

# ESTUDIOS GEOTECNICOS APLICADOS AL SISTEMA DE HUNDIMIENTO POR BLOQUES (BLOCK CAVING)

FRANCISCO CAMUS I. *Departamento de Geología. Sociedad Minera El Teniente*  
ALFREDO ENRIONE LI. *Departamento de Geología. Sociedad Minera El Teniente*

## RESUMEN

En el presente artículo se describe la secuencia de estudios geotécnicos que se realizan en la mina El Teniente en el proceso de explotación por hundimiento de bloques. La información así obtenida permite determinar el grado de hundibilidad de cada bloque y decidir sobre el tipo de soporte que debe aplicarse, la distribución de tiros largos en la voladura, los desarrollos adicionales a efectuarse en zonas que hunden con dificultad y tipo y cantidad de explosivos que han de usarse.

## INTRODUCCION

La mina "El Teniente" de propiedad de la Sociedad Minera El Teniente S.A., recientemente nacionalizada por el Gobierno, se encuentra ubicada a 67 km al este de la ciudad de Rancagua, provincia de O'Higgins (ver fig. 1). El Campamento Sewell, adyacente a la mina, está situado en un escarpado faldeo entre la confluencia de los ríos Teniente y Coya a alturas que varían entre los 2.000 y 2.700 m s.n.m. El único acceso a Sewell, hasta hace un año y medio atrás era mediante un ferrocarril de trocha angosta que une Sewell con Rancagua y que a la vez sirve a los campamentos de Caletones y Coya, también de propiedad de la Sociedad. En la actualidad existe además, una carretera pavimentada entre Rancagua y Alto Colón, donde se han construido nuevas instalaciones de la empresa (Nuevo Concentrador) y desde donde parte el túnel Teniente-8 que une este punto con la mina. Esta carretera se comunica asimismo con Coya y Caletones donde se encuentra la Fundición. Desde este último lugar existe también un camino de tierra que llega a Sewell, el que se usa sólo cuando el clima lo permite. La mina está ubicada a 3 km al este de Sewell, al sur del río Teniente. La topografía del área es muy abrupta y las alturas máximas alcanzan hasta 4.000 m s.n.m.

El método de explotación que se aplica en El Teniente es el de hundimiento por bloques, que consiste en hundir un bloque de mineral que tiene una altura igual a la separación entre niveles de producción, la que fluctúa entre 100 y 180 m. La base del bloque es rectangular con un ancho variable entre 60 y 87 m y una longitud que varía entre 90 y 120 m. El hundimiento se logra recortando la base del bloque y una o dos de las caras laterales del mismo; de esta manera el bloque se fractura por colapso y cae por gravedad,

siendo extraído el mineral por un sistema de chimeneas y piques colectores en un nivel de extracción inferior. La figura 2 muestra en forma gráfica el procedimiento completo. En ella se aprecia la distribución de buitras que se unen en un sistema de piques que bajan hasta el nivel de extracción o acarreo, pasando previamente por niveles de traspaso o control de mineral. La figura 2 muestra también las chimeneas que conectan el nivel de producción con el nivel de hundimiento ubicado 8 a 9 m más arriba, desde donde se procede al recorte de la base del bloque. Por estas chimeneas escurrirá posteriormente el mineral fracturado.

El fuerte fracturamiento y la dureza moderada de las rocas han permitido, hasta el momento, aplicar este método con éxito con rendimientos de 500 toneladas por hombre/turno. Cuando el fracturamiento es débil y la roca tiene dureza muy alta, la voladura secundaria aumenta y el rendimiento del sistema baja a valores de 40 - 50 toneladas por hombre/turno, siendo el costo por tonelada producida más alto.

## GEOLOGIA

El cuerpo mineralizado El Teniente está emplazado en lavas andesíticas del miembro inferior de la formación Farellones de edad cretácico/terciaria (Klohn, 1960) e intrusivos de diorita cuarcífera y dacita porfírica que las penetran. La dacita porfírica se encuentra en la parte norte del yacimiento y aunque su afloramiento es muy pequeño, su tamaño aumenta a medida que se profundiza. La diorita cuarcífera se ubica principalmente en el lado sur del yacimiento. Posterior a la mineralización principal, se formó una chimenea volcánica circular constituida por un aglomerado volcánico con fragmentos de las rocas pre-existentes y cementado por polvo de roca, denominada formación Braden (Howell y Molloy, 1960) que aparece en el centro y hacia el oeste del yacimiento. La andesita es la roca huésped más importante de la mineralización; cerca del 90% de la mena ocurre en ella. Es una roca extrusiva de color gris oscuro y de textura porfírica. En el área del yacimiento está fuertemente alterada a biotita secundaria muy fina. Hacia las márgenes la biotita está reemplazada por clorita. En los niveles superiores de la mina, los feldespatos, especialmente las plagioclasas, están fuertemente sericitizadas

y/o arcillizadas. La biotita a su vez ha sido alterada a sericita. En la zona primaria se asocia la anhidrita a la biotita secundaria como mineral de alteración.

La diorita cuarcífera es una roca intrusiva de color gris claro con textura fanerítica a localmente porfírica. Está compuesta por albita, cuarzo, sericita, minerales de arcilla y clorita. La sericitización y la arcillización varían en intensidad de moderada a fuerte. Presenta en la parte superior una fuerte turmalinización, concentrada mayormente en las fracturas. La presencia de anhidrita en la diorita cuarcífera sugiere una estrecha relación genética entre ambas.

