subterráneos. Es una operación o método de minado, donde el mineral alrededor de cada contrapozo es excavado de tal forma que caiga dentro de él por efecto de gravedad, dando como resultado una configuración en forma de embudo, por lo que es muy importante que se lleve a cabo un estricto control topográfico de cada operación, tanto de superficie como del interior de la mina.

El método Glory Hole se emplea para explotar casi cualquier tipo de depósito susceptible de minarse por los métodos a cielo abierto, además de algunas vetas angostas con ángulos de buzamiento muy pronunciados. El material rocoso del depósito puede ser de cualquier tipo, pero no debe tener la tendencia a empaquetarse en las obras de extracción.

En este tipo de depósitos la excavación se puede hacer profunda, angosta y larga, por lo que es posible que los taludes formen bancos, lo que supone que el yacimiento pueda ser masivo, o si se presenta fracturado, que posea alta resistencia cohesiva. Los tajos que alcanzan límites inferiores costeados y que se encuentren en etapa de cambiar a un sistema subterráneo para continuar la explotación del yacimiento, cuentan con la opción del Glory Hole como un método experimental.

Uno de los principales problemas asociados con este tipo de minado es el agua que en un momento dado, puede ocasionar que el mineral se empaquete en los cruceros de extracción, o bien, que las paredes interiores del embudo se enloden. Para evitar que estos problemas se presenten, es necesaria una excelente planeación y control de la pendiente de los contrapozos, de modo que permita el libre flujo del agua y del mineral.

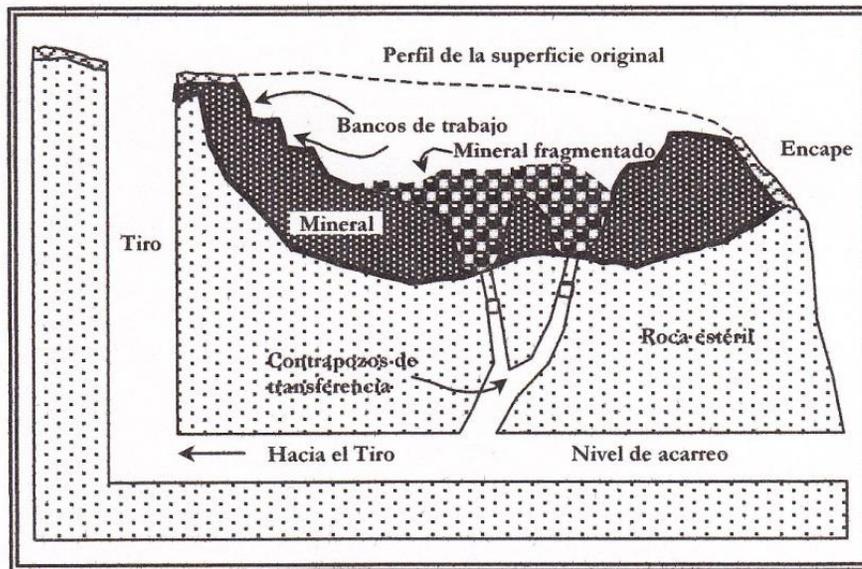


Fig. II.9. Glory Hole

II.3.4. Transporte del mineral.

El transporte del mineral útil se realiza por medio de caminos que son diseñados en la etapa de planeación de la mina, y establecidos en la parte más baja del tajo. Los caminos comienzan en el banco de explotación más bajo, lo que permite atravesar todos los bancos siguiendo la pendiente más suave. Estas rampas, pueden formarse al tiempo que se hace el corte para los bancos, pudiendo generarse rampas circulares o en espiral y que vayan rodeando todo el perímetro del tajo.

Para poder determinar el tipo de camino propio para el tajo, se debe de considerar que las rampas en espiral pueden resultar desarrollos muy largos, principalmente si las secciones tienden a ser ovoides. Los caminos en zig - zag, resultan muy convenientes en los tajos que presentan depósitos de estratos uniformes, donde el camino permanente resulta necesario para seguir la cara que se está explotando. El problema que se tiene con este tipo de caminos es que si la pared del tajo es demasiado inclinada, no se tiene suficiente espacio para las curvas, lo que lleva a que se incremente el costo, resultando más económico la construcción de caminos en espiral.

II.3.5. Medios de arranque.

El arranque del mineral en los bancos se realiza, según su dureza, utilizando los métodos siguientes:

✓ **Arranque a mano.**

Las perforadoras de mano, se utilizan solamente para rocas blandas (como yeso, pizarra, etc.), o tierras sueltas. También, es necesario utilizar medios de arranque a mano cuando la roca es de bastante dureza pero no es posible utilizar explosivos, por acumulación de gases detonantes o por encontrarse entre terrenos quebradizos que se vean afectados con la expansión de los gases.

✓ **Arranque con maquinas mecánicas: cortadoras o rozadoras.**

Las perforadoras mecánicas son empleadas en los trabajos a cielo abierto para roca dura, funcionan generalmente con aire comprimido, y pueden trabajar por percusión, por incisión o por perforación.

✓ **Arranque con explosivos.**

El arranque por éste método se efectúa haciendo primeramente los barrenos, a mano o con máquina para depositar en ellos la carga de explosivos que se dispara para provocar la detonación. Independientemente de la forma de hacer los barrenos, es necesario darles una orientación apropiada con el fin de lograr la mayor eficacia; la orientación consistirá en vigilar el espacio que queda entre barreno y barreno, la inclinación o dirección de cada uno de ellos, así como la profundidad a la que deberá parar la perforación, para evitar el desperdicio de explosivo, que implicaría riesgos inminentes.



Fig. II.10. Máquina rotaria para barrenación larga, generalmente utilizada para explotaciones a cielo abierto o para trabajos de exploración

En ciertas explotaciones se emplean métodos especiales; uno de ellos consiste en que, si el banco tiene muchos metros de altura, se abren al pie del banco algunas galerías cortas perpendiculares a la cara del talud del banco; estas galerías constituyen una especie de barrenos que se cargan de explosivo y se hacen “tronar” sincronizadamente para provocar el hundimiento del banco. En cada banco se establece un camino de acarreo y el material arrancado se carga y se transporta en camiones. Estos caminos se van desarrollando a medida que penetran los bancos en el yacimiento (Fig. II.11).

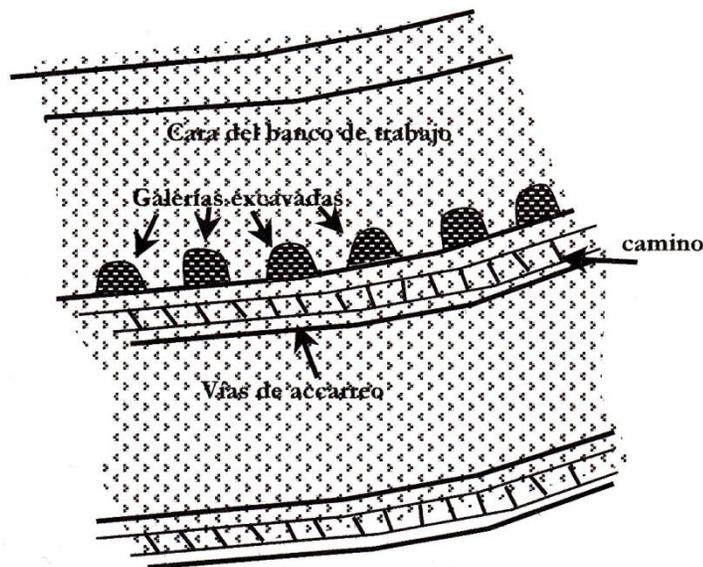


Fig. II.11. Arranque a través de galerías.

En otros casos, se establece debajo del banco una red de galerías, de modo que queda

la masa del mineral sostenida por una serie de pilares que después se hacen “tronar” simultáneamente a través de dispositivos eléctricos conectados a los explosivos colocados en los barrenos.

El costo de arranque en roca dura es muy variable, ya que se incluyen en tal denominación rocas de resistencia muy diversa que algunas veces resultan complicadas de atacar, y que deben ser arrancadas utilizando métodos nuevos o combinados, con muchos trabajos y con precauciones especiales. De esto, podemos concluir que el costo depende entonces del modo y medios de arranque.

Para que los métodos empleados den los resultados deseados, es necesario que el topógrafo lleve a cabo con sumo cuidado los planos de la obra, y que se midan regularmente los avances, para poder mantener actualizados estos planos, mismos que servirán de base para la planeación de las estrategias siguientes, y para observar y verificar si las expectativas se cumplen y, en caso contrario, planificar con mayor cuidado las estrategias siguientes.

II.4. Monitoreo de Fallas en las Explotaciones a Cielo Abierto.

Tratándose del trabajo de minería en superficie y en el subsuelo, es imposible considerarla separada de los procesos que le han dado forma a la Tierra. Es muy común encontrar fallas, si tomamos en cuenta que las fallas pueden servir como conductos para el ascenso de soluciones hidrotermales que forman vetas iniciales.

Cuando la estabilidad de los estratos rocosos que conforman el terreno donde se desarrolla la explotación no se conoce con certeza, es prudente y necesario llevar a cabo un monitoreo topográfico muy cuidadoso, ya que durante el desarrollo de los trabajos suelen ocurrir movimientos relativos de bloques que pueden, mediante observación y análisis, ser pronosticados para aplicar las medidas preventivas que ayuden a evitar accidentes personales y la pérdida de equipo costoso. El Ingeniero Topógrafo, auxiliado por un geólogo, es el responsable de implementar el sistema de monitoreo más adecuado para el tipo de falla en cuestión.

II.4.1. Tipos de Fallas.

Es necesario hacer notar que en la mayoría de los casos en que se presenta el deslizamiento de fallas, las principales causas son las discontinuidades entre los estratos y la altura del manto freático o del nivel de concentración de agua en el suelo. Es muy común que el movimiento de las fallas ocurra después de un intenso intervalo de lluvia; los efectos que el agua produce en el suelo son el de agregar presión extra a las grietas o fisuras, produciendo un efecto de *flotación/lubricación* en el bloque deslizante, y el de afectar directamente la resistencia inherente del suelo.

Los principales sistemas de fallas que se han detectado y estudiado en los trabajos de explotación a cielo abierto son los siguientes:

II.4.1.1. Falla plana.

Este tipo es el más común; el bloque deslizante que tiene un ángulo de inclinación de entre 10 y 20° se mueve hacia la excavación, con una altura de deslizamiento de hasta 20 m y un ángulo de 60°. Generalmente se presenta una discontinuidad secundaria en el estrato, como otra falla o un contacto, que constituye la tensión que provoca la fisura en la parte alta del bloque.

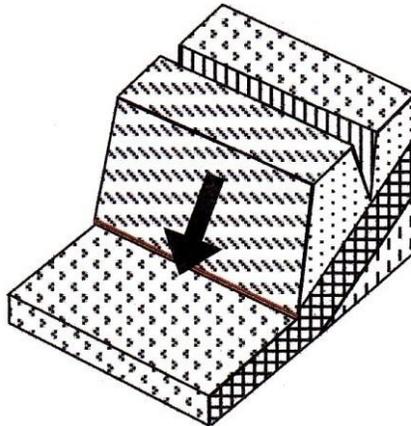


Fig. II.12. Falla Plana

II.4.1.2. Falla de cuña o multiplanar.

Este tipo de falla ocurre por la intersección de bloques o planos, que forman un bloque en forma de cuña. La intersección de dos planos laterales se entierra en la excavación provocando el deslizamiento; generalmente se presenta en terrenos con presencia de contactos litológicos. No son fáciles de detectar, por lo que requieren mucha precisión en las mediciones, para poder identificar las posibles superficies de deslizamiento.

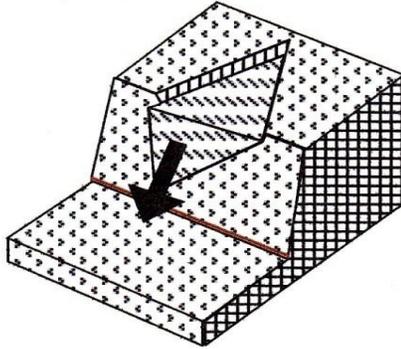


Fig. II.13. Falla de Cuña o Multiplanar

II.4.1.3. Falla de volcadura.

Usualmente este tipo de falla se presenta en sitios donde la excavación se realiza de manera paralela a los planos de los estratos, y la profundidad de excavación es excesivamente más baja que la profundidad de fisura o contacto de los bloques. El movimiento es, más que deslizamiento, de volcadura o caída de los bloques.

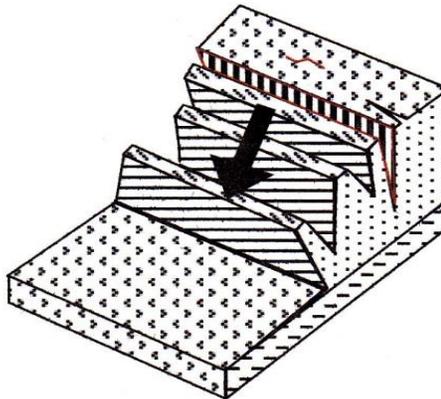


Fig. II.14. Falla de Volcadura

II.4.1.4. Falla de alabeo o de placa.

Este tipo de falla ocurre en las minas a tajo abierto en las que la cara de excavación se desarrolla con un ángulo de inclinación muy pronunciado, principalmente en la parte baja de un estrato, propiciando un gran deslizamiento de roca que con frecuencia se presenta cuando los bloques están alabeados a lo largo del contacto o discontinuidad, y debido a su propio peso se deslizan hacia abajo. Se debe principalmente a la compresión, y el movimiento puede presentarse sin advertencia previa, involucrando grandes volúmenes de roca.

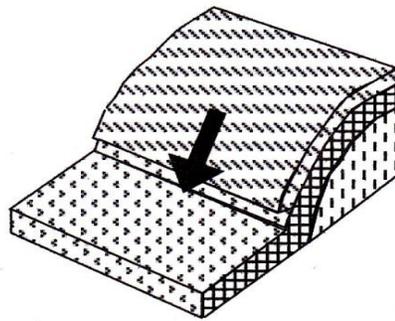


Fig. II.15. Falla de Alabeo o de Placa.

II.4.1.5. Falla Circular.

Este tipo de falla es una combinación de una o más de las fallas anteriores, es muy similar a la falla de cuña; se presenta en suelos en los que los estratos están fuertemente fracturados, y actúan como se comporta un suelo fragmentado.

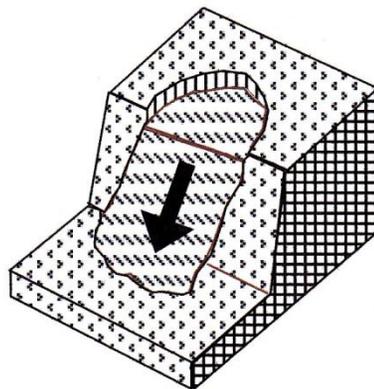


Fig. II.16. Falla Circular

Cuando se sospecha la existencia de fallas en el sitio de los trabajos, lo primero que se requiere es un sistema de monitoreo para comprobar si son fallas activas o inactivas; en el caso de considerarse activas, es necesario conocer también el sentido del desplazamiento relativo que presenten, así como la magnitud y dirección del mismo. Las fallas generalmente afloran a la superficie y a la cara de las excavaciones, siendo posible entonces, determinar sus trazas.

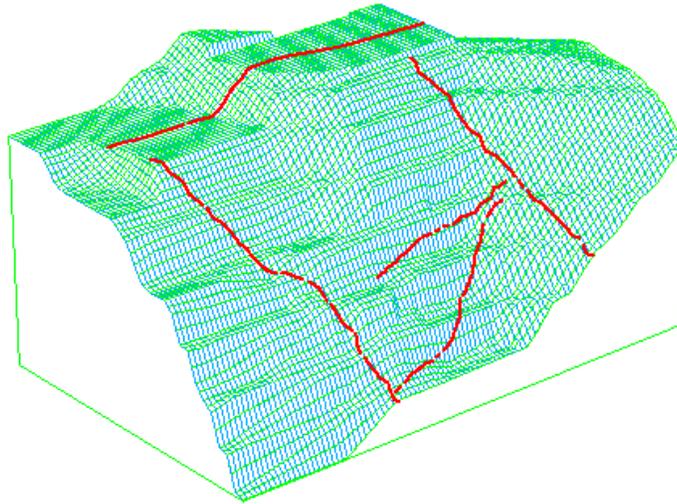


Fig. II.17. Modelo tridimensional de un sistema de fallas en una

Es muy importante tomar en cuenta los sistemas de falla en la planeación de los trabajos, por lo que el topógrafo debe generar un plano de las obras, en el que se puedan observar las trazas de las fallas, para que el planeador realice su trabajo con eficacia.

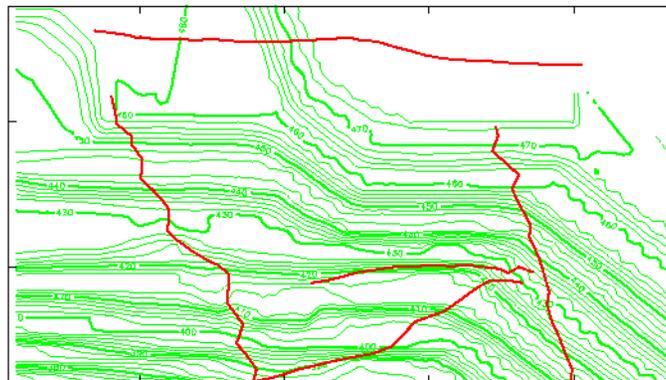


Fig. II.18. Representación plana de una explotación a tajo abierto, con la configuración plana de las trazas de las fallas.

II. 5 Topografía de Tajo.

En general, las técnicas topográficas utilizadas en minas superficiales o tajos son las mismas que las empleadas en otras aplicaciones de la topografía, como en el trazo de caminos, construcciones, movimiento de terracerías, etc. Esto implica que el equipo topográfico empleado en la topografía de tajo sea el mismo utilizado en los trabajos mencionados.

La principal diferencia entre la topografía de tajo y la topografía subterránea, es que en la primera el relieve cambia rápidamente. El tonelaje de material movido en un período de tiempo en un tajo es, por lo general, mucho mayor que en una mina subterránea, ya que en los tajos, la maquinaria y los métodos motorizados de transporte son de mucho mayor capacidad que los empleados en las minas subterráneas. Además, la escala de los trabajos es mucho mayor en tajos que en subterráneas. Debido a todos estos factores, en la ingeniería de minas deben llevarse continuamente a cabo revisiones sistemáticas, para llevar un buen control y actualizar los volúmenes de producción.

II.5.1. Control Primario: Triangulación.

Para control de tajos a cielo abierto, generalmente se utilizan sistemas de triangulación. Como control primario se entiende la instalación de estaciones permanentes, tanto dentro como fuera del tajo, desde las cuales se establecerán los puntos de control topográfico. Si se utiliza un sistema de medición electrónica de distancias, probablemente se adopte en lugar de triangulación un sistema de trilateración e inclusive, es común encontrar una combinación de ambos: la *triangulateración*.

Las redes de triangulación o trilateración en minas a tajo varían desde 1 hasta 15 km². En un principio estos sistemas de control fueron establecidos para la minería subterránea. Actualmente, las mediciones se realizan con equipos de precisión de 1" y distanciómetro o con estación total, y las lecturas deben hacerse en series de cuatro a diez repeticiones. En algunas ocasiones, el trabajo se repite hasta que se obtiene la precisión requerida para cada triángulo. Cuando los puntos de control topográfico temporal se encuentran dentro del tajo,

sólo se miden dos ángulos del triángulo y el tercero se obtiene calculando el suplemento de la suma de los dos medidos.

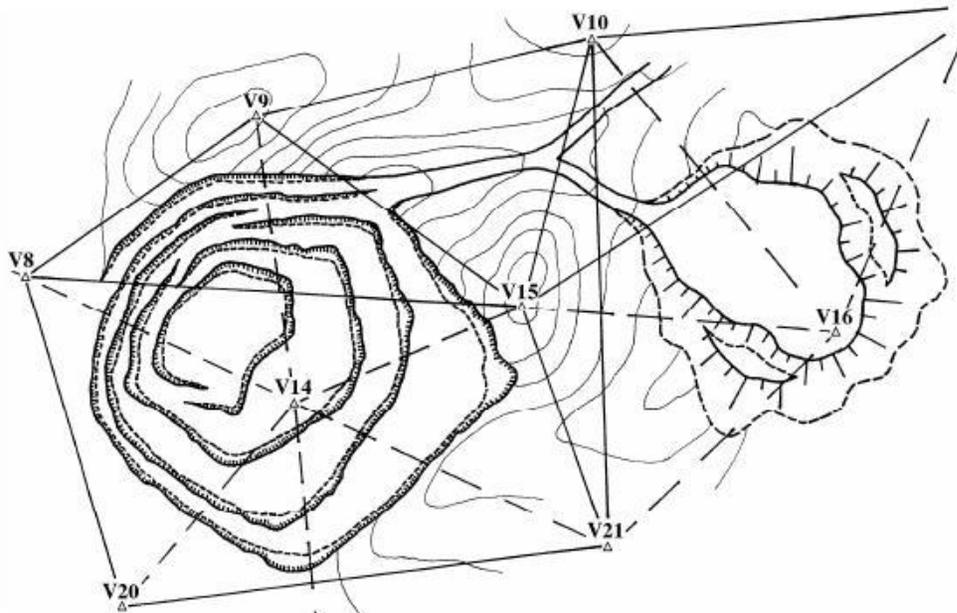


Fig. II.19. Red de triangulación

Muchas redes de control parecen estar basadas en uno o en una serie de cuadriláteros en lugar de cadenas de triángulos; esto se hace para evitar tener ángulos de menos de 30° . Las líneas base se medían con cintas estandarizadas, corregidas por temperatura y tensión y, actualmente, con equipo de Medición Electrónica de Distancias o EDM por sus siglas en inglés (Electronic Distance Measurement), si se cuenta con éste. La precisión admitida para el EDM es de generalmente $5 \text{ mm} \pm 5 \text{ p.p.m.}$

La red trigonométrica puede sustituirse o complementarse por un levantamiento con equipos GPS, dando coordenadas a un número suficiente de puntos bien repartidos por la zona afectada.

Las estaciones o vértices de triangulación son permanentes, y se encuentran materializadas físicamente en el terreno por columnas de concreto, con un tornillo o barra metálica al centro, sobre la cual se monta el aparato. Para los puntos de control temporal, generalmente se utilizan estacas o varillas.

Sin embargo, en el establecimiento de redes de vértices en minería a cielo abierto hay que tener en cuenta que:

- ✓ La actividad minera puede durar muchos años y las redes de vértices de apoyo deben estar disponibles en todo momento.
- ✓ La propia naturaleza de la actividad minera puede suponer la desaparición de algunos de estos vértices, especialmente de los situados en zonas afectadas por la explotación. En otros casos, las señales permanentes que marcan los vértices pueden desaparecer debido a los trabajos de infraestructura, al transporte, etc.
- ✓ Las características de muchos de los trabajos mineros exigen disponer de un gran número de vértices de apoyo permanentes, cubriendo toda la zona de actividad minera.

Por estas razones puede ser recomendable establecer una red de vértices trigonométricos y topográficos mucho más densa que las habituales en trabajos topográficos no mineros. Una posible solución consiste en establecer dos redes, una con unos pocos triángulos de lados más grandes y vértices situados en puntos seguros; otra más densa, completada con puntos trigonométricos complementarios y vértices topográficos.

Toda la red debe revisarse con frecuencia (mejor si se establecen revisiones sistemáticas) y mantenerse totalmente operativa, especialmente en las proximidades de las zonas en producción.