La dacita porfírica es una roca intrusiva de color gris muy claro con textura porfírica, donde se destacan fenocristales de biotita, ojos de cuarzo y cristales alterados de albita-oligoclasa. Los fenocristales se encuentran en una masa fundamental afanítica compuesta principalmente de ortoclasa muy fina que constituye entre el 30% y el 60% de la roca. La dacita porfírica presenta una silicificación moderada a fuerte y una sericitización y cloritización moderada. En profundidad la textura de la dacita porfírica es muy parecida a las facies porfíricas de la diorita cuarcífera lo que sugiere una relación genética entre ambas rocas. La anhidrita, presente en la dacita, no es tan importante en su intensidad como lo es en la andesita y diorita cuarcífera.

El aglomerado volcánico de la formación Braden es una roca fragmental que rellena una estructura cónica invertida. Tiene un diámetro de 1.300 m en superficie y corta a la andesita, diorita cuarcífera y a la dacita porfírica. Hacia el este esta estructura es vertical. Los bordes oeste, norte y sur convergen hacia el centro del cono. El relleno está compuesto de fragmentos redondeados a subredondeados de andesita, diorita cuarcífera y dacita porfírica. Predominan los fragmentos de las rocas intrusivas cuyos tamaños varían de partículas microscópicas a fragmentos de 1 m de diámetro. En la periferia de la formación Braden existe un anillo de brecha de alrededor de 10 m de ancho, consistente en fragmentos angulares de las rocas adyacentes, cementados por turmalina, anhidrita, cuarzo y sulfuros, que ha sido denominado "brecha de mezcla". Se han diferenciado además, otros dos tipos de brechas. La primera tiene un relleno de turmalina y está restringida a la cúpula del intrusivo de diorita. La segunda es una brecha que no presenta relleno entre fragmentos, y se ha llamado "brecha con huecos".

La mineralización principal consiste en calcopirita,

bornita primaria y calcosina secundaria. Además, la mena contiene una apreciable cantidad de molibdenita. Se suman a éstos algunos minerales oxidados de cobre que se concentran en zonas muy locales dentro del yacimiento. Estos minerales son cuprita, malaquita, crisocola, brochantita, además de algunas sales sulfatadas complejas. Lateralmente la mineralización grada hacia una aureola pirítica que corresponde a la alteración propilítica, y que se hace más importante a medida que los sulfuros de cobre empiezan a desaparecer. Verticalmente se pueden distinguir claramente cuatro zonas bien diferenciadas que son de arriba hacia abajo las siguientes:

- Recubrimiento lixiviado
- Zona mixta de óxidos y sulfuros
- Zona de sulfuros secundarios
- Zona primaria

La estructura más destacada del yacimiento es la formación Braden (chimenea Braden). Además de esta, se tienen algunas fallas y vetas de rumbo NE de poco desarrollo e importancia. Previamente a la mineralización, las rocas huéspedes fueron fracturadas al extremo de originar un enrejado de pequeñas fracturas secundarias que se entrecruzan unas con otras y que varían en intensidad de acuerdo a la roca que afectan.

## ESTUDIOS GEOTECNICOS

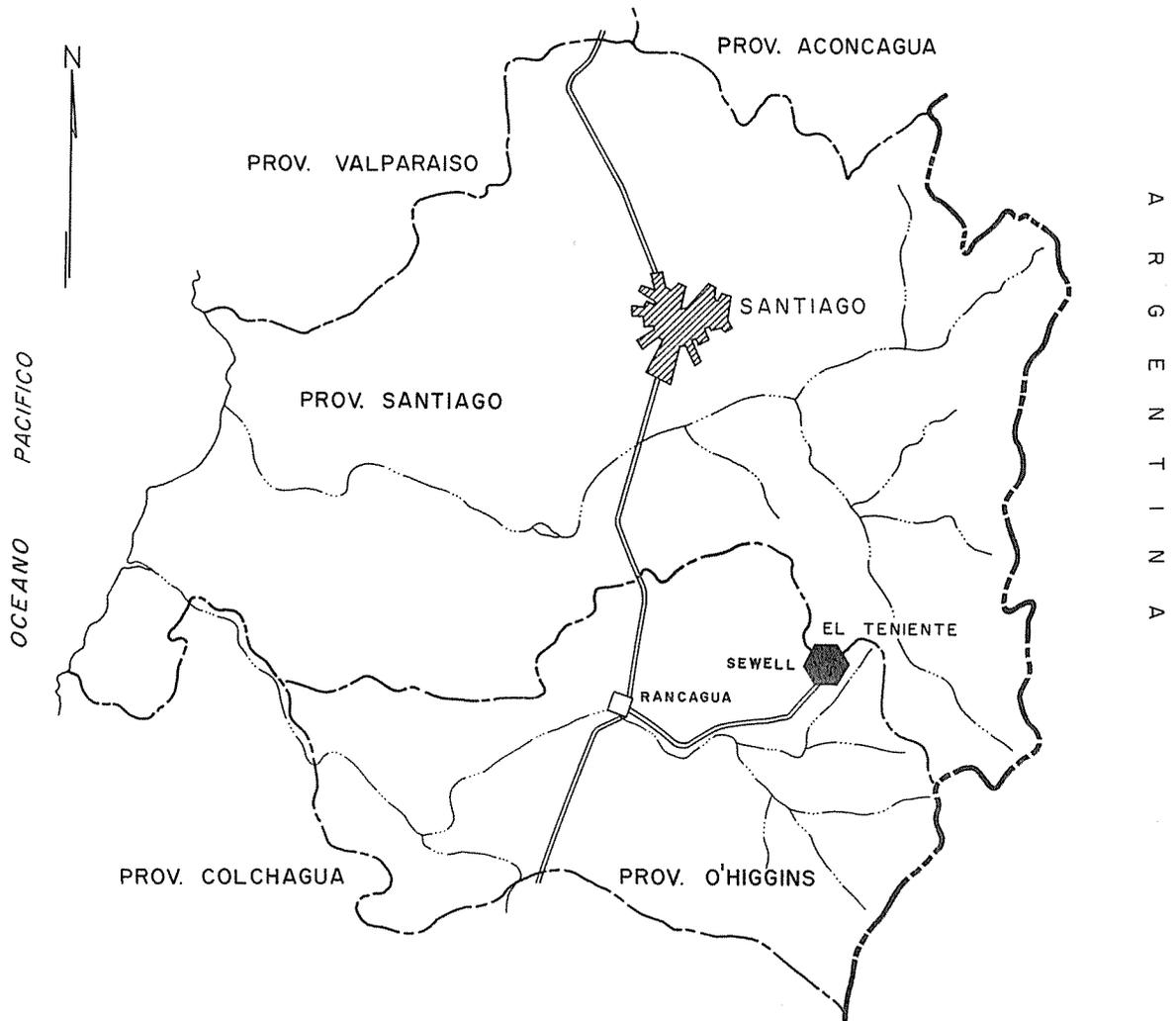
El hundimiento por bloques es un método eficiente para la explotación subterránea de grandes masas minerales que requiere una importante inversión en trabajos de desarrollo, basado en la premisa de que la roca hundirá. Se produce hundimiento siempre que no se produzcan arcos estables y que la fracturación de la roca sea del tamaño adecuado para que los fragmentos pasen por las chimeneas de extracción. El estudio geotécnico permite evaluar los factores que controlan el comportamiento del bloque en el hundimiento. Con este objeto el Departamento de Geología ha desarrollado un sistema de trabajo que tiende a recopilar la información requerida.

### Método de Trabajo

Cada vez que el Departamento Mina prepara el hundimiento de un bloque, solicita del Departamento de Geología los planos geotécnicos que evalúan las variables que tendrán relación directa con el hundimiento. El Departamento Mina utiliza esta información para planificar: el soporte, el número y la distribución de tiros largos, el desarrollo de labores adicionales, y una estimación del consumo de explosivos.

Fig. 1.- MAPA DE UBICACION MINA EL TENIENTE

ESCALA 1 : 1.535.000



Las variables geotécnicas que se muestran en los planos geotécnicos son las siguientes:

- Tipo de roca
- Grado de fracturamiento
- Grado de dureza
- Filtraciones y permeabilidad de las rocas
- Presencia de minerales deletéreos

**Tipo de roca.** Se determinan las rocas presentes, los tipos de mineralización y las alteraciones que las afectan. Para el mapeo geológico, aplicado a estos fines, las rocas se han agrupado en tres unidades diferenciables: rocas secundarias, rocas primarias y otras rocas. Las rocas secundarias son aquellas que han sufrido un fuerte enriquecimiento secundario y una intensa alteración supergénica. Las rocas primarias son aquellas que han sido afectadas por mineralización hipógena y por una alteración del tipo cuarzo-anhidrita. En el grupo de "otras rocas" se incluyen el aglomerado de la formación Braden, vetas de cuarzo molido, que ocurren preferentemente en rocas secundarias y diques de lamprófiro.

**Grado de fracturamiento.** El fracturamiento presente en la mina El Teniente es una combinación de sistemas de diaclasas principales con enrejados de fracturas secundarias que ocurren entre estos sistemas (stockwork).

El grado de fracturamiento, expresado en el estudio de hundimiento de bloques, está definido por el espaciamiento entre las fracturas, para lo cual se aplica la siguiente escala:

| Grado de<br>Fracturamiento | Espaciamiento entre<br>Diaclasas |
|----------------------------|----------------------------------|
| Débil                      | > 50 cm                          |
| Moderado                   | 10 - 50 cm                       |
| Fuerte                     | 5 - 10 cm                        |
| Intenso                    | 1 - 5 cm                         |

El fracturamiento débil, presente solamente en la formación Braden, está determinado por escasos sistemas de diaclasas con espaciamiento de varios metros. El fracturamiento moderado está definido solamente por la presencia de sistemas de diaclasas primarias. El fracturamiento fuerte es aquel que, además de estar afectado por las diaclasas primarias, tiene un enrejado de numerosas fracturas secundarias entre ellas. Muchos de estos enrejados de fracturas secundarias no se observan a simple vista, pero se hacen evi-

dentos al golpe del martillo de geólogo o cuando la roca queda afectada por algún tipo de sollicitación. El fracturamiento intenso se caracteriza por diaclasas primarias y secundarias existiendo entre ellas un lajamiento en pequeños fragmentos.

Los cuatro grados de fracturamiento mencionados tienen relación directa con el grado de hundibilidad de las rocas que afectan. Para rocas secundarias el fracturamiento varía entre intenso y fuerte, excepto en brecha de diorita cuarcífera y brecha con huecos (vuggy-breccia) que tienen un fracturamiento moderado y a veces fuerte. El fracturamiento fuerte es el que predomina en andesita secundaria. El fracturamiento intenso afecta a rocas secundarias y está restringido a zonas cercanas a intrusivos o en los contactos con éstos, donde se observa un fuerte lajamiento. El grado de fracturamiento para rocas primarias es moderado, sin variaciones, aún cerca de los cuerpos intrusivos. En estas rocas sólo es posible observar un grado de fracturamiento definido por el espaciamiento de diaclasas primarias fácilmente observables y mapeables. Aquellas fracturas de enrejados presentes en las rocas secundarias, aunque existen en las rocas primarias se encuentran selladas por anhidrita, cuarzo y sulfuros primarios, de tal manera que estas rocas se presentan como una unidad maciza y homogénea.