El cierre mínimo aceptable para los trabajos de control es de 1:10 000, sin embargo, tomando en cuenta el procedimiento de medición de ángulos (de hasta 10 observaciones), la medición de las líneas, y el ajuste de las figuras, en el cierre se obtienen precisiones mayores al mínimo mencionado.

Los siguientes pasos resumen el trabajo de control por triangulación:

1. Orientación de la línea base, ya sea a través de la astronomía de posición, o bien utilizando equipo GPS.

2. La medición de la línea base con distanciómetro, o con cinta corregida por tensión y temperatura.
3. Los ángulos primarios se miden de cuatro a diez veces, dependiendo de la precisión del equipo y del área que abarca la red. El sistema se ajusta tanto por triángulos como por cuadriláteros, utilizando una distribución de la discrepancia entre todos los ángulos medidos de la figura. El telescopio se invierte para la mitad de las observaciones (5 series en posición directa y 5 series en posición inversa).
4. Los puntos de control topográfico temporal del tajo se establecen midiendo únicamente dos ángulos del triángulo de dos a cuatro veces. El tercer ángulo se calcula por la diferencia de la suma de los dos ángulos medidos y 180° .
5. Las estaciones primarias se establecen en columnas de concreto y se marcan, ubicándose fuera del área del tajo. Los puntos de control topográfico temporal, ubicadas dentro del tajo, se señalan con estacas o varillas.
6. En las estaciones primarias, y cuando es conveniente en las estaciones secundarias, se encuentran sus elevaciones a través de una nivelación normal. También se utiliza mucho la nivelación trigonométrica, midiendo dos veces el ángulo vertical en ambas posiciones del telescopio, tomando el promedio. Es común la utilización de dos estaciones conocidas para propagar la elevación a los demás puntos por nivelación trigonométrica, y se utiliza el promedio como la elevación del nuevo punto.

Fotogrametría.

El uso de las fotografías aéreas no es tan común, aunque parece estar incrementándose. Algunos sitios de trabajo se fotografían con el objetivo de elaborar un plano previo a las labores de explotación, para efectuar la planeación del tajo, marcar y planear los caminos de acceso, la ubicación de depósitos de tepetate y presas de jales, y los perfiles de la superficie original del terreno. Esta restitución fotogramétrica provee información para observar el progreso y avance de las obras. Algunas obras en explotación son fotografiadas dos veces al año para la elaboración de los reportes de avance.

Para las operaciones en las que se utiliza la fotogrametría, el topógrafo debe localizar puntos de control tanto horizontal como vertical. Estos puntos de control deben estar señalados en el terreno de manera tal, que aparezcan en las fotografías aéreas, para ser utilizados como referencias en la formación de mosaicos. Por medio de estos puntos, es posible conocer distancias horizontales y verticales con bastante precisión y asignar una escala precisa al plano terminado.

II.5.2. Control del tajo.

Dependiendo del propósito a que se destinen, pueden emplearse diferentes métodos de levantamiento para el control del tajo; para establecer puntos de control de detalles en el tajo (la cresta y pata de un banco, las rampas, los caminos y las plantillas de barrenación) se utilizan la medición de distancias y ángulos por métodos convencionales. En muchas ocasiones, se propagan simultáneamente las elevaciones de los puntos; otras veces se utiliza el tránsito como nivel; si se utiliza un teodolito con distanciómetro o una estación total, pueden propagarse simultáneamente las coordenadas horizontales y las elevaciones, de manera sencilla.

II.5.3. Determinación de volúmenes y tonelajes.

Para controlar el volumen del material extraído, se toma el área que abarcó la explotación más reciente y se compara con el área de la última extracción, lo que dará como resultado la superficie que se abarcó en las últimas labores y, si consideramos que la altura de los bancos de trabajo en un tajo son una constante, entonces, al multiplicar la diferencia de las áreas por la altura del banco dará como resultado el volumen del material extraído.

Para obtener el tonelaje del material se utiliza un factor, determinado a partir del análisis de la densidad promedio del material del tajo en explotación (ton/m^3), que al multiplicarse por el volumen calculado dará como resultado el tonelaje extraído. Algunas veces, los tonelajes diarios estimados se obtienen considerando la capacidad de los camiones de transporte y el número de viajes que éstos realizan.

II.5.4. Rutinas diarias para el control de un Tajo.

En una explotación a tajo abierto se llevan los siguientes procedimientos topográficos de manera sistemática diariamente:

1. Determinación de volúmenes, tonelajes, y avance.
2. Levantamiento de barrenos para voladura.
3. Ubicación de las voladuras que se dieron.
4. Revisión de las rampas que estén en construcción, proporcionando el control en el trazo y en la pendiente de las mismas, y efectuando el levantamiento de todo su desarrollo.
5. Propagación del control vertical desde los bancos de nivel, utilizando, nivelación trigonométrica, o con el uso de estación total.
6. Localización y control de nivel de las palas mecánicas, y de las máquinas rotarias, estableciendo marcas para mantenerlas niveladas.
7. Ubicación de las áreas de tepetate y las trayectorias de los camiones hasta ellas (esto permite determinar, ya en gabinete, las distancias recorridas o fletes).
8. Mantener actualizado el control en las áreas activas.
9. Dibujo de los levantamientos efectuados durante el día, para calcular los avances diarios.
10. Dibujo del Tajo.
11. Localización y establecimiento de las estacas que marcarán los límites (control de minado).
12. Localización de barrenos para prospección o para el desarrollo de los trabajos de extracción.
13. Localización de todas las frentes de trabajo, las vetas y las áreas de desechos.

II.5.5. Rutinas frecuentes en el control de un Tajo.

Algunas veces, se llevan a cabo levantamientos en períodos irregulares de tiempo; algunos de ellos son:

- ✓ Correr circuitos de nivelación para establecer bancos de nivel (algunas veces, dependiendo de la precisión que se requiera, se utiliza en lugar de la nivelación trigonométrica, la nivelación diferencial normal).
- ✓ Localización de estaciones de triangulación y trilateración para el control permanente y semipermanente, y para control fotogramétrico.
- ✓ Construcción de las rampas principales, proporcionando el control en las pendientes, los grados de las curvas, y la sobreelevación de la parte externa de los caminos.
- ✓ Determinación del tonelaje como una comparación con respecto a los viajes estimados (camiones, locomotoras, bandas, etc.).
- ✓ Trazo de las líneas de cableado eléctrico y de tuberías de agua.
- ✓ Estacado de los límites de barrenación.
- ✓ Realización de localizaciones de barrenos y voladuras para el departamento de operación.
- ✓ Realizar la ubicación preliminar y final de las rotarias para perforar los barrenos de exploración.
- ✓ Control de volumen, profundidad y límites de las presas de jales.
- ✓ Monitoreo de las fallas activas que se presentan en el sitio de trabajo.

II.5.6. Trabajos ocasionales en el control de un Tajo.

Cada cierto tiempo, deben realizarse algunos trabajos topográficos, no necesariamente dentro del tajo.

- ✓ Localización de vías, curvas y puntos de intercambio.
- ✓ Llevar a cabo trabajos de construcción.
- ✓ Localización de líneas de energía.
- ✓ Localización de linderos y perímetro del lote.
- ✓ Túneles de acceso al tajo.
- ✓ En general, todos los miembros del departamento de topografía deben realizar su propio trabajo de gabinete (notas de campo y dibujo).
- ✓ Cada cierto tiempo, la unidad minera compila los datos del último período, mostrando el tonelaje, efectuando el levantamiento del tajo para la actualización de los planos, y completando otros reportes de avance que se requieran.
- ✓ Eventualmente, los miembros del departamento de topografía deben involucrarse en los trabajos del diseño de las plantillas de barrenación y cargas de explosivos para los barrenos, pero siempre y cuando el departamento de planeación y operación se los solicite.

II.5.7. Ejemplos prácticos de topografía en explotaciones a cielo abierto.

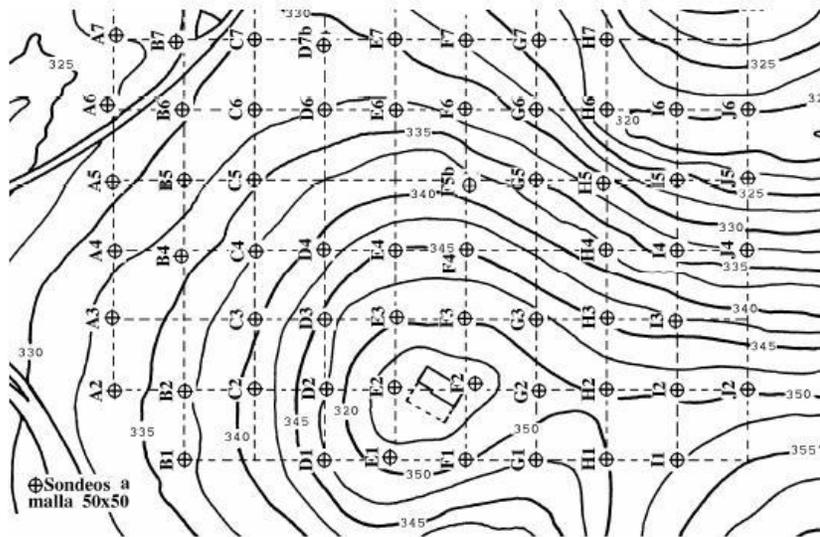
Son muchos los trabajos topográficos que se realizan en el proyecto de una mina a cielo abierto; de hecho, es posible afirmar que no podría darse el desarrollo de la minería sin la existencia de la topografía. Es importante señalar que aunque existen métodos establecidos para llevar a cabo los trabajos, éstos generalmente sufren cambios o adaptaciones, dependiendo de las condiciones específicas de cada lugar, así como del equipo y recursos disponibles. Sin embargo, con el fin de mostrar algunos de los trabajos topográficos más comunes en minería a cielo abierto, presentaremos ejemplos derivados de casos prácticos reales.

II.5.8. Exploración

Es el punto en el que invariablemente comienza un proyecto minero; consiste en la ubicación, identificación y cuantificación preliminar de los yacimientos minerales que pretenden explotarse, para determinar si es o no económicamente posible realizar la inversión. Este es un trabajo interdisciplinario, ya que corresponde a los ingenieros geólogos y geofísicos señalar los lugares en donde se sospecha que existen vetas, mantos o chimeneas con potencial suficiente, correspondiendo entonces al Ingeniero Topógrafo ubicar puntos de control con suficiente precisión. Para ello, y después de realizados los trámites legales correspondientes que amparen el lugar, se comienza por trazar en el terreno los linderos del lote de exploración; es requisito indispensable que las coordenadas del punto de partida estén referidas a la proyección Universal Transversa de Mercator (Datum NAD 27, elipsoide de Clarke de 1866); esta información se presenta en los informes de los trabajos periciales para que sea otorgada la concesión minera. La ubicación de las esquinas no se realiza, ya que a partir del punto de partida el lote minero se traza de manera ortogonal.

En esta etapa se establece un sistema local de coordenadas bajo un estricto control topográfico, que servirá de apoyo a levantamientos geológicos y topográficos posteriores. El sistema de coordenadas puede estar referenciado al sistema de coordenadas de algún lote preexistente, e incluso puede ser continuación del mismo, si es que se adecua a las condiciones del caso. En él, se determinarán las coordenadas, distancias y rumbos de las líneas o redes de exploración, así como de los barrenos de exploración.

Según los primeros estudios geológicos y con apoyo de la cartografía inicial, se diseña la malla de barrenos de exploración, definiendo sus dimensiones y su orientación. Se elige un punto inicial, que será una de las esquinas de la malla, y se calculan a partir de él las coordenadas de todas las intersecciones de la malla, donde irán ubicados los barrenos. Normalmente se comienza con mallas amplias, que luego se van cerrando a medida que se conocen los primeros resultados de los barrenos.



En la exploración se debe decidir si la mina será a cielo abierto o subterránea, dependiendo de la posición del cuerpo del mineral y de las leyes del mismo. También se llevan a cabo estudios de geotecnia e hidrológicos; los datos recogidos en los primeros, se utilizan durante la etapa de planeación para determinar la pendiente de las rampas de acceso, la profundidad del tajo y la altura de los bancos. Con respecto a los segundos, se realiza un estudio de las cuencas hidrológicas que estén en o cerca del proyecto, con el fin de tener datos que puedan ser empleados durante la planeación y así proyectar obras de desvío en caso de que los afluentes naturales dañen u obstaculicen el buen funcionamiento de la mina.

También en esta etapa quedarán determinadas las secciones que servirán como referencia para los trabajos posteriores.

II.5.9. Planeación

Son muchos los factores que deben considerarse para determinar el tamaño y la forma del tajo. Debe tomarse en cuenta la geología del lugar, la localización del mineral, la extensión del depósito, la topografía, los límites de propiedad, los costos del procesamiento, la cantidad de metal que se espera extraer, y las condiciones del mercado, entre otros. Con

estos datos, es posible determinar la altura de los bancos, la pendiente de las rampas y el grado de corte, y diseñar la construcción de la infraestructura, así como el apoyo y control topográficos que deberán llevarse, y lo concerniente a la extracción del material.

Es necesario elaborar planos que ilustren la posición del cuerpo mineral con respecto al terreno. Si tomamos como ejemplo el caso hipotético ilustrado en la figura II.19., el cuerpo mineral tiene una longitud de 1.0 km, una potencia (ancho) promedio de 100 m, una profundidad de 500 m, y un echado de 65°, por lo que su representación en una sección se vería como se ilustra en la figura II.20.

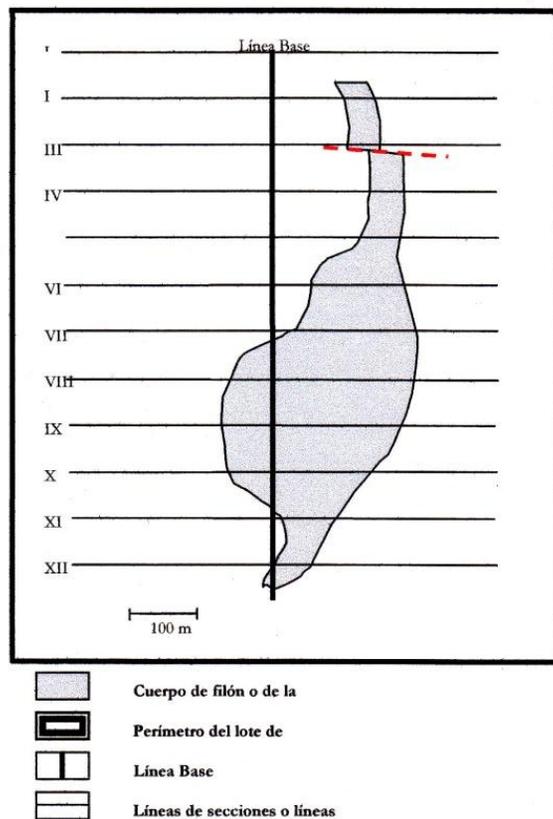


Fig. II.19. Trabajos iniciales para el comienzo de la exploración.

La determinación de las paredes del tajo es el factor que más afecta su forma y tamaño; determina la cantidad de material estéril que habrá que remover para llegar al mineral; el encape localizado sobre el tajo planeado siempre deberá removerse y colocarse fuera del área antes o inmediatamente después de que el trabajo haya empezado. Las pendientes de los bancos generalmente se expresan en grados a partir de un plano horizontal; éstas necesitan ser estables a lo largo de toda el área de trabajo, con el fin de minimizar accidentes. El grado de corte, es el grado de separación entre dos frentes de trabajo, que depende de las características económicas del proyecto.

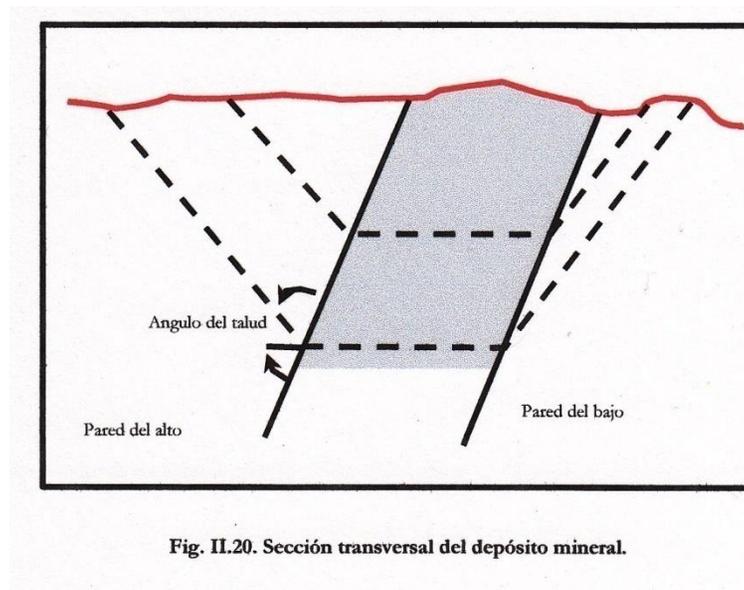


Fig. II.20. Sección transversal del depósito mineral.

Para permitir el trabajo eficiente de una excavadora (pala) en su actividad de cargado de camiones de acarreo, el frente o área de trabajo deberá tener de 15 a 30 m de ancho. En cada lugar de cargado debe ser posible el transporte del mineral y del tepetate, por lo que siempre será necesario planear cada banco con una sección horizontal que permita el tránsito de camiones en dos direcciones (doble vía). Esto significa que el tepetate se debe mover de tal manera que deje un talud de trabajo de 30 a 40°, dependiendo del tamaño del equipo empleado.

En este punto, el topógrafo deberá considerar las dimensiones de los camiones y del equipo que se utilizará, para poder entonces diseñar las diferentes alternativas razonables para las rampas de acceso y el ancho y pendiente de cada banco(fig.II.21). En contraste con

los taludes de trabajo que deberán ser lo más “planos” posible, los taludes finales del tajo deberán ser tan pronunciados (inclinados) como sea posible (fig.II.22).

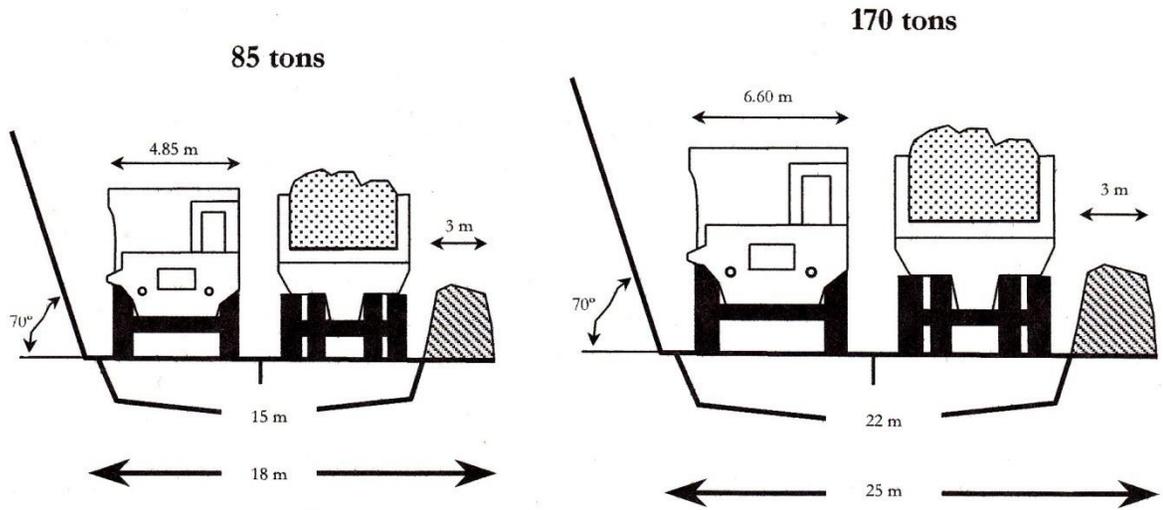


Fig. II.21. Ancho Mínimo requerido en los bancos, en función del tamaño de los camiones.

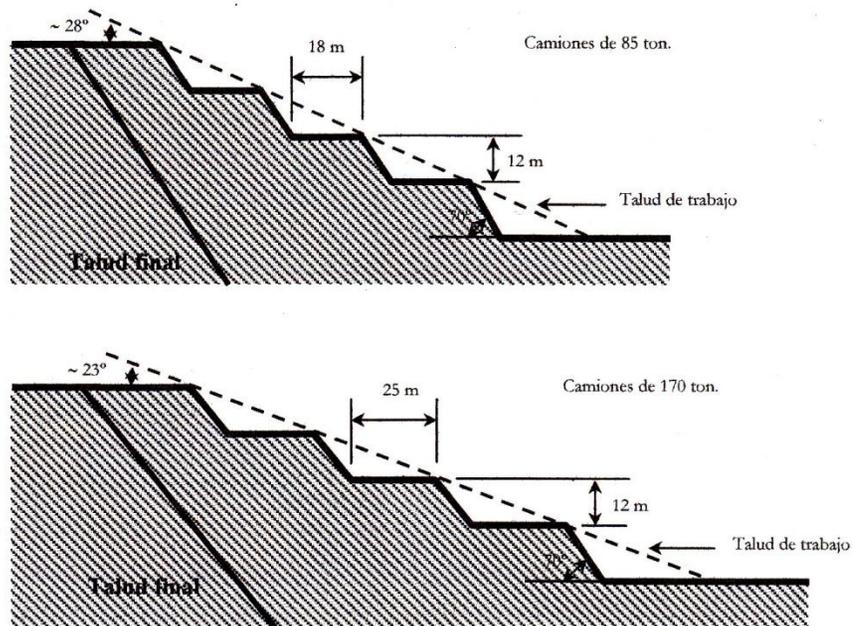


Fig. II.22. Taludes de trabajo en función del tamaño de los camiones de acarreo.

En esta etapa, también se determinan los lugares más apropiados para las obras de infraestructura básica que se requieran (oficinas, almacenes, planta de beneficio, zona de quebradoras, etc.), y se planean los caminos de acceso entre cada obra, elaborando los planos correspondientes.

II.5.10. Preparación de sitio y construcción

La preparación de sitio abarca todo lo concerniente a movimientos de tierra para preparar el área en la que se van a construir las obras de infraestructura de la mina, esto es, las excavaciones y rellenos que se necesitan para conformar el desplante de los edificios e instalaciones especiales que requerirá el proyecto.

En la etapa de construcción, se llevan a cabo las tareas referentes a la construcción de las obras antes mencionadas, utilizando métodos convencionales de control topográfico para obras.

Estas etapas son las más delicadas, ya que se trata de transportar todos los datos proyectados y planeados al área física del terreno y de esto dependerá el buen funcionamiento de la mina en la fase de explotación.

Dentro de los trabajos que se realizan en la preparación de sitio se incluyen las especificaciones de construcción. Las etapas que constituyen preparación de sitio son las siguientes:

II.5.10.1. Trabajo de gabinete.

Este trabajo se puede dividir en dos partes: la primera es aquella anterior al trabajo de campo, es decir, en la que se localiza el área en la que se va a trabajar, se verifican en los planos las características que se desean tener en el terreno para la construcción, se localizan los puntos de control topográfico del área de trabajo y se planifican las acciones a seguir. En la segunda etapa, posterior al trabajo de campo, se registran y procesan todos los datos e información recabados.

II.5.10.2. Localización física del área y preparación de sitio.

Partiendo de los puntos de control topográfico del proyecto, se determinan puntos cerca del área de trabajo, que servirán para llevar un control de los niveles del piso de cada obra, y para localizar las coordenadas de los sitios que aparecen en el proyecto, y que están próximos a construirse. Lo concerniente a preparación de sitio es determinar la zona que deberá ser deforestada, en caso necesario, y los cortes y rellenos requeridos para lograr que el piso este al nivel determinado por proyecto.

II.5.10.3. Entrega física del sitio.