Los sistemas predominantes de diaclasas tanto para andesita secundaria como primaria (roca que predomina en el yacimiento) tienen rumbos que varían entre norte  $60^{\circ}$  y  $80^{\circ}$  al este, e inclinaciones entre  $65^{\circ}$  y  $90^{\circ}$ , tanto al norte como sur. En las andesitas secundarias se consideran sólo las diaclasas primarias, ya que los enrejados de diaclasas secundarias presentes en esa roca no son mapeables.

La facilidad de quebradura (para los fines de hundimiento) es diferente según los tipos de rocas. Las andesitas (primarias y secundarias), por tener una textura porfírica fina, quiebran más fácilmente que las rocas intrusivas (dacita porfírica y diorita cuarcífera) que tienen texturas más gruesas.

El comportamiento al fracturamiento de las rocas en los laboreos de la mina es diferente según se trate de roca secundaria o primaria. Los laboreos en roca secundaria tienen techos y paredes estables que no necesitan soporte. La estabilidad de estas excavaciones está determinada por los fragmentos angulosos, diferenciados por fracturas secundarias, que se engranan entre sí, soportándose, sin caer. Esto determina una mínima sobreexcavación. Por su parte, las labores exca-

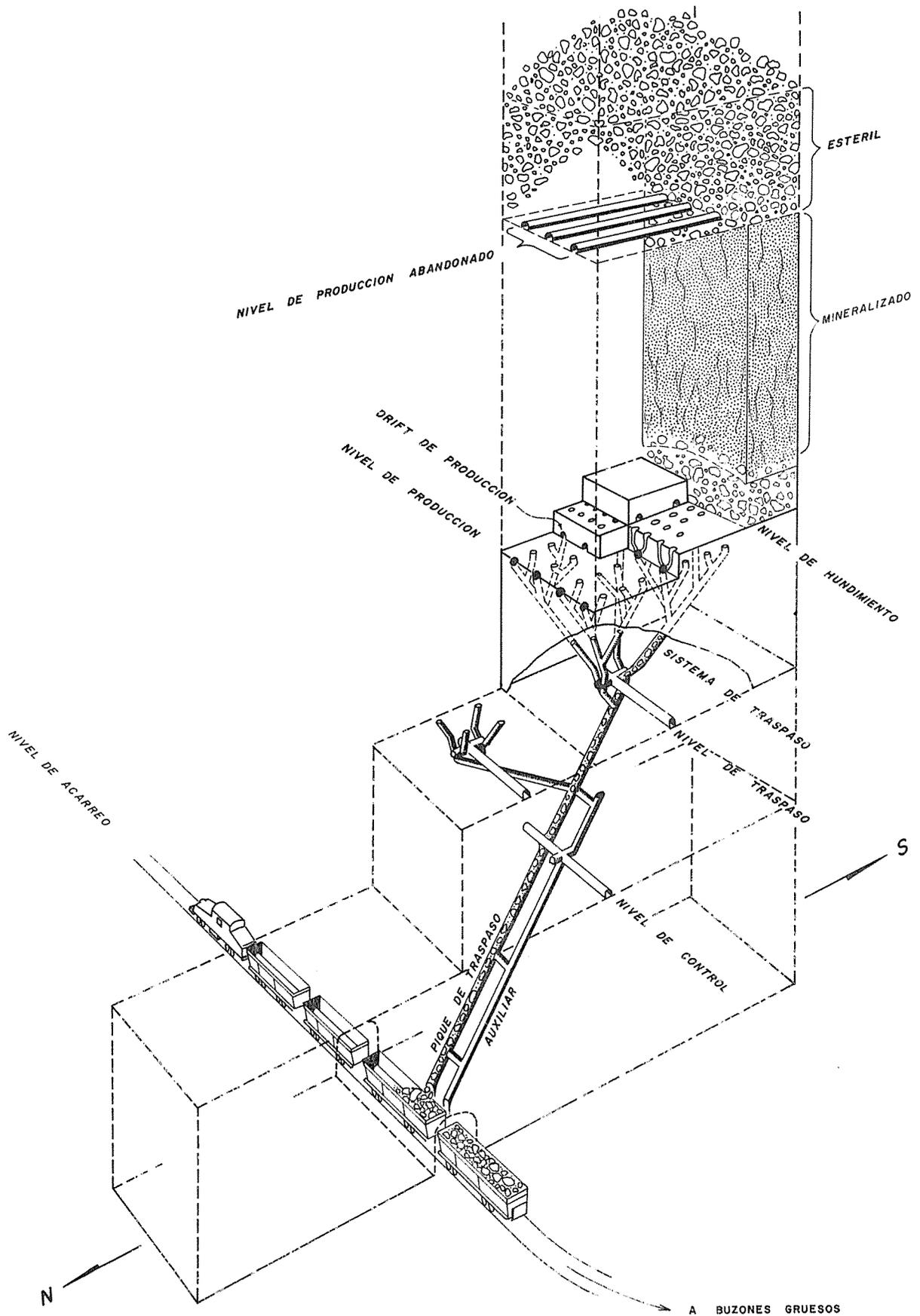


Figura 2. Bloque diagrama mostrando el sistema de explotación y traspaso de mineral en la mina El Teniente.

miento que afecta a estas rocas está determinado por el espaciamiento de las diaclasas primarias, ya que las fracturas secundarias entre estas diaclasas han sido selladas por cuarzo - anhidrita y sulfuros primarios. En consecuencia, los bloques diferenciados por las diaclasas primarias tienen caras lisas y caen del techo y de las paredes (planchoneo) produciendo una sobreexcavación considerable. Estos bloques pueden tener hasta un metro cúbico, lo cual obliga a estabilizar el techo y paredes con pernos de anclaje, a veces combinados con mallas de acero y marcos de acero. Para los efectos de desarrollo, la mina consulta dos tipos de labores que varían en denominación según la dirección que éstas tengan. Así, las labores de dirección norte-sur se llaman "drifts" y las este-oeste "crosscuts". Al excavar una labor, mientras más perpendicular sea el eje de ésta con respecto al rumbo del sistema de diaclasas predominantes, la sección de la labor será más regular y la sobreexcavación mínima. Esto sucede en el caso de los "drifts" (rumbo N-S), los cuales se ubican casi perpendiculares al sistema principal de diaclasas de rumbo N 70° E y con inclinaciones entre 65° tanto al norte como al sur). No así los "crosscuts", que tienen secciones irregulares y fuerte sobreexcavación con frecuentes planchoneos.

**Grado de dureza.** El grado de dureza se ha definido como la dureza al golpe del martillo del geólogo. Este es un concepto que implica características petrográficas y mineralógicas propias de esta mina, lo que le da una validez local.

Los grados que se distinguen son los siguientes: muy alta, alta, mediana y baja. Las rocas afectadas por enriquecimiento secundario tienen dureza mediana. Las rocas con mineralización y alteración primaria tienen dureza que varía entre alta y muy alta. Sólo se tiene grado de dureza baja en aquellas zonas afectadas por fallas o zonas de alteración hidrotermal intensa de tipo arcilla-sericita y en vetas de cuarzo molido que tienen consistencia de arena. Las rocas con alteración y mineralización primaria presentan asociación de cuarzo-anhidrita que les imprime una dureza entre "alta" y "muy alta". Cuando predomina la anhidrita la dureza es "alta". Las rocas de dureza "muy alta" son aquellas donde predomina el cuarzo. El cuarzo y la anhidrita impregnan la roca y sellan las fracturas, de manera que éstas se comportan como un cuerpo macizo y homogéneo.

**Filtraciones de agua.** Las rocas secundarias contienen gran cantidad de agua subterránea controlada por el fuerte fracturamiento que las afecta. Estas aguas se

concentran en el contacto entre rocas primarias y rocas secundarias y son abundantes en los períodos de deshielo. Las rocas primarias por tener selladas sus fisuras, prácticamente no contienen agua, excepto en diaclasas abiertas, pero aún en este caso ésta es escasa. El agua escurre a las chimeneas de extracción y dificulta el normal deslizamiento del mineral debido a que, al mezclarse con los finos, origina barro que dificulta su normal extracción produciendo atascamientos.

Las filtraciones se representan en los mapas geotécnicos y la cantidad de agua que fluye es estimada como goteo, chorrillo y chorro acompañado de términos tales como escaso, abundante y muy abundante.

**Presencia de minerales deletéreos.** Los minerales deletéreos son aquellos que afectan la calidad del concentrado y cobre fino producidos. Los principales minerales deletéreos en la mina El Teniente son: tenantita, tetrahedrita y enargita (que contienen arsénico y antimonio) y pirita. El cobre blister producido con un alto contenido de arsénico (200 ppm) y antimonio (40 ppm) es rechazado por algunos compradores. La pirita es el único mineral deletéreo susceptible de ser mapeado debido a su fácil identificación macroscópica. Es posible determinar su grado de concentración, que se ha denominado alto, cuando es mayor de 5%, mediano, cuando es entre 2% y 5% y bajo cuando el contenido es menor que 2%.

#### Forma de presentar la información

La información geotécnica descrita anteriormente se transcribe a dos tipos de planos (fig. 3)

- Plano geológico a escala 1:500, donde se muestran los tipos de roca y las relaciones de contacto entre ellas.
- Plano estructural a escala 1:200, donde se indican, mediante simbología, la dureza el grado de fracturamiento y las filtraciones que afectan a las diferentes rocas. Además, cuando es necesario se incluyen secciones verticales si la complejidad geológica del bloque lo requiere.

#### Aplicación de los estudios geotécnicos

La información obtenida, permite decidir sobre el soporte, número y distribución de tiros largos para la voladura, desarrollos adicionales y consumo de explosivos. Además, permite estimar las zonas de rocas que por sus características geológicas no se fracturan y no hunden, originando pilares en el nivel de hundimiento que presionan y dañan el soporte de madera en el nivel de producción. Finalmente, los estudios geotécnicos logran predecir, con cierta certeza, el grado de