Una vez que se ha dejado el área de trabajo lista, es decir, perfectamente delimitada, trazada y nivelada según los planos y las especificaciones para la preparación de sitio, esta área se entrega a la empresa constructora, proporcionándoles los puntos de control de la obra con sus respectivas coordenadas (X, Y, Z), anexando las planillas de cálculo con las que se obtuvieron dichas coordenadas.

II.5.10.4. Levantamiento para cubicación de movimientos de tierra.

Una vez que se ha realizado la construcción, se debe hacer un levantamiento para determinar el total de tierra que se movió y obtener un plano final de la obra, a escala conveniente y de ser posible de manera digitalizada o en Autocad.

Otro trabajo muy importante y delicado en esta etapa, es el de la localización de los trabajos correspondientes al inicio de la explotación del tajo. Estos trabajos comprenden la localización de los vértices fijos de triangulación, ubicados fuera del área que comprendan las operaciones de extracción, así como la medición precisa de una línea base, que servirá como referencia para todos los trabajos posteriores. También se llevará a cabo la remoción del encape superficial del área del tajo, y se ubicará con todo cuidado la plantilla de barrenación que marcará el inicio de las operaciones

II.5.11. Explotación.

Los trabajos de explotación comprenden las obras y trabajos encargados de desprender y extraer los productos minerales.

Un trabajo muy importante durante esta etapa, lo constituyen el cálculo de volúmenes y tonelajes. Para estos fines, es preciso llevar un control constante de las áreas que se barrenan y vuelan cada día, principalmente en los trabajos de explotación a cielo abierto, ya que el movimiento de material en éstos es generalmente mucho mayor que en las minas subterráneas.

Como primer paso, es conveniente dibujar, en una escala precisa y referida al sistema de coordenadas local, el área o frente sobre la cual se está trabajando; esta tarea se realiza diariamente, de dos a tres veces por turno, dependiendo del número de voladuras que se realicen, así como de la capacidad que se tenga para el movimiento del mineral. En la figura II.23. se puede apreciar de una manera más clara lo antes expuesto. Es usual que el nombre del banco de trabajo se le asigne de acuerdo con la cota de inicio del mismo (referida en m.s.n.m.m.).

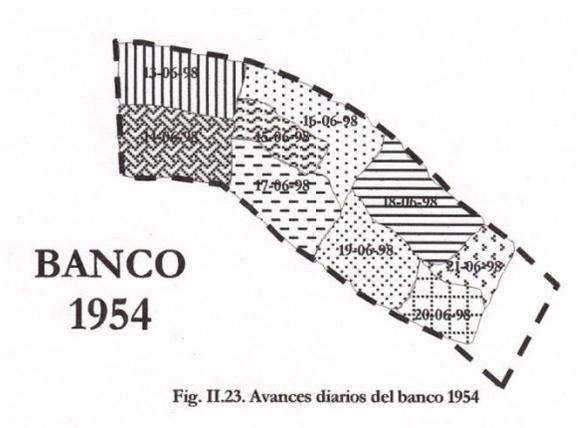


Fig. II.23. Avances diarios del banco 1954

Una vez obtenida el área explotada, se multiplica por la altura del banco, para obtener el volumen. En este caso, la altura de los bancos es constante y es de 15 m. Para estos cálculos, se lleva el registro siguiente:

CALCULO DE VOLUMENES Y TONELAJES			
FECHA	AREA (m²)	VOLUMEN (m³)	TONELAJE (ton)
13-06-98	285.42	4281.30	11987.64
14-06-98	298.66	4479.90	12543.72
15-06-98	203.45	3051.75	8544.90
16-06-98	279.41	4191.15	11735.22
17-06-98	300.15	4502.25	12606.30
18-06-98	308.44	4626.60	12954.48
19-06-98	299.33	4489.95	12571.86
20-06-98	240.25	3603.75	10090.50
21-06-98	270.44	4056.60	11358.48

El tonelaje es el volumen del material extraído multiplicado por el peso específico promedio del mineral, que para lugar del ejemplo en particular, es de 2.8 ton/m³.

Hemos hablado con anterioridad acerca de la importancia que precisa la identificación, ubicación correcta y vigilancia constante de los sistemas de fallas que pudieran existir en el lugar de trabajo. En una unidad minera en la que se lleva una explotación a cielo abierto se tienen bien localizadas las fallas, y se ha implantado un sistema de monitoreo de las mismas; este monitoreo se hace a través de la medición de distancias tanto horizontales como verticales, desde un punto de control, hasta un par de tornillos, empotrados en las paredes de los bloques de las fallas. Por éste método, sólo es posible conocer desplazamientos relativos, sin embargo, éste constituye un método simple y confiable para tal efecto.

Generalmente, se hace una comparación mensual de los resultados, a fin de saber el grado de actividad que presentan.

El registro que se lleva es el siguiente:

Sistema de monitoreo de la Falla Sur

PUNTO	FECHA	Dist.Hor.	Dist.Vert.	FECHA	Dist.Hor.	Dist.Vert.	Diferencias (mm)	
1	13-03-98	1654.263	347.562	14-04-98	1654.260	347.562	3	0
2	13-03-98	1782.352	402.688	14-04-98	1782.332	402.687	20	1
3	13-03-98	495.567	218.485	14-04-98	895.570	218.485	5	0
4	13-03-98	1233.338	220.669	14-04-98	1233.336	220.669	2	0

Es importante obtener los planos de trabajo en donde se aprecien las trazas de las fallas, tanto en planta como en secciones, ya que con base en éstos, se planean las actividades correspondientes a los métodos de minado, así como los de explosivos y voladuras. De acuerdo con los resultados obtenidos, se ha observado que los desplazamientos horizontales generalmente son mayores que los verticales, y que éstos últimos son muy pequeños o nulos; se sospecha que se trata de una falla circular.

III. METODOS TOPOGRAFICOS APLICADOS EN LA EXPLOTACION SUBTERRANEA

III.1. Generalidades Respecto a Los Levantamientos Subterráneos.

Los levantamientos subterráneos tienen como fin principal el de llegar a obtener los elementos necesarios para poder dibujar en proyección horizontal, vertical o transversal los socavones, pozos, y labores que se realizan sobre una veta en explotación.

La entrada a la mina, por regla general, se efectúa en cualquiera de estas dos formas:

III.1.1. Entrada por socavón.

Como en el caso de la figura III.1., en la que se supone que existe en la falda C-D de una montaña un socavón como portal de entrada en el punto A y que se desarrolla sobre su eje, sensiblemente horizontal hasta el extremo en el que empieza el tiro principal.

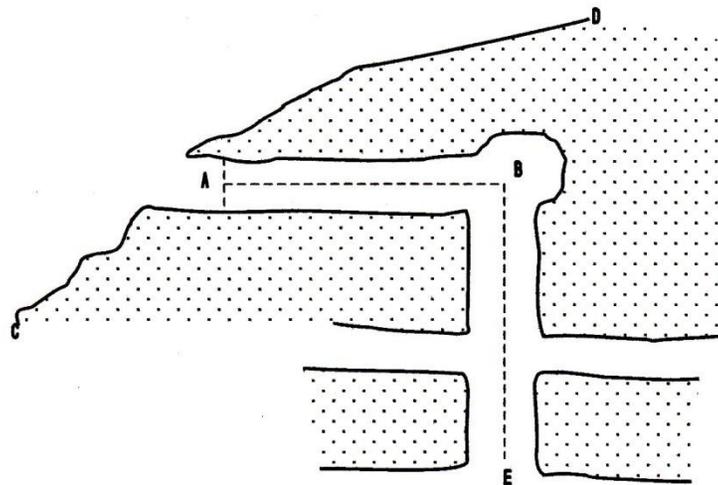


Fig. III.1. Ejemplo de una entrada por socavón.

En el caso de la figura III.1., se ha supuesto que en el extremo del socavón que da entrada a la mina se ha practicado una ampliación, con el fin de alojar en este lugar la maquinaria necesaria para la extracción del mineral, a través del tiro B-E.

Los niveles o pisos principales en una mina, por los que se realiza el tránsito de personal y el transporte del mineral hacia el tiro principal, se practican a intervalos diseñados de acuerdo con la resistencia estructural tanto del mineral como de la roca encajonante, con respecto a los pozos verticales; estos últimos sirven también para la ventilación de la mina. Los niveles son perforados siempre con una ligera pendiente que desciende hacia el tiro principal.

Todos estos niveles se desarrollan, por lo general, a lo largo de la veta, por lo tanto, cuando la veta está en un plano vertical coincidirán todos en una misma proyección horizontal en el dibujo.

Uno de los problemas principales que afecta la buena marcha de la explotación de las minas, es el que se refiere al transporte en el interior de ellas, del material no mineralizado que es preciso derribar al perforar los cruceros o algunos de los contrapozos, y esto es fácil de explicar, porque toda maniobra que se ejecute con dicho material, no dará ningún rendimiento económico efectivo, por lo que se debe evitar tanto como sea posible estas maniobras o, en caso de que su ejecución sea necesaria, que resulte siempre del menor costo posible.

Para este efecto, se han desarrollado diferentes sistemas de minado, que hacen que los trabajos de explotación se hagan con máxima eficiencia. En algunas minas se utilizan los rebajes que fueron tumbados con anterioridad para rellenarlos con borra, material no mineralizado o tepetate, que en este caso se designa con el nombre de retaque, y con esta operación se logran reducir los costos de la maniobra.

También existen minas de entrada por socavón, en las que las maniobras de entrada y salida de equipo, así como de extracción del mineral se realizan a través de un sistema de rampas que comunican a todos los niveles de la mina con el exterior, aunque también cuentan con tiros para el *manteo* de mineral, así como para efectuar la entrada y salida del personal. Es importante señalar que por medidas de seguridad, en las labores de la mina existirán al menos dos caminos que comuniquen las labores del interior con el exterior, para facilitar la salida del personal en caso de accidente.

III.1.2. Entrada por tiro.

En estos casos, la entrada a la mina se lleva a cabo por medio de un tiro generalmente de dirección vertical, que comunica directamente al interior de la mina con la superficie del terreno, como se muestra en la figura III.2. En la entrada o brocal del tiro se instala un castillo que, además de cubrir dicho brocal, servirá para la instalación de un *malacate*, que hará posible el deslizamiento de la jaula o el bote para el transporte del personal o la extracción del mineral a la superficie, respectivamente.

Como se indica en la misma figura III.2., el tiro principal se encuentra comunicado con todos los niveles de la mina por los que se extrae el mineral. La localización de los niveles se realiza considerando la resistencia estructural del mineral y de la roca encajonante.

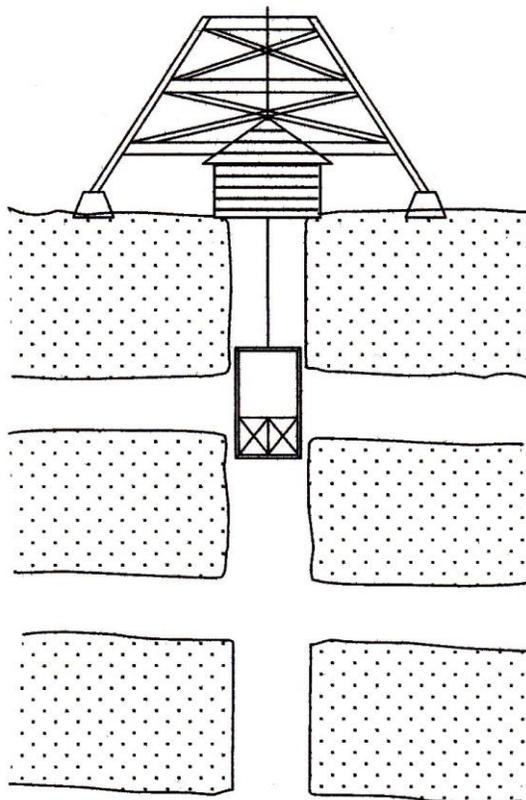


Fig. III.2.- Mina con entrada por tiro.

Los trabajos topográficos que se realizan en una mina subterránea, pueden dividirse básicamente en los aspectos siguientes:

1. Apoyo topográfico superficial.
2. Transportación de la meridiana.
3. Levantamiento de obras mineras.

III.1.3. Apoyo topográfico superficial.

Al efectuar el deslinde de una propiedad minera, debe escogerse en la superficie del terreno un punto fácilmente identificable que pueda servir como origen de coordenadas para relacionar a él todos los trabajos que se realicen en la superficie y en el interior de la mina.

Los puntos que más frecuentemente sirven como origen de las coordenadas, se sitúan en el brocal del tiro principal y se determina la meridiana astronómica que pasa por una línea conteniéndolo como uno de sus extremos, así como la normal a la meridiana en dicho punto.

La elección de un punto en estas condiciones ofrece varias ventajas, como son:

- ✓ La determinación del número de kilómetros que se recorrerán en la superficie con respecto a la magnitud del cuerpo mineralizado, pues la distancia comienza a contar precisamente a partir del punto de partida.
- ✓ El mismo punto origen de las coordenadas horizontales, también se toma como origen de las cotas para todos los trabajos de nivelación, ya sea en la superficie o en el interior de la mina, y como consecuencia, todas las cotas de las galerías o trabajos subterráneos nos indicarán la profundidad a que se encuentren con respecto a dicho punto, lo que quiere decir que si, por ejemplo, un *machote* tiene cota 800.000, esto indica que se encuentra a 800.000 m de profundidad con respecto al punto de partida. Aunque las cotas para los trabajos subterráneos deben, como consecuencia, ser siempre negativas cuando se toma como cota de inicio la del punto de partida (Origen de coordenadas), con frecuencia se omite el signo, por que se sobreentiende que cualquier punto en el interior de una mina tendrá siempre una cota negativa.

Cabe mencionar que en algunas minas, y con el objeto de tener siempre cotas positivas en los machotes, se toma como origen de las nivelaciones, el nivel medio del mar (n.m.m.).

En las minas es muy importante contar siempre con referencias fijas y disponibles en cualquier momento, por lo que siempre se acostumbra llevar un eje de coordenadas sobre el que se toman todos los datos relativos a cada uno de los puntos de control establecidos permanentemente tanto en el interior, como en la superficie de la mina.

Antes de describir los levantamientos que se realizan en las minas subterráneas, es necesario aclarar que para poder tener un control absoluto de la propiedad minera, es indispensable que en la Dirección General de Minas se lleve a cabo un verdadero catastro minero, en el que se liguen todos los lotes de exploración o de explotación que existan en cada región, con el objeto de evitar que sobre una misma fracción se extiendan dos o más títulos a diferentes personas, y precisamente para facilitar esta labor, se exige al perito minero que todos sus levantamientos estén ligados a puntos ya existentes y que estén marcados en el terreno por medio de mojoneras. Estos puntos deben ligarse a la Subred Geodésica Minera.

De lo anteriormente expuesto, podemos concluir que los trabajos de apoyo superficial en las minas constan básicamente de tres aspectos:

III.1.3.1. Orientación astronómica.

Las orientaciones astronómicas son necesarias para determinar en los levantamientos topográficos, la posición de un punto sobre la superficie de la tierra (posición geográfica), o la dirección de una línea definida (rumbo o azimut).

III.1.3.2. Puntos de control.

Los puntos de control topográfico primarios en la superficie comienzan con la construcción de los vértices de triangulación. Estos, son monumentos que se consideran permanentes por su construcción y por su ubicación, que deben estar ligados a la Subred Geodésica Minera.

De ellos se derivan los puntos de control topográfico secundarios, que son puntos permanentes ubicados lo más cerca posible de las obras mineras, construcciones, presas, caminos, etc.

III.1.3.3. Sistema de coordenadas.

El sistema de coordenadas utilizado debe ser el mismo tanto para los levantamientos de superficie, como en los del interior de la mina; será un sistema local de coordenadas rectangulares, orientado astronómicamente. Este sistema será propagado a través de triangulaciones o poligonales con medición electrónica de distancias (EDM) de precisión, y se relacionará a las obras mineras por poligonales cuando el acceso sea por socavones, o por *plomeos* cuando su acceso sea por tiros.

III.1.4. Transportación de la meridiana.

Un plomeo, lo podemos definir como el conjunto de operaciones involucradas en la transportación de rumbos, coordenadas y elevaciones al interior de una mina por un tiro vertical.

Los levantamientos que se llevan a cabo en el interior de las minas, se orientarán midiendo el rumbo de uno de sus lados. En los planos antiguos, es común encontrar defectos de orientación, que generalmente son fuente de grandes errores; cuando no se tiene una buena orientación, no es posible conocer de manera precisa la ubicación y alcance de las excavaciones subterráneas, con respecto a lo que hay en la superficie, como los límites de la concesión, edificaciones, predios vecinos, etc.; tampoco es posible resolver en un plano defectuoso los problemas de rompimiento.

Los métodos de orientación son muy diversos, pudiendo agruparse en los siguientes:

- ✓ **Procedimientos magnéticos.**
- ✓ **Procedimientos óptico-mecánicos.**

✓ Procedimientos giroscópicos.

Estos métodos se utilizarán tomando en cuenta el equipo del que se dispone para realizar esta tarea, además de los requerimientos de tiempo y precisión.

III.1.4.1. Procedimientos magnéticos.

En el caso de los procedimientos magnéticos (figuras III.3 (a) y III.3 (b)), el problema consiste en determinar, con la mayor precisión posible, el azimut de una línea "O-A" en la superficie, y una línea "O-a" en el interior de la mina, de manera que se tenga un punto común "O", a través de la deducción del ángulo a-O-A que forman ambas, proyectadas en un plano horizontal.

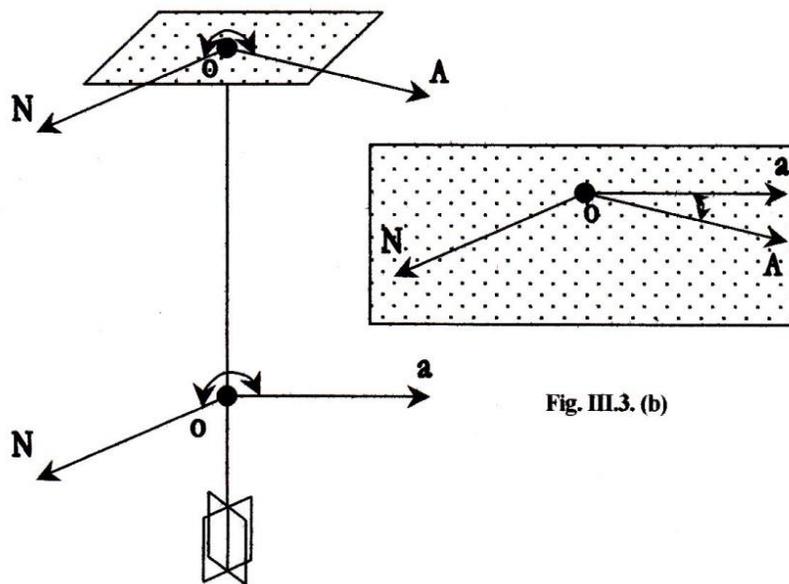


Fig. III.3. (a)

Fig. III.3. (b)

Generalmente, para este tipo de operaciones deben emplearse un teodolito y una brújula simultáneamente, con el objeto de leer los azimutes o rumbos con vernier. Es

importante señalar que el operador, al centrar el aparato para la determinación del rumbo, debe procurar hacerlo en puntos que con la mayor probabilidad estén libres de toda influencia magnética, para que al establecer la correspondencia entre las líneas “O-a” y “O-A”, pueda obtenerse una posición precisa de ambos planos.

Algunos instrumentos que se utilizan para realizar esta clase de orientaciones son la brújula de mina, la brújula Brunton o tránsito de bolsillo, la declinatoria, el teodolito brújula y el magnetómetro.

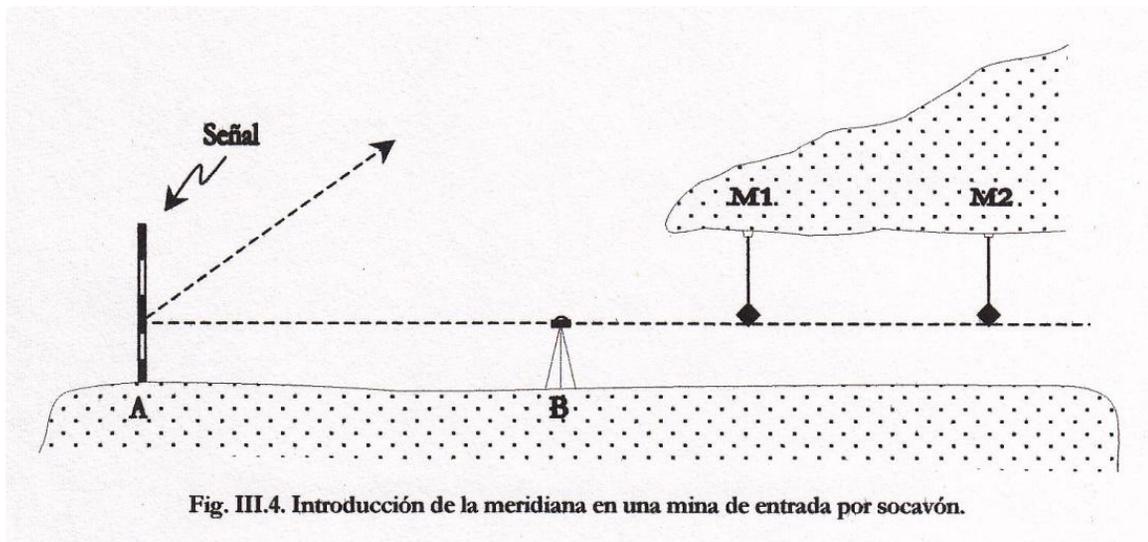
III.1.4.2. Procedimientos óptico-mecánicos.

Para ciertas operaciones que reclaman mayor precisión, los procedimientos magnéticos resultan insuficientes, debiendo entonces utilizarse una poligonación, en cuyo caso, habrá que buscar el ángulo que forme una recta en la superficie con otra del interior. Existen muchas maneras de realizar esto; a continuación se explican algunas de ellas.

III.1.4.2.1. Comunicación con el exterior por medio de un socavón.

Como se indica en la figura III.4, entonces, el problema de realizar la introducción de la orientación astronómica a la mina es muy sencillo, ya que existe la posibilidad de fijar en la parte exterior del terreno estacas designadas en el dibujo con las letras A y B, de modo que B esté colocada en una posición tal que al centrar el teodolito en ella pueda observarse con toda claridad la entrada a la galería.

De esta manera, la línea A-B debe estar orientada por cualquiera de los procedimientos conocidos. Se instala el aparato en el extremo B de la línea orientada y se mide el ángulo A-B-M1, con lo que será posible calcular el rumbo astronómico de la línea B-M1; después, se pasa el instrumento al interior y se centra y nivela bajo la plomada colgada del machote M1, se mide el ángulo B-M1-M2, y se calcula el rumbo astronómico M1-M2, mismo que servirá de partida para la propagación de los azimutes astronómicos de las demás líneas, definidas por los machotes o taquetes colocados en el interior de la mina.



III.1.4.2.2. Comunicación con la superficie por uno o varios tiros.

Si la mina se comunica con la superficie por uno o varios tiros, el problema requiere una solución un tanto más complicada, y para efectuar la introducción de la meridiana astronómica a su interior, se consideran los siguientes casos:

III.1.4.2.2.a. Cuando el tiro se encuentra en perforación.

Cuando el tiro se encuentra en perforación y, por lo tanto, es posible tener la situación que se presenta en la figura III.5., en la que se aprecia la posibilidad de centrar el instrumento en el fondo del tiro y en un punto tal que desde él se haga visible la plomada suspendida en el machote M1.