BLOCK : 225 D 1/2 E  
 NIVEL : Sub B Norte

ESCALA 1 : 2.000

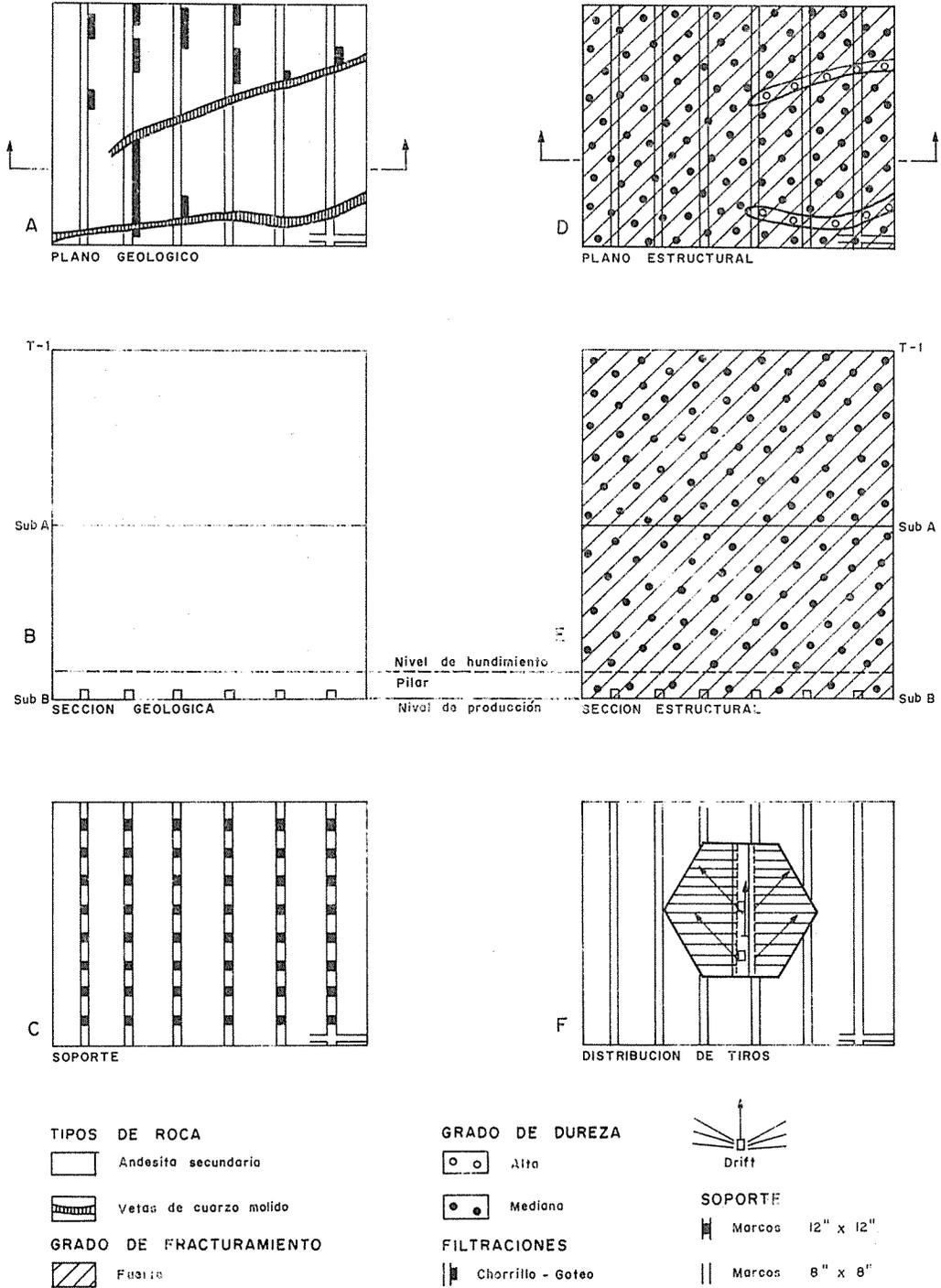
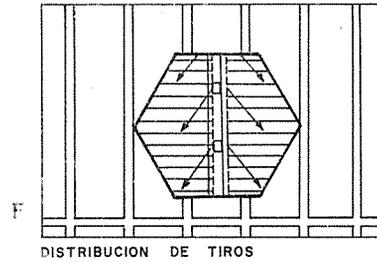
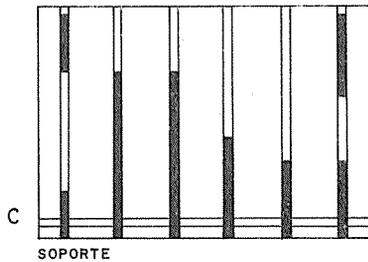
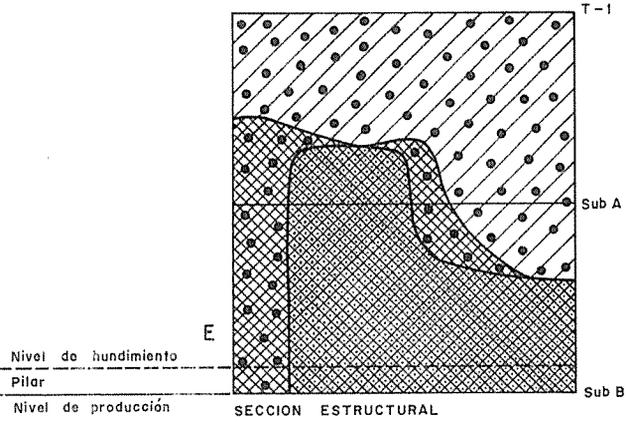
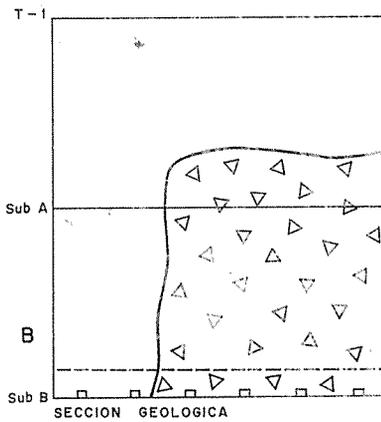
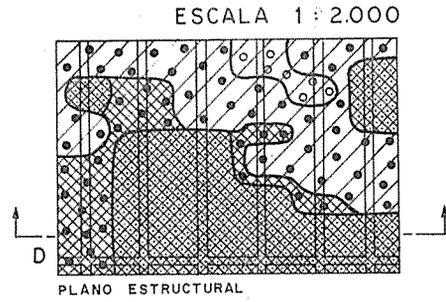
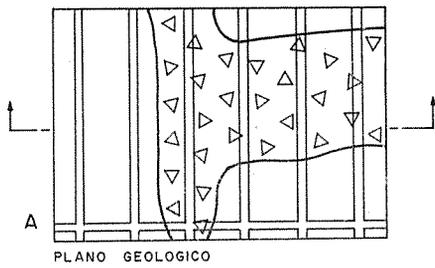


Figura 3. Tipos de planos y secciones con la información geológica y geotécnica para un bloque con características muy buenas para el hundimiento. Se muestra además el tipo de soporte y distribución de tiros.

BLOCK : 226 A 1/2 B  
 NIVEL : Sub B Norte



TIPOS DE ROCA

- Andesita secundaria
- Brecha con huecos

GRADO DE FRACTURAMIENTO

- Intenso
- Fuerte

GRADO DE DUREZA

- Alta
- Mediana
- Baja

SOPORTE

- Marcos 12" x 12"
- Marcos 6" x 8"

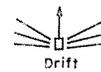


Figura 4. Tipos de planos y secciones con la información geológica y geotécnica para un bloque con características favorables para el hundimiento, pero que presenta ciertas dificultades que deben ser consideradas durante el desarrollo y preparación del bloque. Se muestra tipo de soporte y distribución de tiros.

hundibilidad del bloque que se va a hundir.

**Soporte.** Con el objeto de evitar el hundimiento del pilar de roca de 8 m de alto, que se deja entre el nivel de producción y el nivel de hundimiento, es necesario reforzar el nivel de producción mediante un soporte de madera. En general, este enmaderado consiste en colocar marcos de 12" x 12" para proteger cada buitra y marcos intermedios de 8" x 8" a una distancia de 1,5 m entre los marcos de 12" x 12". Cuando se tienen zonas de características geotécnicas desfavorables, se hace necesario reforzar este enmaderado standard. En estos casos se reemplazan los marcos de 8" x 8" por marcos de 12" x 12", llegando a veces, incluso, a disminuir el espaciamiento entre estos marcos (ver figs. 3,4 y 5).

**Distribución de tiros largos.** Las características geotécnicas de cada bloque condicionan la distribución y número de tiros largos necesarios a perforar para hundirlo. Una vez definidas estas características, el Departamento Mina decide la densidad de tiros largos que deben perforarse. Para bloques en roca secundaria, que hunde fácilmente, se perforan alrededor de 6 tiros de 21 pies de largo y 2" de diámetro en abanico por parada (\*) espaciadas cada 1,5 m entre si (ver fig. 3). Para roca primaria el espaciamiento entre paredes es del orden de un metro y aún menos (75 cm), y la cantidad de tiros perforados ha llegado a ser de 10 tiros por parada (ver fig. 5). Para dar una estimación de la cantidad necesaria de tiros para hundir un metro cuadrado de la base del bloque, podemos señalar que, para rocas secundarias se necesitan alrededor de 7 pies de tiros largos por metro cuadrado hundido. Esta cifra aumenta hasta valores cercanos a 10 pies de tiros largos por metro cuadrado hundido cuando se tiene roca primaria, siendo este caso referido a bloques donde se tienen una combinación de mena primaria y mena secundaria.

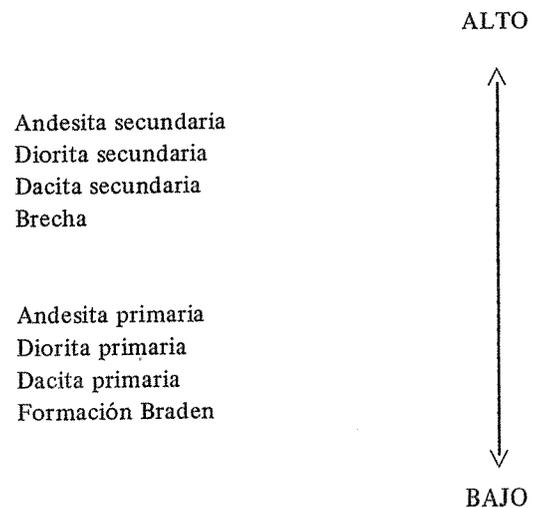
**Consumo de explosivos.** Existe relación directa entre la cantidad de tiros largos perforados y el consumo de explosivos. En efecto, para bloques en roca secundaria el consumo es del orden de 7 libras por metro cuadrado hundido y para roca primaria esta cifra puede llegar a 13 libras por metro cuadrado hundido. Esta última cifra se refiere a bloques donde ha habido una combinación de roca primaria y secundaria y donde predomina esta última. Es muy posible que esta cifra 13 lb/ m<sup>2</sup> sea muy superior cuando se trate de hundir un bloque constituido solamente por roca primaria.

Los explosivos usados en El Teniente son dinamita, ANFO (nitrato de amonio más Diesel N<sup>o</sup> 2) y APD-150.