Cuando la condición enunciada es posible, sobre el brocal del tiro se fijan dos travesaños en los que se señalan dos puntos como "A" y "B", lo más alejados posible uno del otro, de manera que en ellos se puedan suspender plomadas que lleguen hasta la proximidad del fondo del tiro.

Estas plomadas se caracterizan por tener contrapeso de forma especial, como se puede apreciar en la figura; con el fin de reducir sus oscilaciones; las plomadas ya suspendidas se

introducen en recipientes que contengan aceite quemado o cualquier otro líquido cuya viscosidad sea mayor que la del agua, para frenar, en lo posible su movimiento, pero sin forzarlas a mantener una posición que conduciría a eventuales errores en el procedimiento.

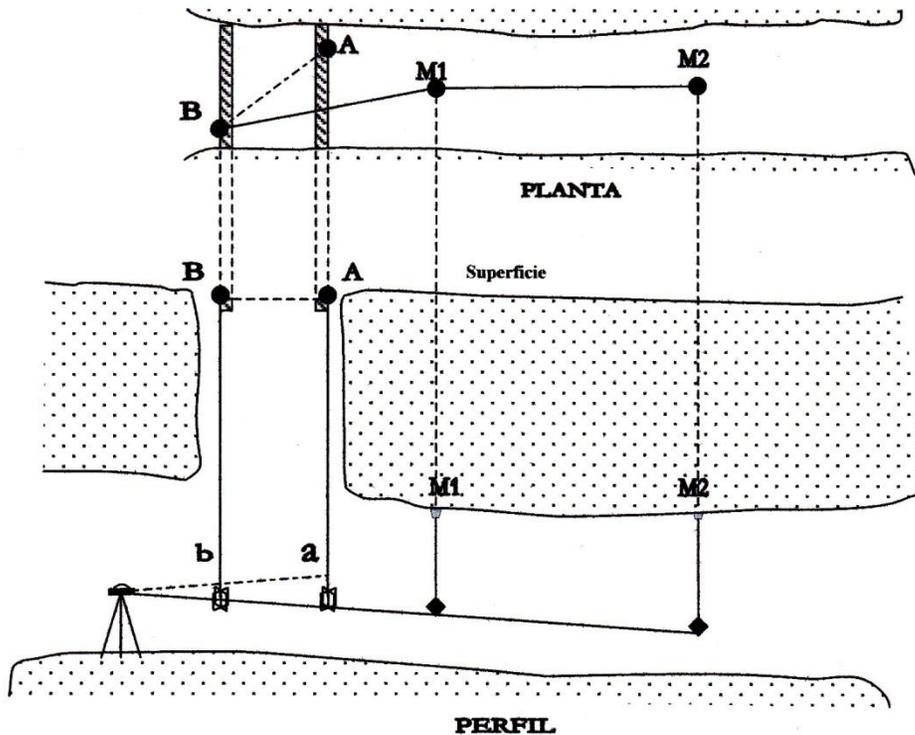


Fig. III.5.

Una vez que han sido suspendidas las plomadas hasta el fondo del tiro, se empotran en las paredes del mismo dos vigas de madera, en forma tal, que sus caras de mayor amplitud queden en contacto con el hilo de las plomadas sin interferir en su movimiento, y cuando el movimiento del hilo se hace isócrono, se aprecia si las oscilaciones de las plomadas son todas de igual amplitud haciendo uso de un lápiz con punta afilada, marcando sobre la cara de cada una de las vigas las posiciones extremas del hilo de las plomadas, observando si en las continuas oscilaciones los hilos llegan hasta las marcas puestas. Cuando esta condición se verifica, se determina el punto medio entre las dos marcas, y en dicho punto se coloca un clavo que en la figura III.5 está representado por los puntos "a" y "b"

correspondientes a cada viga. Materializados estos puntos y haciendo a un lado las grandes plomadas, desde ellos se suspenden pequeñas plomadas, cuyas oscilaciones serán prácticamente nulas.

Comprobada la correspondencia vertical de los puntos A-a y B-b, se procede a determinar el rumbo astronómico de la línea a-b, que por ser igual al de la línea A-B que está en la superficie es fácil de conocer, pues basta con ligar angularmente esta última línea con cualquiera de las líneas de los deslindes o levantamientos superficiales, cuya orientación astronómica haya sido previamente determinada, para que el azimut astronómico correspondiente a A-B pueda ser conocido y, consecuentemente, el de la línea a-b, pues ambas líneas deberán coincidir en sus extremos.

La precisión con que se hayan realizado estas operaciones se verifica al medir la distancia a-b que tendrá forzosamente que ser la misma que la longitud de la línea A-B en la superficie.

Una vez efectuadas las operaciones anteriores, se centra el instrumento bajo la plomada suspendida en el punto b, y ya nivelado, se mide el ángulo a-b-M1, con el cual se puede calcular el azimut de la línea b-M1, partiendo del rumbo ya conocido de la línea a-b.

Conocido el rumbo astronómico de la línea b-M1, se hace estación con el aparato bajo la plomada suspendida en el machote M1; centrado y nivelado en este punto, se mide el ángulo b-M1-M2 con lo que se está en condiciones de conocer el azimut o el rumbo astronómico de la línea M1-M2, que propagando a las demás líneas del levantamiento interior de la mina, nos permite llegar a determinar los rumbos astronómicos de todos y cada uno de los lados del levantamiento.

III.1.4.2.1.b. Comunicación con la superficie por un solo tiro.

Supongamos ahora que se trata de efectuar la introducción de la meridiana astronómica a una mina teniendo entrada por un solo tiro, además de que el plomeo se va a efectuar desde un nivel intermedio y no como en el caso anterior, en el que es posible colocar el instrumento en el fondo del tiro.

En este caso, supondremos también que los puntos A y B están situados sobre el brocal del tiro, de manera que la línea por ellos determinada puede ser ligada con cualquier otra línea de los levantamientos superficiales que haya sido previamente orientada con relación a la meridiana astronómica.

Determinada esta primera condición, desde los puntos A y B se suspenden plomadas en el tiro, recordando que los hilos deberán guardar la mayor separación posible; a continuación, y suponiendo que la introducción de la meridiana astronómica se va a realizar partiendo del nivel que se indica en la figura III.6, se centra y nivela el aparato bajo la plomada suspendida en el machote M1 y con una lectura de $0^{\circ} 00' 00.0''$ en el círculo horizontal, se dirige la visual hasta observar el nudo o señal puesta en el punto "b" de la plomada situada más a la izquierda, fijando en esta posición el movimiento general del instrumento. A continuación, soltando el movimiento particular se dirige la visual hasta el nudo o señal en "a" puesta sobre el hilo de la plomada que está suspendida en el punto A de la superficie.

Efectuadas las operaciones indicadas, hemos logrado determinar el valor del ángulo b-M1-a, midiendo al mismo tiempo las distancias a-M1 y b-M1, así como el ángulo b-M1-M2; con estos datos obtenidos se dispone de los elementos suficientes para resolver el triángulo b-M1-a por el procedimiento trigonométrico correspondiente al problema de calcular los elementos de un triángulo cualquiera cuando se conoce el valor de dos de sus lados y del ángulo que forman (Ley de los Cosenos).

Una vez calculado el valor de los ángulos a-b-M1 y b-a-M1, se dispone de los elementos para calcular los rumbos astronómicos de las líneas a-M1 y b-M1. Para conocer la precisión que se obtuvo con este procedimiento, se mide la distancia A-B que separa los hilos de las plomadas en la superficie, misma que deberá ser igual a la distancia a-b.

Se calculan los rumbos de las líneas b-M1 y a-M1 como se indica, y ya conocido el valor de los ángulos a-M1-M2 y b-M1-M2 se puede calcular el rumbo astronómico de la línea M1-M2 que servirá de partida para la propagación de los rumbos astronómicos a las líneas definidas por los demás machotes situados en el interior de la mina.

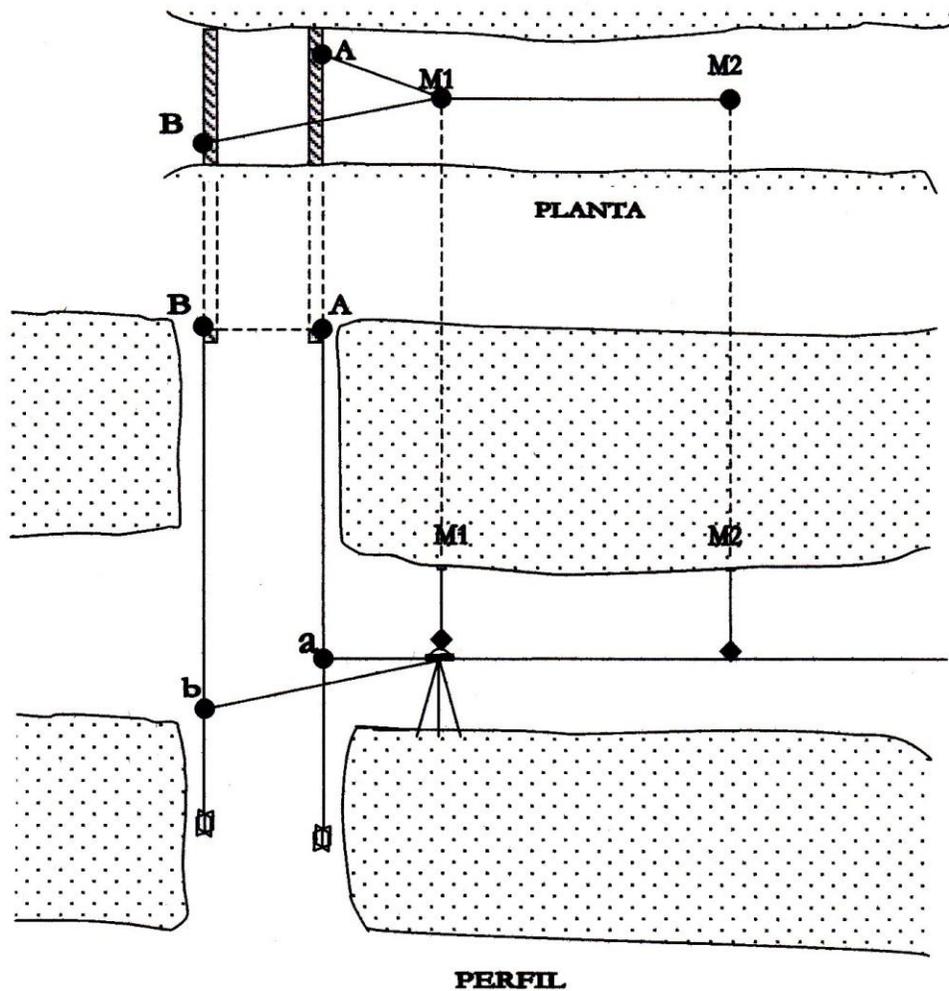


Fig. III.6.

En el caso de que sólo se tenga acceso por un solo tiro, puede emplearse cualquiera de los procedimientos siguientes:

- a. Este procedimiento consiste en utilizar una sola estación en el fondo de un tiro, alineado el teodolito con las dos plomadas P1 y P2. Colocadas las dos plomadas como en el caso de la fig. III.8., se coloca el teodolito "T" cerca de ellas y alineado con las mismas, es decir, en el plano de azimut conocido. Se toma un ángulo en que puedan fijarse dos puntos permanentes, como se muestra en la fig.III.8., marcados con las letras A y B, como base de referencia de los azimutes en el interior.

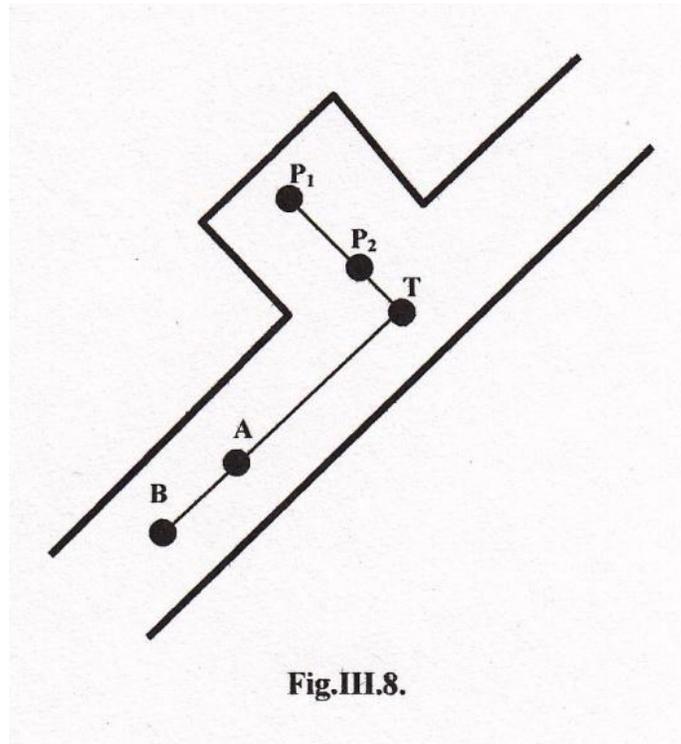


Fig.III.8.

De este modo, el levantamiento bajo tierra queda referido al mismo meridiano que el de la superficie.

Es muy importante proceder con el mayor esmero al alinear el teodolito con las dos plomadas, ya que un pequeño error en la orientación dentro del tiro, da lugar a un error considerable en la posición de los puntos, mientras más alejados estén del mismo.

- b. Otro método consiste en estacionar el aparato en un punto T, y mediante el método de repetición o de vuelta al horizonte reiterada se visan las plomadas suspendidas en los puntos P₁ y P₂, y un punto alejado M, midiendo los ángulos γ y δ .

El ángulo ω , que es la diferencia que existe entre la dirección de la línea TM y la de P₁P₂, es igual a $\delta - \alpha$, y en el triángulo tenemos:

$$\text{sen } \alpha = \frac{P1 \bullet T}{P1 \bullet P2} \bullet \text{sen } \gamma$$

Entonces, el azimut TM será igual a: $Az TM = Az P_1P_2 + \omega$

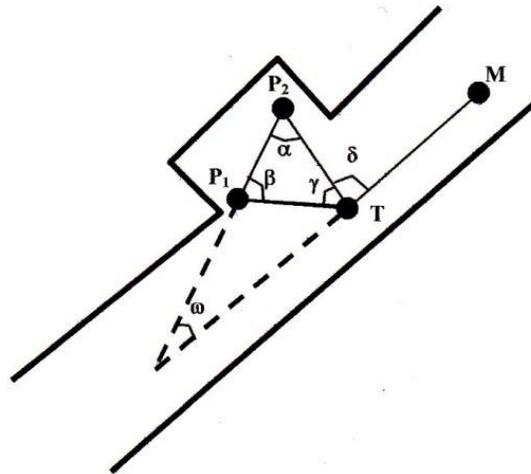


Fig.III.9.

Este procedimiento requiere conocer la longitud de las líneas P_1T y P_1P_2 . Estas medidas son poco cómodas e imprecisas por su pequeña longitud; basta con un error de un milímetro o de décimas de milímetro, para que el ángulo α varíe hasta por minutos. Se recomienda pues, evitar utilizar este procedimiento, y emplear otro en su lugar.

- c. Este método consiste en hacer dos estaciones en el fondo; es el caso más favorable y si las condiciones lo permiten. Las estaciones T_1 y T_2 están a un lado y otro de la alineación de las dos plomadas P_1P_2 (fig. III.10.).

Con este procedimiento se evitan todas las medidas de longitud en el cálculo del azimut T_1T_2 .

Aplicando la Ley de Senos en los triángulos P_1T_1O y P_2T_1O , tendremos:

$$\frac{OT_1}{\text{sen}(\omega - \alpha)} = \frac{OP_1}{\text{sen}\alpha} \text{ y } \frac{OT_1}{\text{sen}(\omega + \beta)} = \frac{OP_2}{\text{sen}\beta}$$

De donde:

$$\frac{OP1}{OP2} = \frac{\text{sen } \alpha \bullet \text{sen}(\omega + \beta)}{\text{sen } \beta \bullet \text{sen}(\omega - \alpha)} \quad \text{--- (1)}$$

Aplicando nuevamente la Ley de Senos en los triángulos P_1OT_2 y P_2OT_2 , tendremos:

$$\frac{OT2}{\text{sen}(\omega - \delta)} = \frac{OP2}{\text{sen } \delta} \text{ y } \frac{OT2}{\text{sen}(\omega + \gamma)} = \frac{OP1}{\text{sen } \gamma}$$

De donde:

$$\frac{OP1}{OP2} = \frac{\text{sen } \gamma \bullet \text{sen}(\omega - \delta)}{\text{sen } \delta \bullet \text{sen}(\omega + \gamma)} \quad \text{--- (2)}$$

Igualando las ecuaciones (1) y (2), tendremos:

$$\frac{\text{sen } \alpha \bullet \text{sen}(\omega + \beta)}{\text{sen } \beta \bullet \text{sen}(\omega - \alpha)} = \frac{\text{sen } \gamma \bullet \text{sen}(\omega - \delta)}{\text{sen } \delta \bullet \text{sen}(\omega + \gamma)}$$

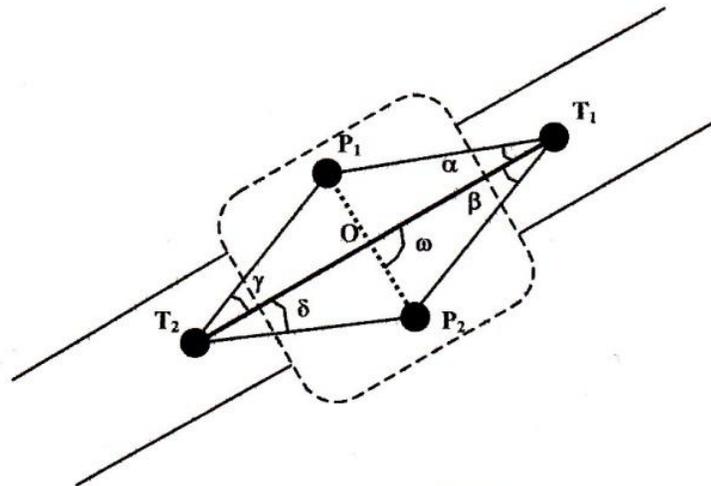


Fig.III.10.

Que es la relación que existe entre el ángulo desconocido ω y los ángulos medidos a partir de las estaciones T_1 y T_2 , en donde podemos observar que se han eliminado las longitudes.

Desarrollando la igualdad anterior, y dividiendo los dos términos de la primera igualdad por $\text{sen}\alpha$, $\text{cos}\omega$, $\text{sen}\beta$, y los dos términos de la segunda igualdad por $\text{sen}\gamma$, $\text{cos}\omega$, $\text{sen}\delta$, y simplificando, tendremos:

$$\text{Tan}\omega = \frac{\cot g\alpha + \cot g\beta + \cot g\gamma + \cot g\delta}{\cot g\alpha \cdot \cot g\delta - \cot g\beta \cdot \cot g\gamma}$$

- d. Existe otro método que consiste en el empleo de tres plomadas. Las plomadas P_1 , P_2 y P_3 , se colocarán alineadas y equidistantes. Esta operación puede realizarse haciendo pasar los hilos de las plomadas por unos agujeros hechos en una vigueta de acero colocada horizontalmente sobre la boca del tiro, y con orientación conocida en el exterior (fig. III.11.).

Deberán visarse las tres plomadas desde la estación T , elegida para estacionar el teodolito a una distancia TP_2 del doble de la separación de los hilos extremos P_1P_2 , aproximadamente.

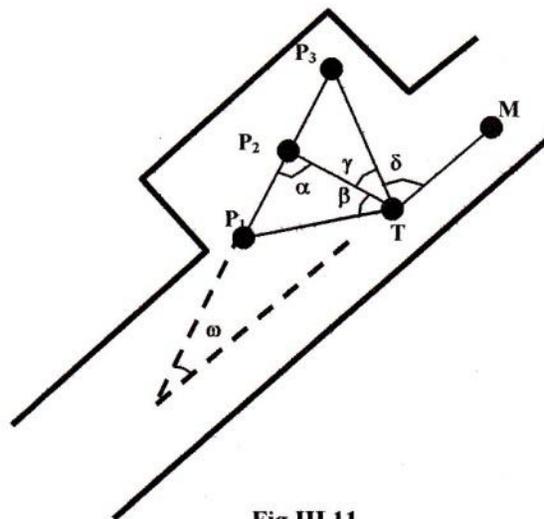


Fig.III.11.

El ángulo ω de la dirección TM de partida, con la dirección de la línea $P_1P_2P_3$, es igual a:

$$\omega = \gamma + (\delta - \alpha)$$

Con lo que entendemos que hallando la magnitud del ángulo α tendremos resuelto el problema, por tanto, midiendo los valores de los ángulos β y γ , podemos escribir:

En el triángulo TP_2P_3 :

$$\frac{P_2P_3}{\text{sen } \gamma} = \frac{TP_2}{\text{sen}(\alpha - \gamma)} \quad \text{--- (1)}$$

En el triángulo TP_1P_2 :

$$\frac{P_1P_2}{\text{sen } \beta} = \frac{TP_2}{\text{sen}(\alpha + \beta)} \quad \text{--- (2)}$$

Dividiendo estas dos igualdades, tendremos:

$$\frac{P_2P_3 \bullet \text{sen } \beta}{P_1P_2 \bullet \text{sen } \gamma} = \frac{TP_2 \bullet \text{sen}(\alpha + \beta)}{TP_2 \bullet \text{sen}(\alpha - \gamma)}$$

Y como $P_1P_2 = P_2P_3$, por construcción, tendremos:

$$\frac{\text{sen } \beta}{\text{sen } \gamma} = \frac{\text{sen}(\alpha + \beta)}{\text{sen}(\alpha - \gamma)}$$

De donde:

$$\text{sen } \beta \bullet \text{sen}(\alpha - \gamma) = \text{sen } \gamma \bullet \text{sen}(\alpha + \beta)$$

Desarrollando la igualdad:

$$\begin{aligned} \operatorname{sen} \beta \cdot \operatorname{sen} \alpha \cdot \cos \gamma - \operatorname{sen} \beta \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{sen} \gamma &= \operatorname{sen} \gamma \cdot \operatorname{sen} \alpha \cdot \cos \beta + \operatorname{sen} \gamma \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{sen} \beta \\ \operatorname{sen} \alpha (\operatorname{sen} \beta \cdot \cos \gamma - \cos \beta \cdot \operatorname{sen} \gamma) &= \cos \alpha (\operatorname{sen} \beta \cdot \operatorname{sen} \gamma + \operatorname{sen} \gamma \cdot \operatorname{sen} \beta) \end{aligned}$$

$$\frac{\operatorname{sen} \alpha}{\cos \alpha} = \frac{(\operatorname{sen} \beta \cdot \operatorname{sen} \gamma + \operatorname{sen} \gamma \cdot \operatorname{sen} \beta)}{(\operatorname{sen} \beta \cdot \cos \gamma - \cos \beta \cdot \operatorname{sen} \gamma)}$$

$$\tan \alpha = \frac{2 \operatorname{sen} \beta \cdot \operatorname{sen} \gamma}{\operatorname{sen}(\beta - \gamma)}$$

El ángulo δ puede medirse, con lo que tendríamos todos los elementos necesarios para calcular el azimut de la línea TM.

III.1.4.2.1.c. Cuando la mina tiene acceso al exterior por dos tiros.

Cuando la mina tiene acceso al exterior por dos tiros, el problema se resuelve de manera diferente. Suponiendo que los dos tiros que dan acceso a la mina son los que se encuentran marcados en la figura III.7 por las letras T1 y T2, los cuales por lo general, no son visibles uno del otro.

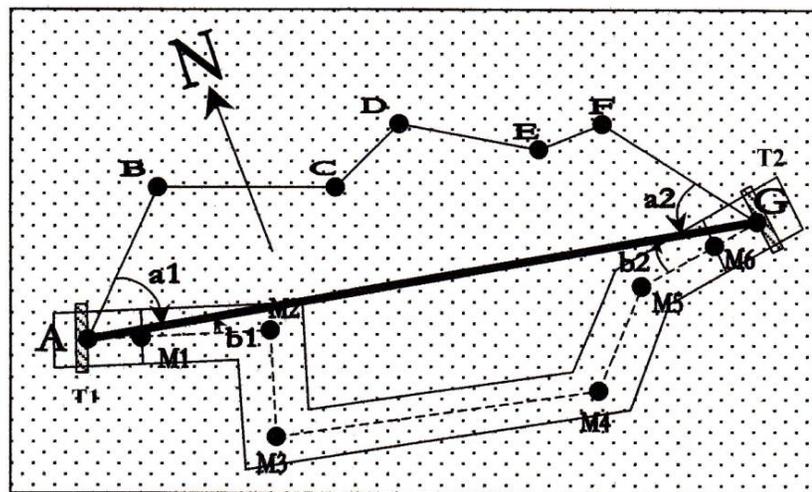


Fig. III.7.

Para efectuar la introducción de la meridiana astronómica en esta mina suspendemos en el tiro T1 una plomada desde un punto "A", situado convenientemente y otra plomada en el tiro T2, desde un punto "G". A continuación, se lleva una poligonal abierta en la superficie, desde el vértice A hasta el vértice G; en la figura, la poligonal superficial está marcada por las letras A-B-C-D-E-F-G, en esta poligonal, el rumbo de uno de sus lados se determina astronómicamente por cualquier procedimiento conocido, calculando además las proyecciones horizontales de cada uno de sus lados y las coordenadas de sus vértices refiriéndolas al sistema general de coordenadas de la mina.

Determinadas las coordenadas de los puntos A y G en que fueron suspendidas las plomadas, se calculan el rumbo o el azimut, y la longitud de la línea A-G, que **indiscutiblemente** quedará orientada astronómicamente.

Una vez conocidos estos elementos, se pasa al interior de la mina, y partiendo del machote M1, situado en el nivel que más convenga, se sigue una poligonal que tenga como punto de partida el hilo de la plomada suspendida del punto A, es decir, que centrado y nivelado el aparato en el punto M1, con una lectura de $0^{\circ}00'00.0''$ en el limbo horizontal, se dirige el anteojo con el movimiento general hasta lograr que el hilo vertical de la plomada esté en coincidencia con el hilo de la plomada, fijando el movimiento general en esta posición; se hace girar el anteojo por medio de su movimiento particular, hasta bisecar la punta de la plomada suspendida del machote M2, con lo que se mide el ángulo A-M1-M2, determinando también las distancias A-M1 y M1-M2. Se miden las demás líneas y los ángulos de la poligonal subterránea, y por último y estando colocado el aparato en el punto que determina el machote M6, se mide el ángulo M5-M6-G, además de la distancia M6-G.

Obtenidos los datos de la poligonal levantada en el interior de la mina, y para poder calcular las coordenadas correspondientes a cada uno de sus vértices, como no se conoce el rumbo astronómico de ninguno de los lados, se hace necesario emplear un artificio que consiste en dar una orientación arbitraria a cualquiera de sus lados que resulte ventajoso en las operaciones de cálculo, por lo que esta línea se puede tomar como *línea base*; generalmente, se toma el lado más largo de la poligonal interior, que en la figura está

marcado por los puntos M3-M4. En consecuencia, con relación a esta **meridiana arbitraria y provisional**, se calcula el rumbo de todos y cada uno de los lados, y como también conocemos las distancias de estos lados, se tienen todos los elementos para calcular las proyecciones y las coordenadas de los vértices de esta poligonal dentro de un sistema arbitrario de coordenadas cartesianas. Algunas veces, el rumbo provisional se toma de un rumbo medido con brújula, para que las correcciones no sean muy grandes.

Con los resultados obtenidos, es fácil obtener la longitud y el rumbo arbitrario de la línea A-G, teniendo en consideración que esta longitud deberá ser igual a la obtenida para la misma recta a través de la poligonal superficial; la discrepancia entre estos dos valores nos dará una idea de la precisión obtenida.

Del análisis de la figura III.7, se observa que es posible considerar a las poligonales A-B-C-D-E-F-G y A-M1-M2-M3-M4-M5-M6-G proyectadas en un mismo plano horizontal y, en consecuencia, partiendo de los rumbos astronómicos de la poligonal superficial se pueden calcular los valores reales de los ángulos a_1 y a_2 , lo mismo que, partiendo de los rumbos arbitrarios de la segunda poligonal, se pueden calcular los valores reales de los ángulos b_1 y b_2 , por lo que si al azimut astronómico del lado A-B le sumamos el ángulo (a_1+b_1) , nos quedará determinado el azimut astronómico del lado A-M1, con lo que se pueden calcular todos los rumbos astronómicos de la poligonal llevada en el interior de la mina, cuya comprobación se logra al igualar el valor obtenido para el lado M6-G con el procedimiento anterior, con el que se obtenga para este mismo lado, en función del azimut astronómico de la línea F-G y el ángulo (b_2+a_2) .

III.1.4.2. Procedimientos giroscópicos.

El giróscopo es un aparato ideado por León Foucault en 1852 para demostrar que la rotación de un cuerpo en la superficie de la Tierra, basta para indicar la dirección de la meridiana y obtener la latitud de un lugar sin efectuar observación astronómica alguna.

Los primeros tipos de giróscopos no pasaron de ser curiosos juguetes para físicos y matemáticos, siendo en 1914 cuando Hassman esbozó la teoría de los modernos

giróscopos, encauzando a la determinación de azimutes sobre la tierra.

Hubo, en principio, muchas dificultades para la adopción del giróscopo en la Topografía, debido fundamentalmente, al gran peso y volumen que tenían, y a la dificultad de posiciones simultáneas del eje del rotor del giróscopo y el de colimación del teodolito; por otra parte, las precisiones que se alcanzaban no eran suficientes para cubrir las necesidades topográficas.

Hace aproximadamente treinta años, apareció un nuevo instrumento, el giroteodolito o teodolito giroscópico, que permite obtener sin cálculos laboriosos, el azimut de cualquier dirección en poco tiempo, llegándose a conseguir precisiones de hasta cinco segundos.

Indudablemente, el mayor inconveniente de este instrumento es su precio elevado; no obstante, hay circunstancias en las que su empleo no tan solo es aconsejable por su sencillez y rapidez, sino incluso, puede llegar a ser rentable comparado con los métodos clásicos de la misma precisión. Una de las ventajas que presenta, es que facilita el control de líneas alejadas de los puntos de control de cada nivel, lográndose verificar el control que se lleva por las poligonales.

En cuanto a la propagación de las cotas al interior de una mina a través de un tiro, se hará una nivelación con cinta de acero, compensada por su propio peso, o con distanciómetro cuando las condiciones ambientales y topográficas lo permitan. Deben realizarse nivelaciones diferenciales rutinarias entre los puntos de control, teniendo un banco de nivel para verificar las cotas de las fichas o de los demás puntos.

III.2. Métodos de Minado Subterráneo¹.

Las características físicas que dictan la elección de un método de minado subterráneo, pueden agruparse como sigue:

1. Resistencia del mineral y de la roca encajonante.

¹ CORTÉS Pérez, Ernesto. *“Control topográfico en diferentes sistemas de minado”*

2. Tamaño, forma y ángulo de buzamiento del depósito mineral.
3. Profundidad del depósito y naturaleza del encape.
4. Continuidad de la mineralización dentro de los límites del cuerpo de influencia de la geología en la estructura de las rocas.
5. Posición del depósito con relación a instalaciones superficiales, drenaje y otras obras subterráneas.

III.2.1. Resistencia del mineral y de la roca encajonante.

La resistencia estructural tanto del mineral como de la roca encajonante, es una de las primeras características que deberán ser analizadas, antes de proceder a la excavación de las diferentes secciones del depósito, con objeto de determinar las dimensiones más adecuadas de las obras mineras que se requerirán para una operación segura, el lapso de tiempo que éstas podrán permanecer abiertas con seguridad, o el tipo de soporte que necesitarán.

III.2.2. Tamaño, forma y ángulo de buzamiento del depósito.

La morfología de los cuerpos minerales varía de masivo a tabular y de mantos a chimeneas, dentro de los cuales se pueden presentar *clavos*, diques y cuerpos diseminados, que aparecen en función de la historia geológica y de las características de la roca huésped a partir de la cual se formaron. De acuerdo con la posición espacial del depósito, se determinará el método que se empleará para minarlo.

III.2.3. Profundidad del depósito y naturaleza del encape.

Frecuentemente, conforme se incremente la profundidad de los trabajos, el método de explotación debe ser cambiado o modificado, debido a que los huecos producidos requieren de más soporte. Depósitos poco profundos soportan pequeñas columnas de carga

producidas por los macizos rocosos localizados encima de ellos, por lo que estarán sujetos a presiones litostáticas relativamente bajas. Estas presiones litostáticas ejercidas sobre las obras subterráneas, además de las presiones tectónicas y residuales, se incrementan proporcionalmente con la profundidad. Es muy importante, entonces, llevar con cuidado los planos en donde se muestren las cotas de cada obra.

III.2.4. Continuidad de la mineralización dentro de los límites del cuerpo e influencia de la geología en la estructura de las rocas.

De la misma manera que el tamaño, la forma y regularidad del contorno, la continuidad de los valores y otras características geométricas del depósito mineral, tienen una influencia determinante en los problemas de soporte de las obras durante la etapa de explotación.

III.2.5. Rebajes Naturalmente Soportados.

Los rebajes naturalmente soportados, también conocidos como *aberturas autosoportadas*, son excavaciones subterráneas en las cuales las cargas dinámicas ejercidas por el macizo rocoso circundante sobre la abertura, son soportadas por las paredes de la obra o por pilares labrados sobre la misma roca. Se clasifican genéricamente en: *rebajes abiertos* y *salones y pilares*.

III.2.5.1. Rebajes abiertos.

Un *rebaje abierto* es una obra o abertura subterránea de donde ha sido extraído el mineral valioso que alojaba, y en donde no se requiere hacer uso de madera, ni de ningún otro material de soporte para mantenerla abierta. Los rebajes abiertos se clasifican en dos tipos: *aberturas aisladas* o rebajes individuales, y *aberturas con pilares* o rebajes múltiples.

III.2.5.2. Aberturas aisladas.

Una abertura aislada o individual es un rebaje sin pilares, es una obra subterránea sin soporte, que esencialmente se localiza fuera de la zona de influencia de otros trabajos subterráneos vecinos. Se puede incluir dentro de este tipo de rebajes, el cuele de obras específicas, tales como tiros, frentes de desarrollo y excavaciones para proyectos de ingeniería civil (túneles, cámaras subterráneas para estaciones hidroeléctricas, etc.).

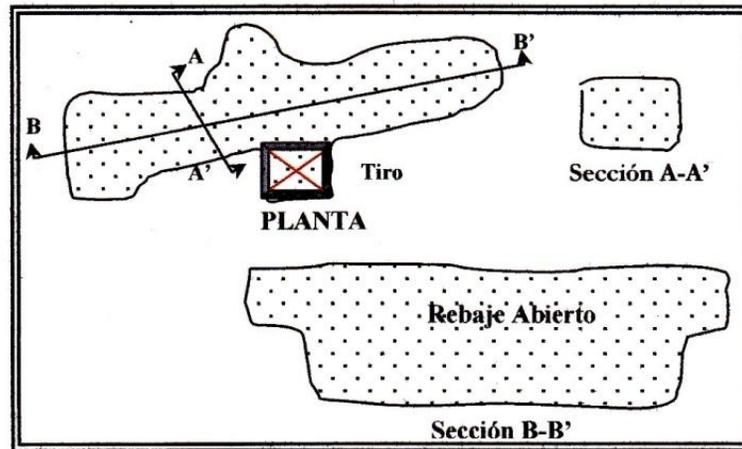


Fig. III.12. Abertura Aislada

En general, el cuele de rebajes individuales puede realizarse en cualquier tipo de roca, cuyas características estructurales y mecánicas lo permitan. El *claro* máximo que puede ser minado en un rebaje abierto individual, dependerá de la profundidad del depósito y de los parámetros físicos y geológicos de la roca que rodea al cuerpo mineralizado.

III.2.5.3. Aberturas con Pilares.

Para mantener la estabilidad de algunas obras muy grandes, es necesario el uso de alguna clase de soporte dentro del depósito, y si este soporte consiste en dejar áreas sin excavar en la propia abertura, el sistema de minado se designa como *rebaje abierto con pilares*.

III.2.5.4. Rebajes abiertos con pilares casuales.

La aplicación de este sistema de minado se utiliza en los casos en que el mineral se encuentra en *bolsas* o *lentes mineralizados*, especialmente si la ley del mineral y/o la potencia del depósito es variable. Cuando sea posible, los pilares deberán dejarse en mineral pobre o estéril. También se utiliza en mantos y vetas angostas, relativamente anchas, que profundicen con cualquier ángulo de buzamiento menor de 45° , es decir, a un ángulo tal que el mineral fracturado no rueda por efecto de gravedad.

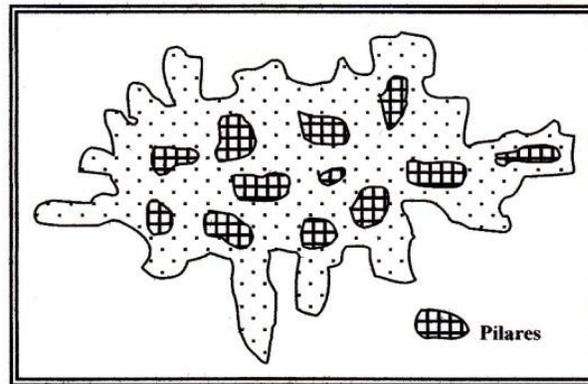


Fig. III.13. Rebaje Abierto con Pilares Casuales

III.2.5.5. Rebajes abiertos con pilares regularmente distribuidos.

Generalmente el uso de este sistema es el más conveniente para la explotación de mantos y vetas de gran extensión, en las cuales tanto la ley como la potencia del cuerpo son relativamente uniformes; tanto el contorno de la sección transversal y el tamaño de los pilares, como el espaciamiento entre ellos son uniformes.

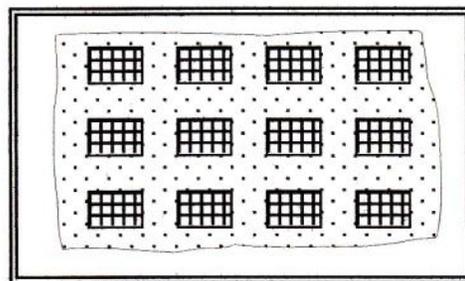


Fig. III.14. Rebaje Abierto con Pilares Regularmente Distribuidos

En estos sistemas se proporcionará el control horizontal y vertical de los niveles que se encuentren arriba y abajo del nivel del rebaje. Debe llevarse con mucho cuidado la ubicación y el control de los contrapozos que sirvan como camino, para dar servicios y para ventilación, así como el control de rumbos en el rebaje. Es muy importante llevar un cuidadoso control de las dimensiones y del espaciamiento de los pilares, ya que de ellos depende la estabilidad de toda la obra. El levantamiento se realizará mediante secciones transversales y longitudinales a cada cinco metros, y a través de ellas podrán calcularse los volúmenes y tonelajes del mineral extraído.

III.2.5.6. Salones y Pilares.

El diseño para un arreglo de *salones* o *cuartos* y *pilares*, es esencialmente el mismo que para un sistema de rebajes abiertos con pilares regulares, con la excepción de que el primero se encuentra limitado a depósitos relativamente planos y horizontales. La sección geométrica de los pilares se aproxima al círculo o a la elipse, ensanchándose en la parte superior e inferior para incrementar el área de contacto con el techo y con el piso.

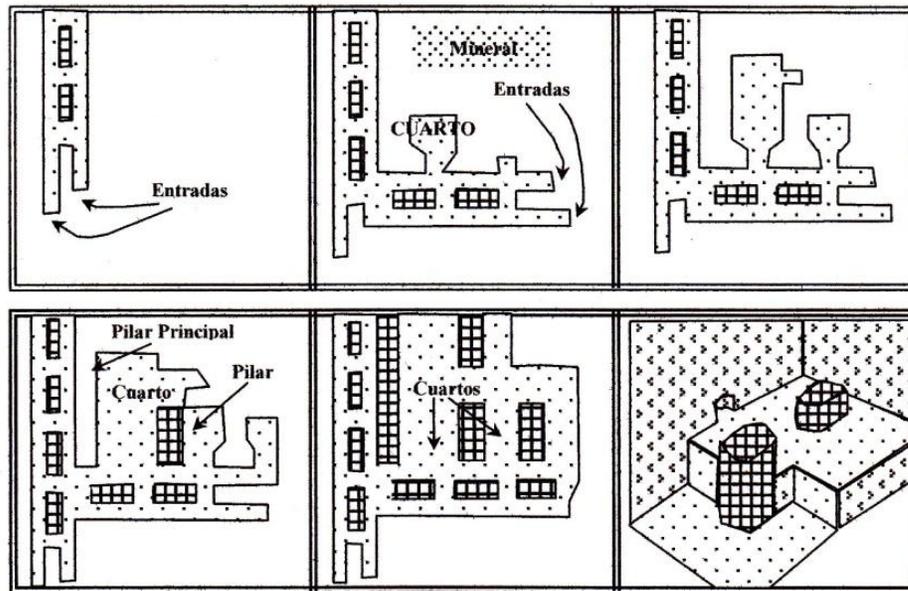


Fig. III.15. Salones o Cuartos y Pilares

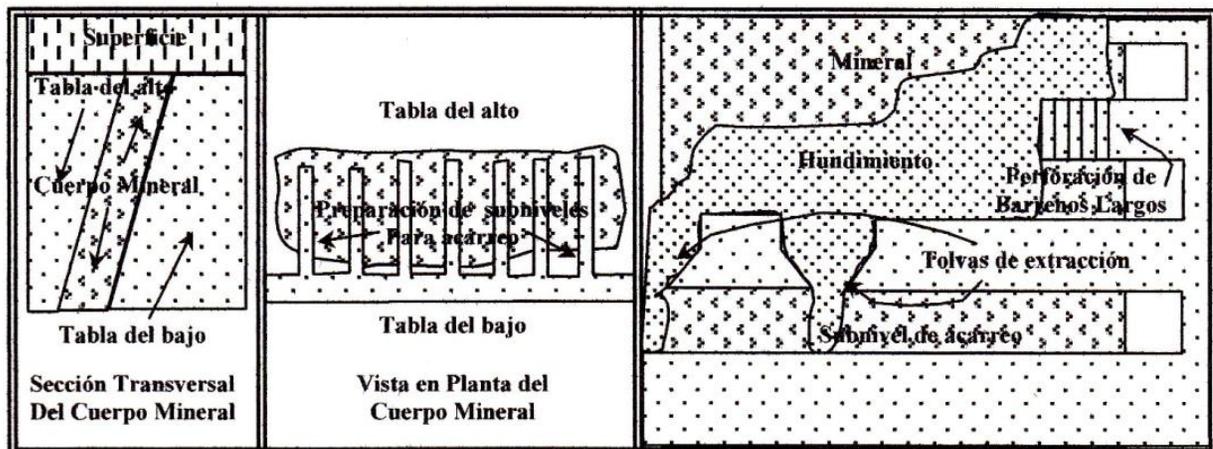
El método se desarrolla mediante el minado de una retícula de frentes y cruceros en la etapa preparatoria, para después continuar el tumbe con el ensanchamiento de los paneles formados por la retícula. El tumbe de ampliación continuará hasta dejar una zona sin minar, que pasará a constituir los pilares con las dimensiones, forma y posición calculadas previamente.

En este sistema de minado, debe llevarse el control, tanto horizontal como vertical de las obras de preparación, o sea, de las frentes y de los cruceros, marcando los cuartos que se explotarán, y los cruceros entre los pilares. Deben controlarse también, la pendiente y el nivel del piso del rebaje, así como del límite hundido.

III.2.5.7. Tumbe por Subniveles.

El método de tumbe por subniveles se emplea en la explotación de vetas anchas y angostas, con buzamiento muy pronunciado. Se emplea con dos tipos de configuraciones básicas para la explotación de los rebajes: *transversal* y *longitudinal*.

En ambas configuraciones, el mineral es tumbado a partir de subniveles colocados previamente como obras de preparación, realizando cortes de piso en forma de banco por medio de abanicos de barrenación, colocados de abajo hacia arriba y de subnivel a subnivel.



En cualquiera de los dos casos, el mineral deberá rodar o caer por gravedad hacia las tolvas de captación, y de ahí a los cruceros de extracción colados a la altura del nivel inferior de acarreo y perpendiculares a éste.

Los rebajes longitudinales son empleados en la explotación de vetas angostas con gran ángulo de buzamiento, en donde los subniveles (y posteriormente los rebajes) se colarán en forma paralela al rumbo del depósito, con longitud limitada por la extensión del cuerpo.

Para depósitos muy anchos (de más de 20 m), lo usual es emplear la variante de rebajes transversales, en donde las obras se excavan en forma perpendicular al rumbo del cuerpo, limitados en longitud por el ancho o potencia del depósito mineral.

Tanto en uno como en otro métodos, debe proporcionarse el control de las plantillas de barrenación de diamante, para que las *tronadas* se hagan con la máxima eficacia, cuidando la ubicación del cuerpo mineral. Se requiere dar control horizontal y vertical de las frentes de acarreo y de las frentes de preparación de minado, control de cubicación del mineral extraído, ubicar y determinar posibles afectaciones que se pudieran presentar en superficie.

III.2.5.8. Tumbe Sobre Carga.

El método de *tumbe sobre carga* es aplicable a vetas anchas o angostas con buzamiento pronunciado. Es básicamente un sistema en el cual una porción del mineral tumbado se acumula dentro del rebaje, hasta que se termina su explotación.

El incremento de volumen debido al *abundamiento* del mineral tumbado y fracturado dentro del rebaje, requiere que una fracción de éste (entre el 30 y 50%) sea *rezagada* periódicamente durante las operaciones de producción, a través de contrapozos (chutes) o por medio de cruceros de extracción, con objeto de mantener un espacio de trabajo adecuado entre el piso (formado por el mineral tumbado) y la cabeza del rebaje, para poder continuar el minado ascendente del mineral.

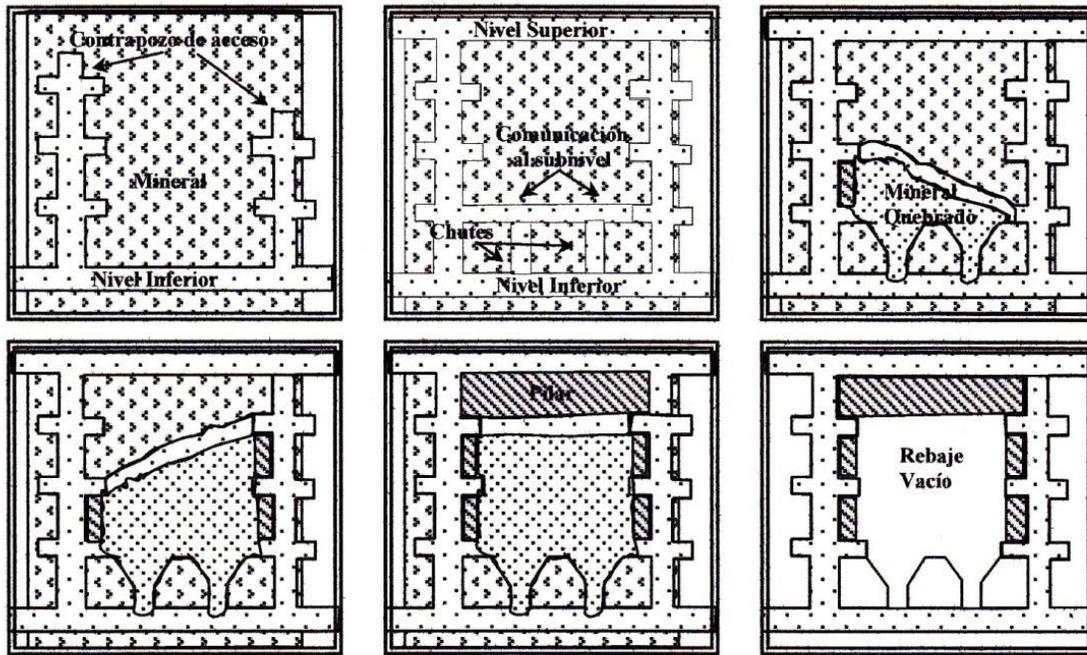


Fig. III.17. Vista en Sección Longitudinal del Sistema de Tumba Sobre Carga

Para el óptimo desarrollo de este método debe llevarse un estricto control, tanto horizontal como vertical, de los niveles superior e inferior, y de los contrapozos laterales y de servicios. Es muy importante conocer con precisión la ubicación de los contrapozos de extracción, para poder dar el control necesario en el subnivel de preparación, y llevar un buen control de los volúmenes extraídos; para hacer la cubicación, se llevarán a cabo secciones, tanto transversales como longitudinales, a cada 5 m, dentro del rebaje. Debe vigilarse con especial cuidado, la protección y ubicación de los pilares de protección para los contrapozos laterales, y el pilar de protección del nivel superior.

III.2.6. Rebajes Artificialmente Soportados.

Una abertura soportada se puede definir como aquella obra en la cual una parte significativa de la carga o del peso de la roca circundante, es sostenida por algún sistema de soporte artificial (por ejemplo: puntales, marcos, relleno, arcos, trancas, postes hidráulicos, etc.).

III.2.6.1. Corte y Relleno.

Este sistema de minado en sus tres modalidades (con relleno de tepetate, con relleno de gravas y arenas de arroyos, y con relleno hidráulico de jales), es el más indicado para el minado de vetas, mantos y de cuerpos mineralizados cuyos ángulos de buzamiento sean mayores al de reposo del material fragmentado que contengan.

Para su aplicación, primero se prepara el rebaje delimitando la zona de explotación por medio de dos niveles y dos contrapozos; a esta operación se le denomina *bloqueo del rebaje*. Una vez delimitado el rebaje, se procede a ejecutar las obras de preparación que consisten fundamentalmente en el *cuele* de un subnivel de 3 a 5 m por encima del nivel inferior, dependiendo del tamaño del rebaje, el *cuele* de las tolvas de extracción, y el *cuele* de uno o más contrapozos a partir del subnivel de preparación hasta el nivel superior cuya función será la de ventilación, camino de acceso y *chorreaderos* del material de relleno que proviene de fuera del rebaje.

Los trabajos de explotación propiamente dichos, iniciarán con cortes ascendentes a todo lo largo y ancho del rebaje, iniciando a partir de los contrapozos extremos e intermedios. Una vez realizados los cortes de cabeza (cortes en la parte superior, techo o cielo del rebaje), se procede a efectuar la extracción del mineral quebrado producto de tales cortes, a través de las tolvas que previamente se colaron en el pilar inferior de protección.

Una vez que el mineral quebrado se ha extraído, se procede a rellenar con material estéril el hueco que ocupó, para proporcionar un nuevo piso de operación y continuar con otro corte de cabeza. Antes de depositar el material de relleno, deben “levantarse” los contrapozos de extracción; éstos, deberán “crecer” a medida que los cortes y rellenos avancen en su trayectoria ascendente.

Cuando los contrapozos de extracción alcanzan la altura deseada, se procede a *chorrear* y *aplanillar* el material de relleno, que es lo que proporcionará el soporte de los esfuerzos ejercidos sobre la obra.

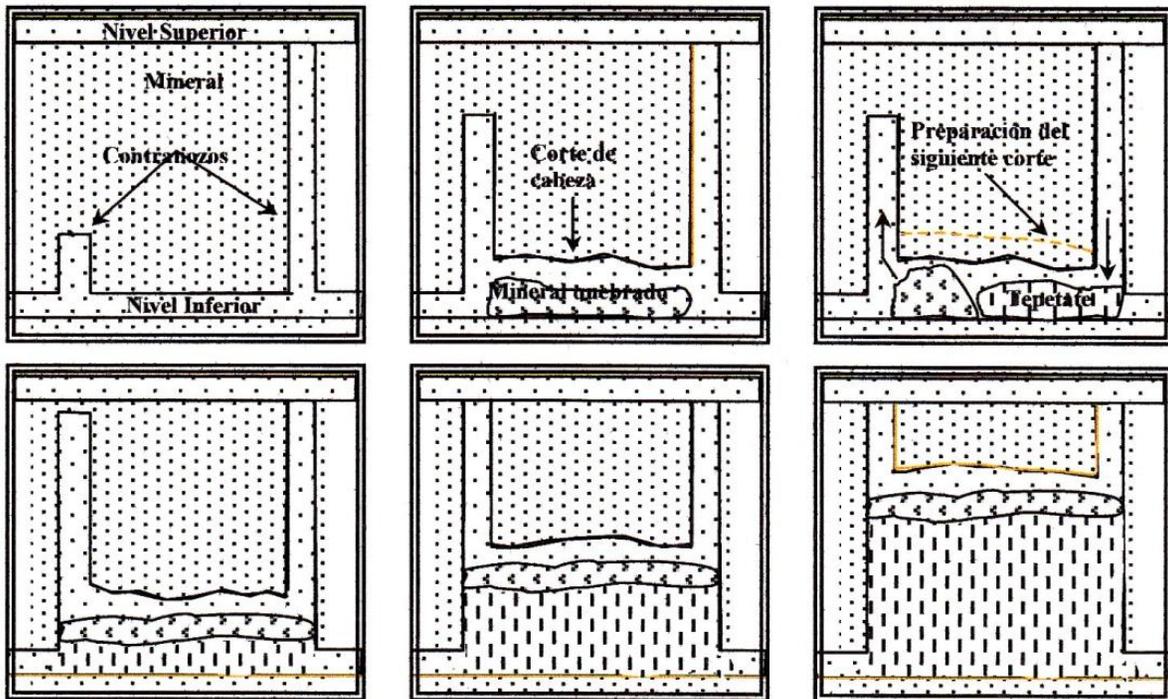


Fig. III.18. Vista en Sección Longitudinal del Sistema de Corte y Relleno

Debe llevarse un buen control, tanto horizontal como vertical, de los niveles superior e inferior, y de los contrapozos, haciendo notar que el rumbo de éstos deberá ser vigilado con especial cuidado. Si existen rampas de acceso, debe cuidarse que sigan el proyecto, y que respeten los pilares. Cuando se avanza con el relleno, se controlan los pisos del rebaje, y los contrapozos de extracción de mineral, y deberá proporcionarse el control y ubicación de los barrenos que servirán para realizar las obras destinadas a comunicaciones y servicios.

III.2.6.2. Frentes Largos.

El minado de frentes o paredes largas, se emplea fundamentalmente en la extracción de carbón, aunque ha sido aplicado también en el minado de minerales metálicos. Se aplica en depósitos con potencias variables de 0.90 a 2.40 m, con ángulos de buzamiento de hasta 12°, localizados a profundidades de 900 m o más, siempre y cuando el material del techo de la obra se presente en estratos delgados horizontales y relativamente incompetentes, y que se hundan o subsidan libre y totalmente por detrás de la línea de soporte.

Debido a que casi la totalidad del manto mineralizado es extraído, la roca encajonante del techo debe hundirse para ocupar el hueco dejado por el material minado.

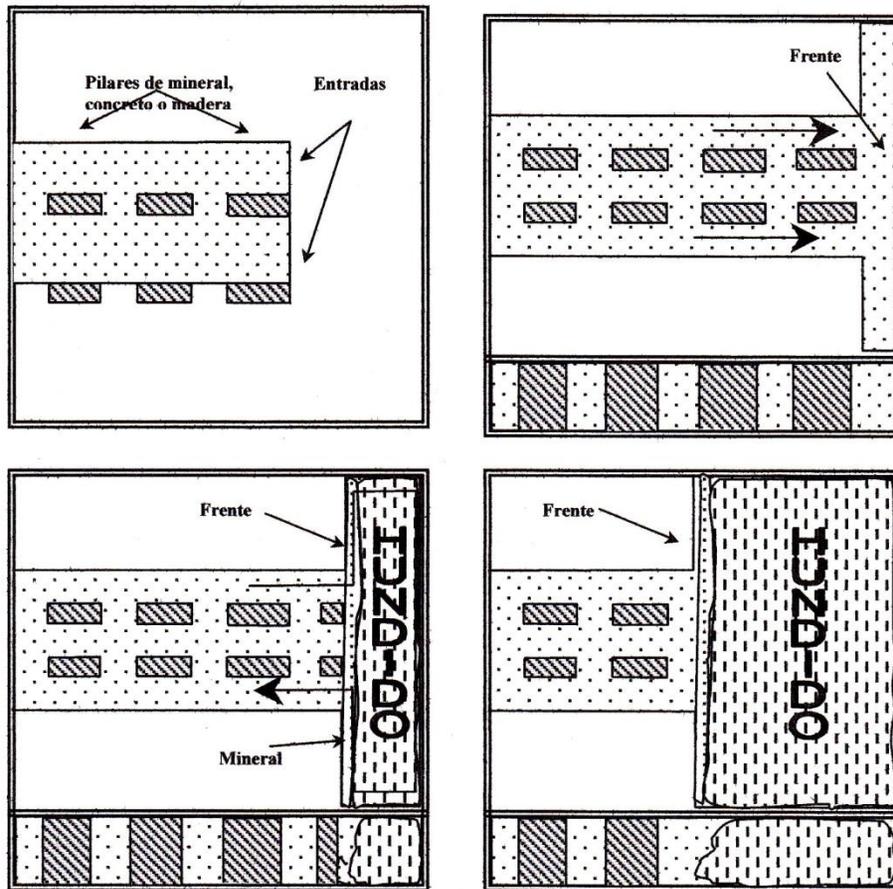


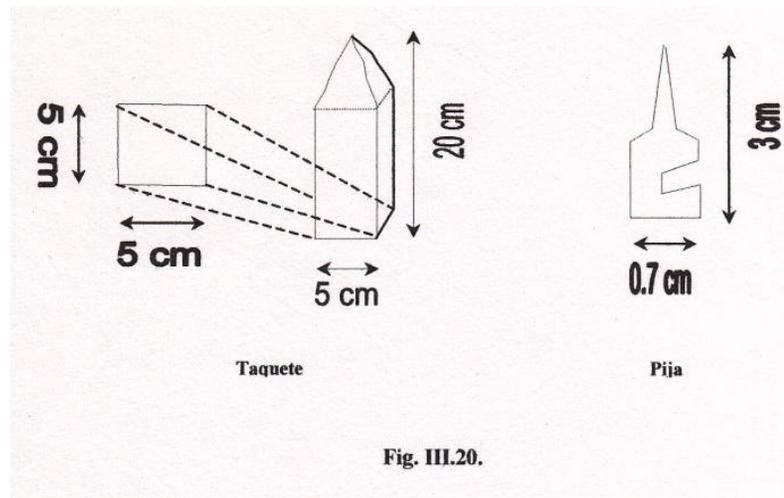
Fig. III.19. Vista en planta y perfil del método de frentes largas

III.3. Levantamiento de Obras Mineras.

Los levantamientos en el interior de las minas presentan algunas particularidades, debido entre otras causas a las condiciones de iluminación, temperatura, humedad, existencia de polvo, gases nocivos, espacios reducidos y por los que, con frecuencia, circulan vehículos o existe maquinaria en movimiento, levantamiento de puntos de difícil acceso, en los que a menudo resulta imposible situar una señal de puntería, etc.

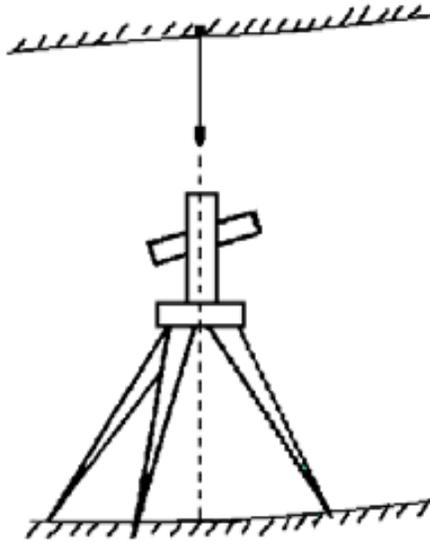
Para llevar a cabo los levantamientos en el interior de una mina subterránea, deben tenerse puntos de control topográfico; éstos se ubican, generalmente, en el cielo de las galerías, ya que el paso de las maquinarias y del personal podría hacerlas desaparecer. Existen puntos permanentes y puntos temporales (*taquetes o fichas*), que irán marcando los controles horizontal y vertical necesarios para llevar las obras según el diseño programado.

Estos puntos están marcados físicamente por barrenaciones en las que se empotran taquetes de madera con una pija al centro, sobre la cual se suspenderá el hilo de la plomada (fig. III.20).



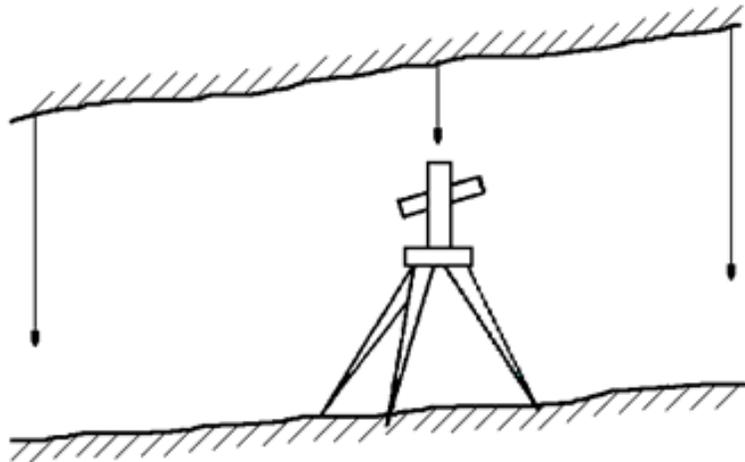
Al fijarse estos puntos, se procura que las visuales sean lo más largas posible, y que permitan instalar el aparato con comodidad. Las fichas o plogas deben numerarse con cierto método, sobre todo cuando los trabajos incluyen obras o galerías en diferentes niveles. En este caso, pueden numerarse las del primer nivel con los números 1001, 1002, etc., las del segundo nivel con los números 2001, 2002, etc., y así sucesivamente.

La puesta en estación se realiza, generalmente, con relación a una plomada que cuelga de un punto situado en el techo de la labor. La plomada debe estar en la prolongación del eje principal del instrumento.



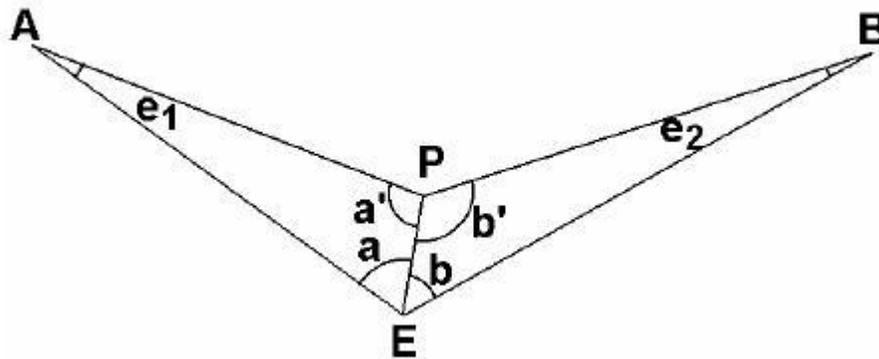
Muchos instrumentos llevan una señal o un pivote para indicar el centro del anteojo. Si situamos el anteojo en posición horizontal, esta señal nos indicará el punto sobre el que debe estar la plomada para conseguir la puesta en estación.

Para medir el ángulo entre ejes de un itinerario se sitúan plomadas en los tres puntos que lo definen, es decir en los puntos que marcan nuestra estación y las estaciones anterior y siguiente.



El levantamiento puede hacerse por cualquiera de los métodos empleados en los levantamientos de poligonales en superficie, aunque se recomienda el método de conservación de azimutes, para obtener directamente los azimutes de los lados levantados.

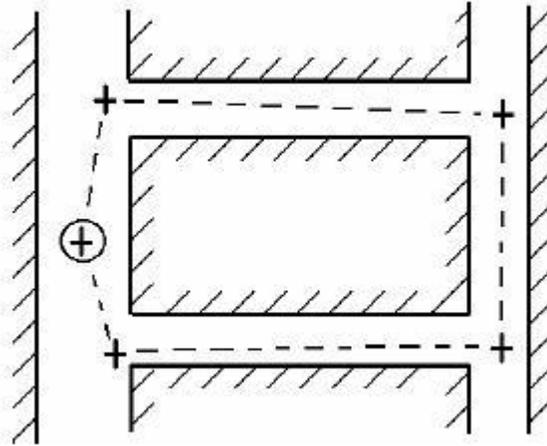
Si interesa calcular el ángulo interior, se puede hacer por diferencia de lecturas o, directamente, haciendo cero en la visual hacia atrás. Cuando no sea posible estacionar en el punto E previsto (por existir escombros, agua, inicio de una labor, etc.) lo haremos en un punto P lo más próximo posible y desde el que sean visibles las estaciones anterior A y siguiente B. Aplicaremos la reducción al centro de estación para calcular los ángulos a y b y las distancias DEA y DEB que se habrían medido de haber podido estacionar en E.



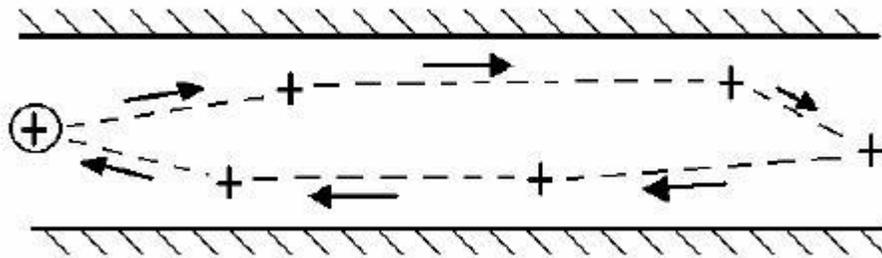
Tras estacionar en P visamos a los puntos A y B, determinando los ángulos a' y b' y midiendo las distancias PA y PB. También se mide la distancia EP. En todos los casos nos referimos, naturalmente, a distancias reducidas. Resolviendo los dos triángulos formados, de cada uno de los cuales conocemos dos lados y el ángulo comprendido, podremos calcular los ángulos a y b y las distancias EA y EB, que nos interesan.

Las poligonales de interior se realizan y se calculan del mismo modo que los de exterior. Pero en este caso las dificultades son mayores, como se ha indicado, debido al elevado número de ejes, a su reducida longitud y a las dificultades de la puesta en estación y de la realización de las mediciones. Es fundamental poner especial atención en la planificación y en la ejecución de estos trabajos para evitar una acumulación excesiva de errores.

Las poligonales cerradas son aquellas en las que el punto final coincide con el inicial. Las aplicaremos siempre que sea posible, estableciendo un recorrido por las labores que interesa levantar hasta volver, por éstas o por otras ya levantadas, al punto inicial.

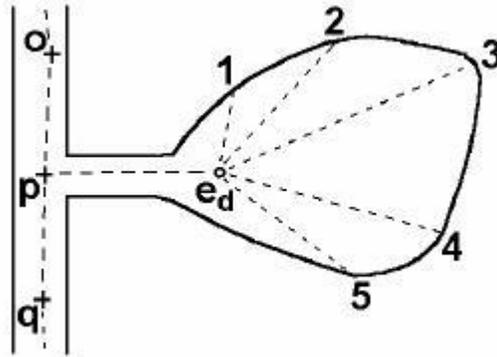


Otras veces se realizan las poligonales cerradas recorriendo una labor en un sentido y volviendo en sentido contrario por la misma labor hasta regresar al punto de estación. El inconveniente de estos itinerarios es que, para realizarlos de forma adecuada, conviene que las estaciones del recorrido de ida sean diferentes de las del recorrido de vuelta, lo que no siempre es factible en labores angostas.

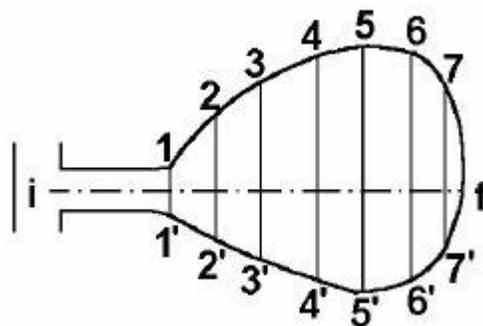


Otro método que se emplea es el de radiaciones, para completar el levantamiento de distintas labores de interior. Se levantarán todos los detalles que deban figurar en los planos de la explotación y también aquellos que puedan ser relevantes para las labores de

investigación (fallas, contactos, etc.) y de planificación minera (secciones, perfiles, etc.). El método de radiación se aplica desde las estaciones de una poligonal de apoyo.



Otro método que es frecuente utilizar es el de secciones transversales, cuando se trata de obras que no requieren una precisión tan grande.



Algunas obras, pueden levantarse de acuerdo con las siguientes especificaciones:

III.3.1. Tiros.

El levantamiento de tiros se hará por medio de plomeos de nivel a nivel; cualquier detalle intermedio se hará con brújula colgante haciendo una poligonal cerrada, y si las condiciones del tiro lo permiten, se levantará con teodolito plomeando a cualquier subnivel de importancia.

III.3.2. Socavones.

Para lograr un buen levantamiento de obras horizontales e inclinadas, y lograr un cierre angular y lineal dentro de tolerancia, se recomienda lo siguiente:

El método para medir ángulos será por deflexiones cuando no se tenga información de las fichas, y por conservación de azimutes en caso de conocerse; se recomienda llevar el segundo porque se puede comprobar el azimut de la obra directamente. Siempre se hará en dos posiciones (directa e inversa), y al mismo tiempo se leerá el ángulo vertical o distancia zenital al nudo de la señal.

Se ubicarán puntos de control topográfico temporales y permanentes, así como puntos de vía en socavones, cruceros y rampas, y cuando se desee que una obra lleve un rumbo determinado se pondrán tapones de rumbo.

III.3.3. Cruceros.

Son obras que se realizan, generalmente, sobre tepetate, con fines de acarreo, o de acceso para comunicación con zonas mineralizadas. En estas obras, el control de rumbos es muy importante, para ello, se colocan los *tapones de rumbo* que son pares de taquetes orientados, que se ubican en el cielo de la obra; su fin es guiar al perforista, haciendo que siga el proyecto establecido, obteniendo así un mejor control de las obras. Los tapones de rumbo se ubican por pares a una distancia de 3 a 5 m uno del otro; el siguiente par estará a una distancia de entre 15 a 25 m del anterior. Los tapones más cercanos a la frente estarán a salvo de las detonaciones a 4 o 5 m del tope.

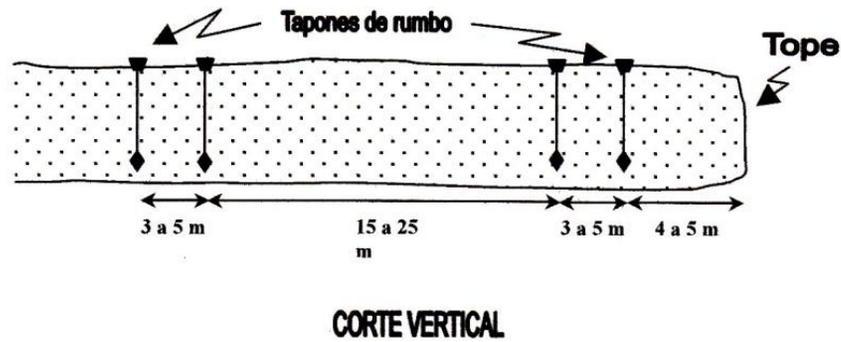


Fig. III.21.

III.3.4. Rampas.

Son obras inclinadas en las cuales, su principal fin es comunicar niveles entre sí, para que la maquinaria tenga mayor campo de acción. El control de pisos en socavones, cruceros y rampas es de gran importancia; para esto, nos ayudamos de *tapones de piso* o de *inclinación*.

Los tapones de piso se utilizan para llevar el control de pendientes de obra, ya sean horizontales o inclinadas; las pendientes varían de 0° a $+0.5\%$ cuando se trata de obras horizontales, en las cuales sólo se desea desalojar el agua de la frente, hasta un $\pm 12.5\%$, que es la pendiente con la cual los equipos motorizados realizan sus tareas sin forzarse ni correr ningún riesgo al efectuar sus funciones. Se pueden marcar rampas cortas de más de $\pm 12.5\%$, pero sólo en casos especiales.

Los tapones de piso se colocan a 1 m de altura del piso de la obra, un par en la tabla derecha y otro par en la tabla izquierda de la obra, y de 15 a 20 m de separación entre par y par.

En todos los proyectos se utilizarán los tapones de piso para señalar o marcar las pendientes, para que el perforista sepa cuánto y hasta donde perforar, con tal de respetar la pendiente que esté proyectada para la rampa en cuestión.

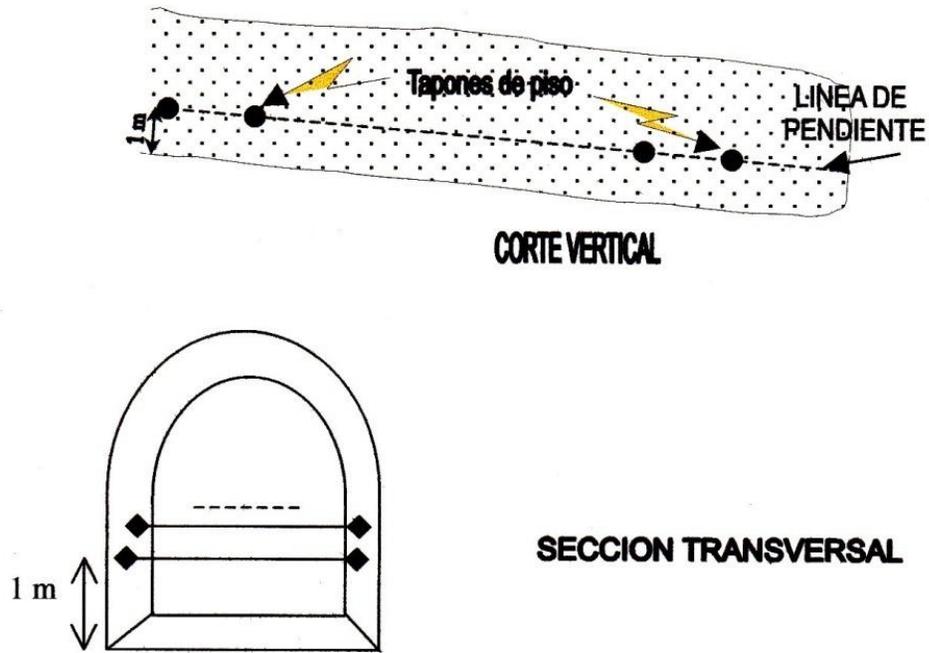


Fig. III.22.

III.3.5. Contrapozos.

El levantamiento de contrapozos implica el empleo de brújula colgante, debido a las condiciones del terreno. En los contrapozos también se ubican tapones de inclinación y rumbo.

Las funciones de un contrapozo en la mina son para dar ventilación de nivel a nivel, para exploración, para chorrear mineral de nivel a nivel, como camino, para hacer preparaciones de rebajes, entre otras.

Para el levantamiento de contrapozos se marcarán puntos de control topográfico temporales, los cuales se verificarán por poligonales cerradas, ligándose con fichas del nivel inferior y del superior.

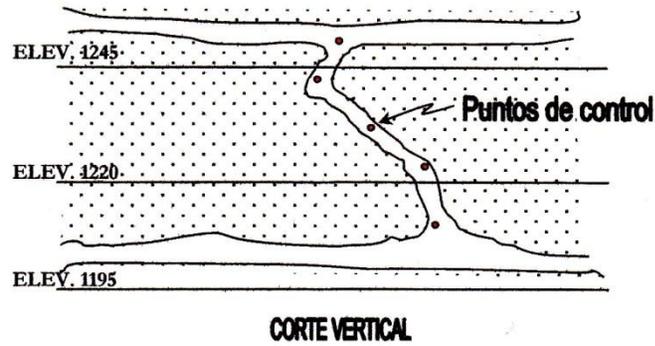


Fig. III.23.

III.3.6. Rebajes.

Un rebaje es el lugar de la veta o cuerpo mineral en el cual se lleva a cabo la explotación del mismo, mediante diferentes métodos a lo largo de toda la veta o cuerpo. El levantamiento de los rebajes se hace con el fin de controlar el avance, la cubicación del mineral extraído y para el cálculo de reservas minerales *in situ*, como mineral extraído.

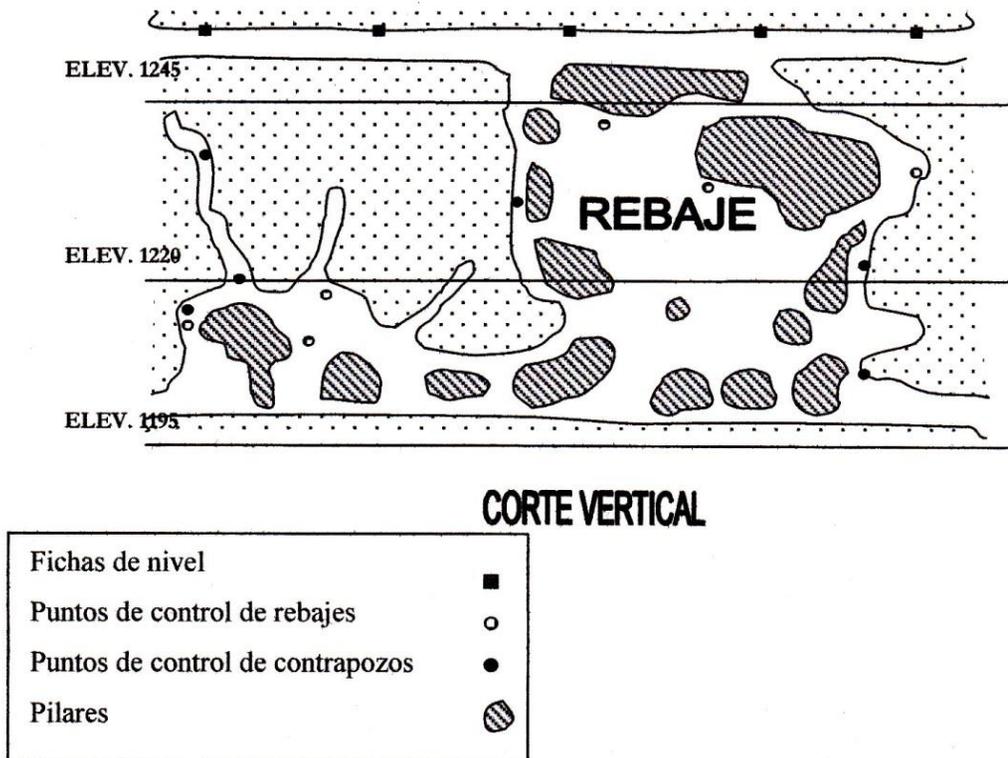


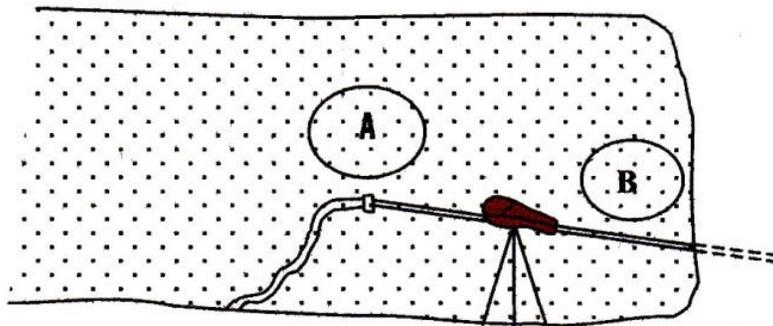
Fig. III.24.

El levantamiento de un rebaje es similar al efectuado en una frente, crucero o contrapozo, salvo la diferencia de los detalles, los cuales se toman perpendiculares y a lo largo de la inclinación en el caso de las vetas. Algunas veces, es conveniente efectuar los levantamientos en rebajes utilizando brújula colgante y clinómetro.

III.3.7. Barrenos de exploración.

En la exploración de cuerpos mineralizados, la utilización de barrenos de diamante es de suma importancia. El levantamiento de barrenos debe tener una buena precisión, porque los resultados obtenidos a partir de los muestreos realizados en ellos, conducen a realizar proyectos al cuerpo o veta intersecado.

El cálculo del rumbo del barreno se calcula de la siguiente forma que a continuación se representa, suponiendo que el caso es el de la figura III.25.



III.3.7.1. Cálculo del rumbo.

Para la línea **A-B**:

$$\text{AngTan} = \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A}$$

III.3.7.2. Cálculo de la distancia horizontal A-B y la inclinación del barreno.

$$DH = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$$

$$\text{Inclinación del Barreno} = \text{AngTan} \frac{\text{Desnivel entre A y B}}{\text{Dist. Horizontal A - B}}$$

IV. CARTOGRAFÍA MINERA.

IV.1. Antecedentes.

Para poder explicar el estado actual de la cartografía minera, es necesario realizar una breve revisión histórica de cómo es que ha ido evolucionando.

La importancia y necesidad históricas que ha habido de una Cartografía Minera en nuestro país, quedan constatadas con la necesidad de ubicar en planos las zonas de exploración y explotación de sustancias minerales, que comenzó desde poco después del descubrimiento de los grandes yacimientos mineros de nuestro territorio, cuando los españoles comenzaron a explotar las primeras minas de plata.

Las primeras disposiciones que surgieron en la Nueva España en materia minera fueron las llamadas del “Nuevo Cuaderno”, expedidas por el Rey Felipe II en 1584, en las cuales se estableció que todo aquel que descubriera un yacimiento tenía que registrarlo ante la Justicia de Minas para que se tuviera conocimiento de las minas existentes.

En 1778, el entonces Virrey de la Nueva España, Don Antonio María de Bucareli y Ursúa, expresó al Rey Carlos III la necesidad de mejorar el estado de la Minería, encargando éste último al Tribunal de Minería de la Nueva España la redacción de las “Reales Ordenanzas de Minería”, también llamadas de “Aranjuez”, que fueron expedidas en 1783. En ellas se estableció que quienes solicitaran pertenencias mineras debían presentar un escrito a la Diputación de Minería, mismo que se inscribiría en el libro de registro que para tal efecto se llevaba.

En 1884 el Congreso de la Unión expidió el Código de Minas de los Estados Unidos Mexicanos, inspirado, fundamentalmente, en las Ordenanzas de Aranjuez, en el que se estableció por vez primera el concepto de “título de concesión minera”, y que serían siempre otorgadas al primer solicitante, siempre que abarcaran terreno libre.

Fue con la Ley Minera de 1909 que se precisó el término “terreno libre”, al señalar ésta que no se considerarían como terreno libre las pertenencias tituladas o respecto a las cuales hubiera denuncia pendiente.

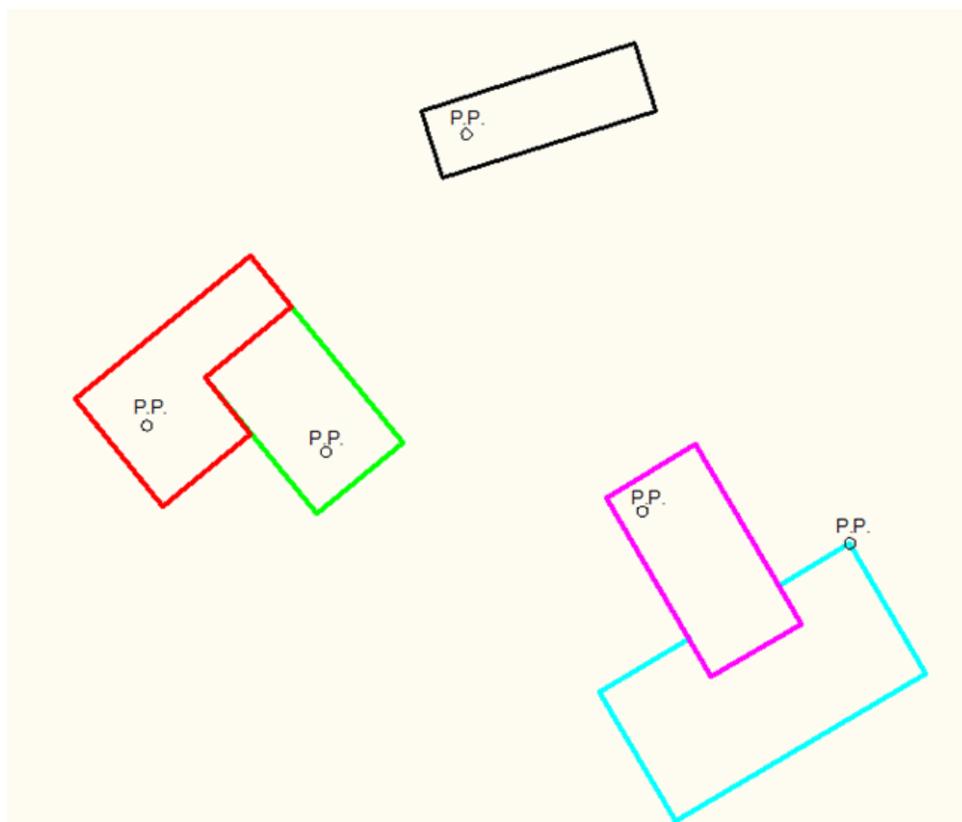
Desde entonces, la Ley de Industrias Minerales de 1926, la Ley Minera de los Estados Unidos Mexicanos de 1930, la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia de Explotación y Aprovechamiento de Recursos Minerales de 1961, la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Minera de 1975 y la Ley Minera promulgada en 1992 por el presidente Carlos Salinas de Gortari, hubieron mantenido el mismo criterio en cuanto a otorgar la concesión al primer solicitante en tiempo de un lote minero ubicado en terreno libre, estableciendo diversos medios y métodos para la localización, medición y deslinde de pertenencias, fundos o lotes mineros, con arreglo a los sistemas e instrumentos de medición más avanzados en cada época.

Sin embargo, a pesar de los múltiples requisitos, instancias y plazos necesarios para otorgar solicitudes de concesión, y de haberse precisado las características de los trabajos periciales requeridos para ubicar los lotes mineros en el terreno, la determinación del carácter libre de los lotes solicitados por parte de la autoridad era deficiente por carecer de una cartografía minera.

De esta forma surge la necesidad de llevar un control sobre los lotes mineros, un verdadero catastro minero, en el que se pudiera registrar la ubicación de los lotes y del terreno libre, con el fin de cumplir de manera eficiente con el principio fundamental de la Ley Minera, ya que la pérdida de tiempo y dinero no son las únicas consecuencias de la falta de una organización adecuada de los recursos.

En un principio, con el fin de llevar a cabo este catastro, los datos que constaban en las solicitudes de concesión o asignación minera se plasmaron en hojas a diversas escalas, sin guardar relación alguna, lo que trajo por consecuencia dilación en el despacho de solicitudes de concesión, múltiples oposiciones de solicitantes o concesionarios con mejores derechos, la expedición de títulos sobre los que había de dictarse posteriormente su nulidad, al igual que numerosos litigios administrativos y judiciales. Esta acción se considera como el inicio de la cartografía minera

Básicamente, se podría hablar de tres etapas o generaciones en la cartografía minera¹. En una primera generación de cartografía minera, el Punto de Partida del lote minero consistía por lo regular en obras mineras existentes: catas, pozos, socavones, tiros, etc., y en algunas ocasiones se construían mojoneras de localización, determinándose la liga entre el Punto de Partida (P.P.) y la Mojonera de Localización (M.L.); su ubicación se hacía mediante referencias físicas del terreno: cerros, poblados, ríos, etc. El P.P. se posicionaba astronómicamente mediante el método de observaciones al sol en dos posiciones, establecido por el Ing. Díaz Covarrubias, que era el método aprobado por la dependencia, y que garantizaba una precisión de 1' de arco. La orientación de los lados de los lotes se hacía con respecto al rumbo de la veta, en múltiplos de 100 m y con ángulos rectos.



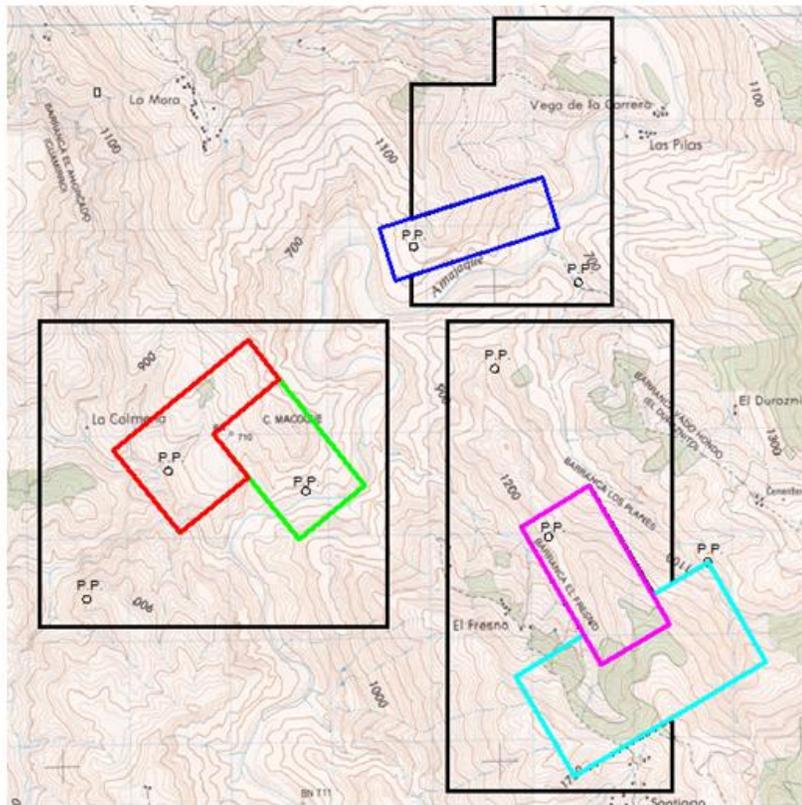
IV.1 Aspecto que presentaba la primera cartografía minera.

¹ MÉNDEZ Nárez, José Luis y MENDOZA Mendoza, José Luis. "La Gradícula Minera". Junio de 2009

En esta primera cartografía no se tenían definidos ni un sistema de coordenadas ni tampoco una cartografía para usar como base. Se utilizaban sistemas de coordenadas locales, o sistemas referidos a triangulaciones locales oficiales, o bien coordenadas geodésicas, pero debido al método de posicionamiento astronómico utilizado que garantizaba una aproximación de 1' de arco, es decir, aproximadamente en un entorno de 1,800 m, la ubicación de los lotes no era precisa y ocasionaba problemas legales.

En una segunda generación de cartografía minera, con la creación, en 1969, de la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL), se comenzó a utilizar como base la cartografía a escala 1:50,000, existente para la República Mexicana.

Para esta segunda generación, los P.P. de los lotes continúan, por lo regular, siendo una obra minera existente, en ocasiones con una M.L., indicándose la liga correspondiente, aunque también se construían mojonearas como P.P.



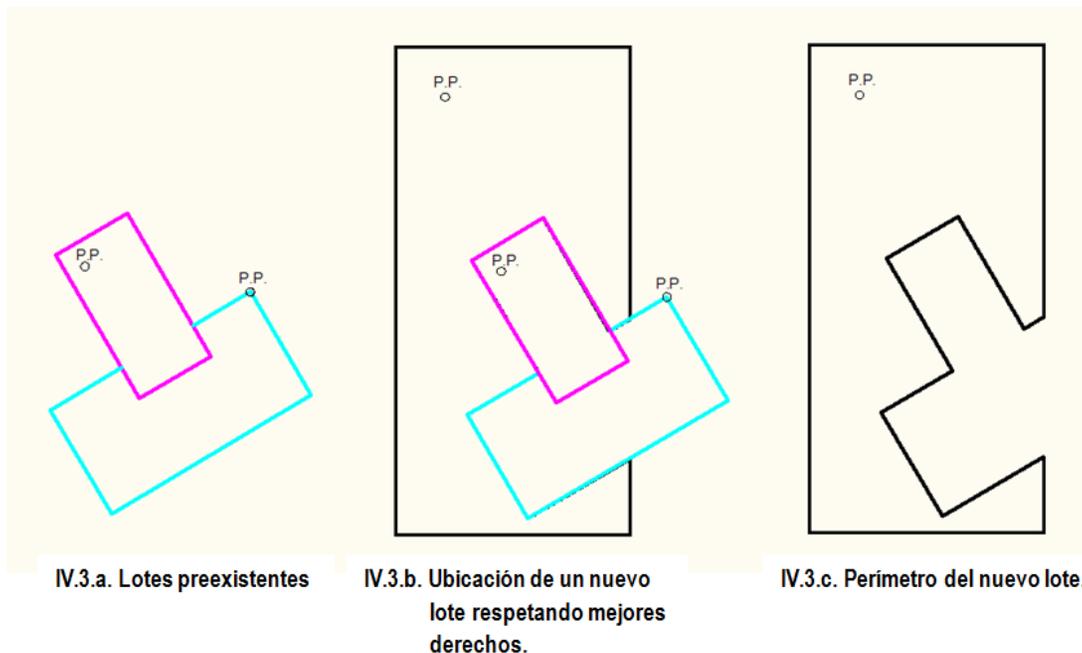
IV.2 Aspecto que presentaba la segunda generación de cartografía minera.

La ubicación del P.P. de los lotes mineros continúa siendo mediante referencias físicas al terreno, o a obras mineras existentes. Los lados de los lotes debían estar dados en múltiplos de 100 m y estar orientados con rumbos francos N-S o E-W.

Las coordenadas del P.P. podían determinarse mediante observaciones al sol, y por la inclusión de teodolitos de mayor aproximación se podían obtener mejores precisiones, sin embargo, el método aprobado por la Ley Minera garantizaba una aproximación de 1' de arco. Además, también se permitía tomar las coordenadas geográficas o UTM de la carta CETENAL correspondiente, y estas coordenadas quedaban asentadas en el título de concesión. El lote debía dibujarse sobre dicha carta.

En esta segunda generación, si bien los lados de los lotes ya debían estar orientados con rumbos francos, algunos lotes presentaban formas irregulares con rumbos distintos, ya que debían respetar los mejores derechos de lotes preexistentes, situación que continúa actualmente.

El uso de obras mineras como P.P. de los lotes traía consigo dificultades como el hecho de que por tratarse de obras en las que se continuaban los trabajos, algunas veces desaparecían o se modificaban. El utilizar coordenadas gráficas medidas a partir de las cartas topográficas, aportaba una gran incertidumbre en la correcta posición del P.P.



Posteriormente, en la tercera generación de la cartografía minera, que correspondería a la cartografía actual, la ubicación del P.P. del lote minero se realiza mediante alguno de los siguientes métodos, consignados en el Manual de Servicios al Público en Materia Minera:

Poligonación: medición directa a partir de una línea base de los ángulos y distancias entre puntos consecutivos que forman una poligonal.

Triangulación: determinación de longitudes de los lados de un sistema de triángulos interconectados a partir de una línea base, por medio de la medición de todos los ángulos.

Lectura autónoma de satélites: lectura de transmisiones radiales provenientes de satélites artificiales por medio de un receptor GPS ubicado en el Punto de Partida.

Lectura de satélites por translocalización: lectura simultánea de transmisiones radiales provenientes de satélites artificiales, mediante dos o más receptores GPS ubicados en el Punto de Control y el Punto de Partida, respectivamente.

Asimismo, el mismo manual señala las características de los elementos de un lote minero; la ubicación del P.P. se da en coordenadas UTM, en coordenadas geodésicas angulares, o bien ortogonales² utilizando las ligas topográficas de Puntos de Control (P.C.) de la Subred Geodésica Minera a los Puntos de Partida de los lotes.

Los lados de los lotes deben estar orientados con rumbos francos N-S y E-W, y deben estar dados en múltiplos de 100 m, salvo en los casos en los que se deban respetar los mejores derechos de lotes preexistentes. Se emplean cartas topográficas de INEGI a escala 1:50,000. La ubicación de los lotes se refiere a rasgos fijos en el terreno como ríos, poblados, cerros, etc.

En esta tercera generación se introducen conceptos geodésicos para la determinación de los puntos de partida de los lotes mineros; ante la ausencia de vértices de primer orden de la Red Geodésica Nacional cercanos a las zonas en explotación o con potencial minero, la

² *Las coordenadas ortogonales son coordenadas topográficas rectangulares derivadas de la liga topográfica de un Punto de Control a un Punto de Partida.*

Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal y el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática suscribieron en mayo de 1991 las bases de cooperación para el establecimiento de puntos de control oficial que integrarían la Subred Geodésica Minera, referida a los datums NAD 27 e ITRF 92; las coordenadas UTM y ortogonales de los P.P. de los lotes mineros se obtienen a partir de los P.C. de la Subred Geodésica Minera.

La liga topográfica de los P.P. se puede hacer por medios topográficos o geodésicos; por lo general, se obtienen las coordenadas UTM con GPS, y posteriormente se calculan las ligas y las coordenadas de los P.P.

Ahora bien, existen algunas dificultades técnicas con la cartografía actual, que podrían enmarcarse como sigue. En primer lugar, encontramos diversos tipos de coordenadas: locales, geográficas, ortogonales o UTM; y, por ejemplo, en las coordenadas geográficas se encuentran todavía aproximaciones al minuto de arco, lo que arroja una incertidumbre en la ubicación correcta del P.P. de, al menos, 1.8 kilómetros aproximadamente.

En segundo lugar, en México, el Sistema Geodésico Oficial desde 1998 había sido el ITRF-923, pero todavía se utiliza el datum NAD 27, y los receptores GPS utilizan el datum WGS 84, y la falta de conocimientos en geodesia por parte de algunos peritos ha ocasionado confusiones en este particular; por si fuera poco, también se tienen dificultades en cuanto a la proyección cartográfica utilizada, ya que es común que los lotes mineros se encuentren sobre terreno ejidal, y en ellos se utiliza la proyección Transversa Modificada Ejidal (TME).

Además, la cartografía de INEGI se encuentra referida a los sistemas NAD 27 e ITRF-92; el uso de estos marcos de referencia geodésicos simultáneamente ha originado algunas

³ El 23 de diciembre de 2010 se publicó en el Diario oficial de la Federación la Norma Técnica para el Sistema Geodésico Nacional, en la cual se establece que se adopta como nuevo Marco de Referencia oficial para los Estados Unidos Mexicanos, el ITRF08, época 2010.0, asociado al elipsoide de referencia GRS08. También aclara que desde el punto de vista cartográfico, el Sistema Geodésico Horizontal definido en esta Norma es compatible con el WGS84, así como SIRGAS, por lo que sólo en aquellos casos en que un proyecto tenga como requerimiento mejor exactitud posicional se deberá realizar la transformación de coordenadas de WGS-84 o SIRGAS al ITRF08 época 2010.0. La Secretaría de Economía aún no ha hecho ningún cambio a su legislación en este particular, pero es de esperarse que se realicen algunas modificaciones.

confusiones, ya que es necesario tener conocimientos de geodesia para poder trabajar con eso sistemas de coordenadas y dar las coordenadas de los P.P. referidas al Sistema apropiado, o en su caso, realizar las transformaciones necesarias de un sistema a otro; además, ya que se utilizan receptores GPS, es necesario también conocer el funcionamiento del equipo, los parámetros que utiliza, los conceptos geodésicos básicos que se aplican, el funcionamiento del software utilizado en el post-proceso, ya que el manejo discrecional por parte de los peritos mineros de la gran variedad del software existente ha ocasionado que la actual cartografía tenga un gran número de inconsistencias, como traslapes, separaciones, desplazamientos, y posiciones erróneas de los P.P.

La modernización de la función cartográfica resultaba imprescindible para otorgar en forma expedita las concesiones mineras con plena seguridad jurídica de que el terreno correspondiente tenía carácter libre al momento de presentar la solicitud respectiva y, adicionalmente, orientar las labores de exploración y explotación por medio de planos especializados sobre el desarrollo de la actividad.

Para la consecución de estos objetivos, se requería de una cartografía precisa y actualizada, que permitiera avanzar en la simplificación de las labores encaminadas a determinar la ubicación de los lotes en el terreno. La Dirección General de Minas, dependencia de la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, asumió esta responsabilidad, desarrollando un método digital, para capturar los datos que constan en las solicitudes, así como lograr su representación gráfica con la mayor precisión posible, constituyendo un catastro minero que cubre en gran medida las necesidades de determinar si los lotes solicitados amparan total o parcialmente terreno libre o no.

Este método de integración de la cartografía minera involucra mucho trabajo, ya que no solo se trata de registrar las nuevas solicitudes, sino llevar al corriente todos los títulos mineros que se han registrado a lo largo de la historia, lo que presenta un problema adicional, debido a los distintos sistemas de coordenadas utilizadas.

En la cartografía minera se representan gráficamente la ubicación y el perímetro de los lotes amparados por concesiones, asignaciones y reservas mineras vigentes, así como por solicitudes de concesión y asignación minera en trámite.

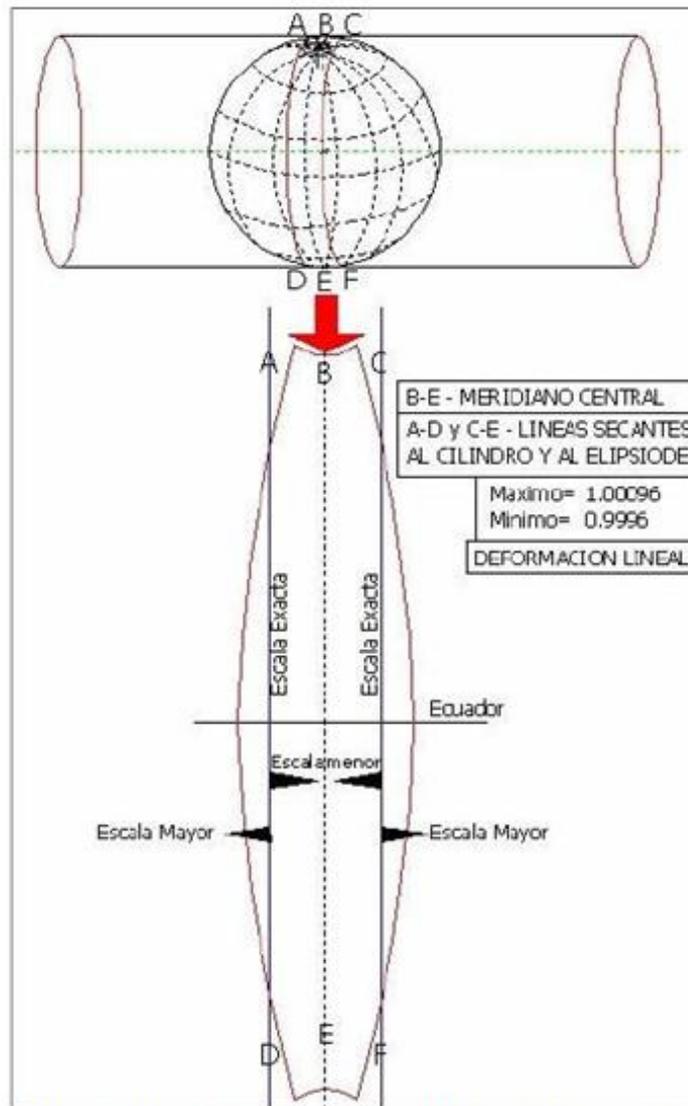
En lo relativo a los informes periciales que marca la Ley, se pide que se entreguen las coordenadas del P.P. ya sea en coordenadas de la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), en coordenadas geográficas o bien en coordenadas ortogonales, estas mismas derivadas de las coordenadas UTM de algún P.C. de la Subred Geodésica Minera, con la finalidad de poder ligar todos los lotes a la cartografía minera y así mantenerla actualizada.

IV.2. Generalidades de la Proyección Universal Transversa de Mercator.

La proyección UTM se utiliza en nuestro país desde 1951, al ser ordenada la elaboración de la Carta General de la República Mexicana por el entonces presidente Sr. Adolfo Ruiz Cortines, utilizándose como sustitución de la proyección policónica de Lambert, utilizada con anterioridad.

Se trata de una proyección conforme, es decir, que conserva los ángulos pero distorsiona distancias y superficies, con una relación de semejanza que va de un valor de "1", en las zonas de contacto de la superficie matemática utilizada como base de la proyección, hasta un valor máximo o mínimo de " $1 \pm \varphi$ " en los límites del campo de proyección. Esta constante " φ " es proporcional al cuadrado de las distancias que unen el centro de la proyección con el punto a proyectar.

Esta proyección utiliza un cilindro colocado de forma secante a la superficie terrestre, de forma transversa al eje terrestre.



IV.4. Cilindro en posición transversa al eje terrestre y secante a su superficie; se aprecia el comportamiento del factor de escala.

La proyección UTM genera husos⁴ comprendidos entre meridianos de 6° de longitud, generándose en cada huso un meridiano central ubicado a 3° de longitud de cada extremo del huso; su zona de proyección se encuentra entre los paralelos 80°S y 84°N. Cada huso

⁴ Un huso o zona geográfica está definido como las posiciones geográficas que ocupan todos los puntos comprendidos entre dos meridianos. Cada huso puede abarcar 3, 6 u 8, dependiendo de la proyección y del propósito para el cual son utilizados.

está numerado entre el 1 y el 60, estando el primer huso limitado entre las longitudes 180° y 174° W, siendo su meridiano central el meridiano 177°W.

Los husos se numeran en orden ascendente hacia el este. La conexión de los husos UTM 1 y UTM 60 se produce en el meridiano 180° (que es el mismo meridiano -180°, también llamado antimeridiano de Greenwich).

Para la República Mexicana se utilizan los siguientes husos o zonas UTM:



IV.5. Husos o zonas UTM para la República Mexicana.

HUSOS UTM PARA LA REPÚBLICA MEXICANA			
HUSO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL	LONGITUD DEL MERIDIANO CENTRAL
11	120° WG	114° WG	117° WG
12	114° WG	108° WG	111° WG
13	108° WG	102° WG	105° WG
14	102° WG	96° WG	99° WG
15	96° WG	90° WG	93° WG
16	90° WG	84° WG	87° WG

La Proyección UTM se utiliza comúnmente entre los 0° y los 84° de latitud norte, y 0° y 80° de latitud sur. No se emplea a latitudes mayores porque después de estos límites produce distorsiones mucho mayores conforme aumenta la distancia al ecuador.

Las principales ventajas de la Proyección UTM con respecto a otros sistemas de proyección son:

Conserva los ángulos (es conforme);

No distorsiona las superficies en grandes magnitudes (por debajo de los 80° de latitud);

Es una proyección en la cual cualquier punto puede localizarse de manera concreta y fácilmente;

Es un sistema empleado en todo el mundo, principalmente por su uso militar.

El sistema utiliza coordenadas del tipo:

X = 456, 346

Y = 2' 234, 564

Sin embargo, para que un punto en esta proyección quede definido y pueda localizarse correctamente, debe determinarse como sigue:

$X = 456,346$

$Y = 2'234,564$

Huso = 13 (meridiano central 105° WG)

Datum = Nad 27 (o ITRF 92)

Haremos un ejemplo de cómo se ubica un punto en la proyección UTM. Tomaremos el huso 13 (que abarca de los 108° a los 102° de longitud WG). Para cada huso, este sistema cubre desde los 80° e latitud Sur a los 84° de latitud Norte.

El origen de coordenadas del sistema es distinto para cada huso, tomándose como origen el siguiente punto:

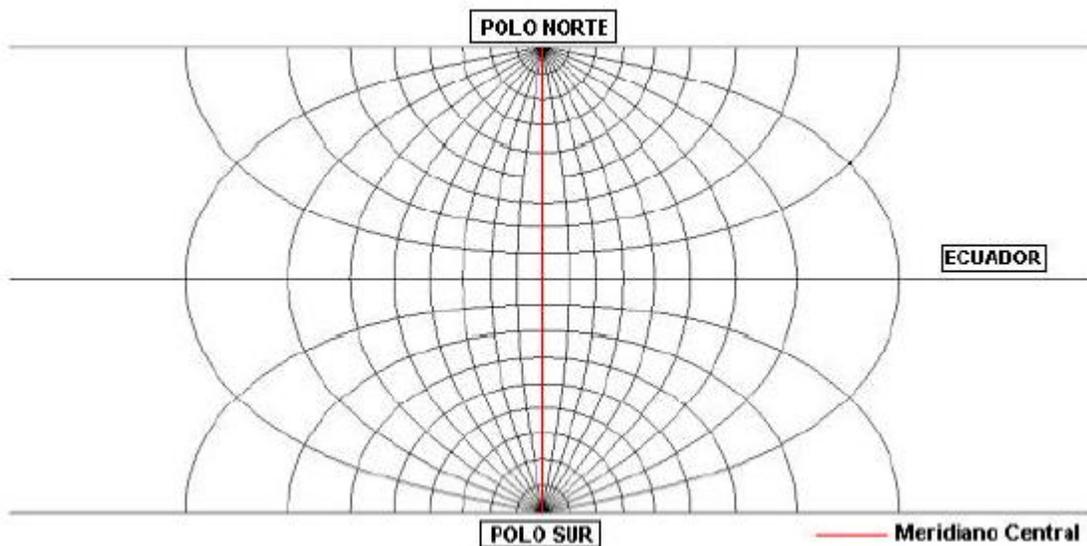


IV.6. Origen de las coordenadas en el sistema UTM.

En la intersección del meridiano central de cada huso con el Ecuador, en el hemisferio Norte, la coordenada “X”, toma un valor de 500, 000 m; mientras que la “Y” toma un valor de 0 m. De esta manera se evita que el sistema genere, en el hemisferio Norte coordenadas negativas. En el hemisferio sur la “y” en el ecuador, toma como origen el valor de 10 000 000.

Se emplea un cilindro secante de proyección para cada huso, lo que implica que cada zona geográfica comprendida en cada huso quede bajo un sistema coordenado distinto.

El sistema de cuadrículas UTM no marca el norte geográfico en todas las cuadrículas rectangulares creadas, ya que los meridianos y paralelos aparecen distorsionados con respecto a la cuadrícula.



En el cuadrículado o “grid”, sólo existe una dirección coincidente con un meridiano de cada huso, que se encuentra orientada al norte, esta es el meridiano central de cada huso.

Teniendo en cuenta estas características y particularidades de la Proyección UTM se pueden ubicar los Puntos de Partida sobre la cartografía existente, dando sus coordenada en este sistema.

V. CONCLUSIONES

La intención del presente trabajo ha sido la de mostrar de manera general (disculpándome de antemano por todas las omisiones cometidas), todas las actividades que caen en la competencia de la Topografía dentro de la industria minera.

Al descubrirse un yacimiento, la acción inmediata es el estudio legal del terreno de ubicación del prospecto, con el objeto de determinar si se encuentra amparado por otra concesión o si se encuentra libre; posteriormente se levantará del campo la información necesaria para denunciar el Lote Minero, con la seguridad de que el terreno pretendido quedará legalmente amparado. Este estudio se efectúa inicialmente en la Agencia de Minería a la cual corresponde el municipio de ubicación del lote, completándose en la Dirección General de Minas con sede en la Ciudad de México.

Se puede asegurar que el estudio legal de los antecedentes de un prospecto es uno de los aspectos de mayor importancia en la exploración minera, ya que si los denuncios se formulan correctamente y se ampara el terreno, se sientan las bases de una unidad minera o, en su defecto, puede suceder que se frustre un posible polo de desarrollo al no obtenerse las concesiones, debido a un manejo inadecuado de los preceptos de la Ley Minera.

El fijar los límites de las solicitudes para las concesiones mineras es un trabajo basado 100% en la Topografía; además, en caso de existir dentro del área otros lotes mineros, debe realizarse la liga de éstos, mediante los métodos descritos por la ley (poligonación, triangulación, lectura autónoma de satélites y lectura de satélites por translocalización), adecuándose al equipo disponible, así como a los requerimientos de precisión, tomando en cuenta la topografía de la zona, así como la extensión de los levantamientos por ejecutar.

Estos conceptos representan la parte medular de la Ley Minera, siendo evidente que la función del Ingeniero Topógrafo con licencia de Perito Minero, consistirá en manejar adecuadamente su aplicación, para así poder garantizar que las inversiones que el concesionario deba efectuar en los terrenos denunciados, cumplan con los requisitos legales y reglamentarios y conserve la vigencia de las concesiones. Es decir, tenemos al Ingeniero

Topógrafo ligado al aspecto legal de la Minería.

Y todavía me atrevería a asegurar que el Ingeniero Topógrafo y Geodesta sería el profesional más adecuado para desempeñar estas funciones en las que se entrelazan la Topografía, la Geodesia y la Cartografía, ya que por su formación, puede perfectamente aplicar los métodos y procedimientos tanto de campo como de gabinete necesarios para estos fines.

Al iniciarse los trabajos de exploración deben realizarse de acuerdo al tipo de mineral que se desea explotar, ya sean minerales metálicos o minerales no metálicos. Estos trabajos los debe definir el Ingeniero Topógrafo conjuntamente con Ingenieros Geólogos y Geofísicos, que serán los encargados de realizar los trabajos de prospección.

Los trabajos de exploración requieren de la Topografía para el trazo de cuadrículas o redes de exploración, para control y ubicación de barrenos, para el control de estaciones de muestreos geológicos o geoquímicos, para la localización de puntos de control fotogramétrico, para cubicar volúmenes, para inferir la forma, la profundidad y el tamaño del yacimiento en cuestión y para determinar en conjunto con otras disciplinas, la costeabilidad o incosteabilidad del proyecto.

La topografía se encarga también de la localización y el trazo de rutas de acceso a las diferentes áreas del proyecto.

En los trabajos a cielo abierto de una explotación minera, el topógrafo debe llevar a cabo el trazo de poligonales envolventes, quedando debidamente monumentadas, para tener puntos de control tanto vertical, mediante el cual se puedan controlar los avances y actualizarlos, y poder planear los trabajos futuros.

En el caso de los trabajos subterráneos, el topógrafo realiza trabajos como la transferencia de rumbos y distancias lineales en los diferentes niveles, llevando a cabo la planeación y trazo de las comunicaciones, el trazo de contrapozos, y demás obras mineras, y el levantamiento de los avances de las obras.

En la etapa de beneficio de la minería, la presencia del topógrafo también se requiere, ya que la maquinaria y las instalaciones de la planta de beneficio, deben cumplir con ciertos

requisitos dependientes directamente de su ubicación y de las características topográficas del área destinada para los mismos, y todavía después de este proceso, la presencia de la topografía se hace necesaria en el control de los desechos producto del beneficio de los minerales, en las presas de jales que, por su naturaleza siempre requieren de un control adecuado para evitar daños al medio ambiente.

La información que proporciona el ingeniero topógrafo de planos en varias proyecciones será de gran ayuda para geólogos y mineros, se prepararán proyectos en base a estos planos topográficos que el ingeniero topógrafo afinará, y llevará este control a las obras mineras.

La importancia del conocimiento de los sistemas de minado por parte del ingeniero topógrafo le facilita preparar planos topográficos con información más completa y detallada que sirva a todos los que participan en la unidad minera.

Es evidente que la Topografía es indispensable en esta actividad económica, y que el Ingeniero Topógrafo y Geodesta debe estar consciente de la importancia y de los alcances que tiene en ella, porque debe realizar su trabajo de manera meticulosa, siendo su obligación el tener los conocimientos científicos y prácticos necesarios para llevarla a cabo de manera exitosa.

Es muy común que se menosprecie a los Ingenieros Topógrafos en muchas actividades propias de la Ingeniería, y se le relegue a mero “aparatero”, sin embargo, y sobre todo en esta rama de la industria, nos corresponde como Ingenieros Topógrafos y Geodestas el recuperar el respeto por lo que hacemos, preparándonos tanto científica como práctica y físicamente para realizar estas actividades (ya que dicho sea de paso, el trabajo de campo no es de ninguna manera sencillo). Además, debemos estar continuamente dispuestos a aprender, al menos, lo esencial de otras ramas de la ingeniería, porque siempre estaremos en contacto directo con otras disciplinas.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ *MONTES DE OCA, Miguel. "Topografía". Ed. Alfaomega, México, 1989.*
- ✓ *ALCANTARA García, Dante. "Topografía". Ed. Mc Graw Hill, México, 1990.*
- ✓ *MUÑOZ Acosta, Ramón. "Apuntes de Topografía Subterránea". Edición Propia, México, 1957.*
- ✓ *STANLEY, W. W. "Introduction to Mine Surveying". Stanford University Press, 1997.*
- ✓ *TOSCANO, Ricardo. "Métodos Topográficos". México, 1953. 11ª Edición.*
- ✓ *SEGADO Vázquez, Francisco. "Transmisión de orientación en minas subterráneas". Ed. Universidad de Murcia, 1991.*
- ✓ *BREED, Charles and HOSMER, George. "Elementary Surveying" Vol. I. John Wiley and Sons, Inc. New York, 1921.*
- ✓ *BERMEJO, Juan Ignacio. "Laboreo de Minas para Peritos". Ed. Dossat S.A., Madrid 1963.*
- ✓ *LOPEZ Aburto, Víctor Manuel. "Manual para la Selección de Métodos de Explotación de Minas". Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., México 1994.*
- ✓ *INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA, GEOGRAFIA E INFORMATICA. Puntos de Control de la Subred Geodésica Minera. México, 1990.*
- ✓ *CAIRE Lomelí, Jorge. "La Proyección Cartográfica para la República Mexicana". Colegio de Geografía, U.N.A.M., México, 1986.*
- ✓ *LERCH, Federico Alonso. "Apuntes de Cartografía". Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., México, 1986.*
- ✓ *DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal. Jueves 27 de Septiembre de 1990.*
- ✓ *DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal. Viernes 7 de Diciembre de 1990.*
- ✓ *DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal. Miércoles 7 de Abril de 1993.*