**Desarrollos adicionales y formación de pilares de roca.** Cuando la roca tiene características favorables para hundir, el Departamento Mina excava o desarrolla el nivel de hundimiento según un esquema pre-establecido. Este esquema es modificado cuando se informa respecto de la existencia de zonas de rocas que se supone hundirán con dificultad. En estos casos el Departamento Mina desarrolla labores adicionales consistentes en estocadas excavadas entre las labores que limitan la zona problema, con el objeto de crear mayor número de caras libres y ayudar al normal hundimiento del bloque. Los posibles pilares de roca que queden sobre el nivel de hundimiento, concentran fuertes presiones durante el hundimiento del bloque que afectan el soporte de madera del nivel de producción. Estos pilares de roca se hunden reperforándolos con el fin de asegurar su fracturación. Para proteger el nivel de producción se refuerza el enmaderado de las zonas sobre las cuales pueden formarse pilares.

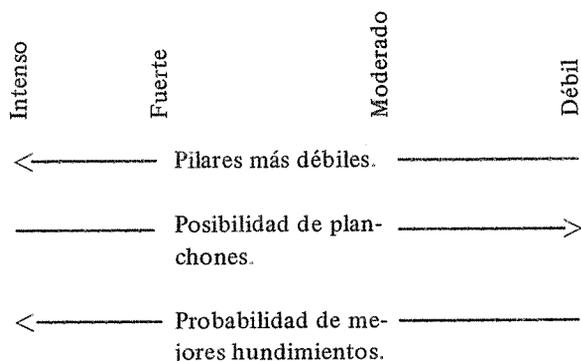
**Grado de hundimiento.** El grado de hundimiento de un bloque está controlado principalmente por los tipos de rocas, el fracturamiento y la dureza de ellas. Con el fin de mostrar estas relaciones se ha confeccionado el siguiente cuadro que señala respectivamente el grado de hundibilidad en relación a los tipos de roca y el grado de fracturamiento y dureza en relación a la eficiencia del hundimiento.

Grado de hundibilidad en relación al tipo de roca

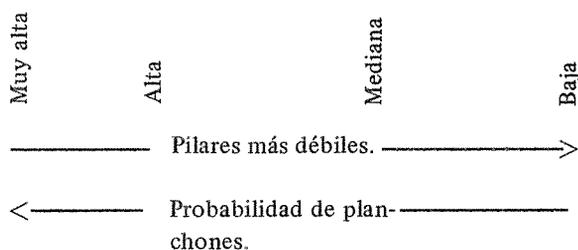


(\*) Se entiende por parada, la posición desde donde se perforan los tiros.

Eficiencia del hundimiento relacionado al fracturamiento



Eficiencia del hundimiento en relación a la dureza



**Casos prácticos.** A continuación se incluyen 3 ejemplos de bloques explotados en los que se muestra la utilización que el Departamento Mina hace de la información geotécnica. Se han elegido estos bloques porque tienen características geotécnicas contrastantes.

Las figuras 3, 4 y 5 muestran los tipos de planos y secciones con la información geológica y geotécnica para los bloques 225D 1/2E, 226A1/2B y 436C - 437A respectivamente.

Los gráficos A y B corresponden al plano y a la sección geológica respectivamente. En ellos se han representado además los laboreos del bloque. El gráfico C representa el soporte.

Los gráficos D y E representan el plano y la sección estructural de acuerdo a la simbología indicada al pie de cada figura.

El gráfico F indica los laboreos del bloque. En este mismo gráfico, y a una escala diferente enmarcada por un hexágono, se muestra lo siguiente:

- Las dos paralelas de línea continua corresponden al drift del nivel de producción.

- Las dos paralelas de línea de segmento corresponden al drift del nivel de hundimiento.

- Las líneas horizontales corresponden a la proyección horizontal de los tiros largos que se hayan proyectado desde cada parada.

- Las flechas corresponden a los tiros de levante.

Bajo el gráfico F se muestran en sección algunas de las distribuciones de tiros largos que se proyectan por cada parada, para roca primaria o secundaria.

Bloque 225D1/2E (fig. 3)

Area hundida: 5.400 m<sup>2</sup>

Altura: 100 m

Tipo de roca: andesita secundaria

Fracturamiento: fuerte

Dureza: mediana

Grado de hundibilidad estimado: alto

Soporte: standard. Marcos de madera de 12" x 12" en torno a buitras con marcos intermedios de 8" x 8" entre ellos.

Distribución de tiros largos: standard (\*)

Consumo de explosivos: 6,0 lb/m<sup>2</sup> hundido

Pies de tiros largos por m<sup>2</sup> : 6,54

Comentarios:

Este bloque es un caso típico en que se tienen condiciones geotécnicas favorables para un buen hundimiento. La mayor parte de los bloques hundidos a la fecha, son geotécnicamente muy similares. Este bloque se hundió sin presentar ningún tipo de problemas mayores.

Bloque 226A1/2B (fig. 4)

Area hundida : 5.400 m<sup>2</sup>

Altura: 100 m

Tipos de roca: - andesita secundaria

- brecha con huecos

Se analizan a continuación estos dos tipos de rocas por separado.

Andesita secundaria

Fracturamiento: fuerte a intenso

Dureza: mediana a baja

Grado de hundibilidad estimado: alto

Soporte: zonas de dureza baja: todos los marcos para estas zonas son de 12" x 12".

zonas de dureza mediana: standard

Distribución de tiros largos: standard

Brecha con huecos

Fracturamiento: moderado a intenso

Dureza: mediana a baja

Soporte: todas las zonas de dureza baja con marcos de

(\*) La distribución standard consiste en seis tiros largos por parada, en que se tienen dos tiros de levante central por cada seis paradas.

BLOCK : 436 C - 437 A  
 NIVEL Sub B Norte

ESCALA 1 : 2.000

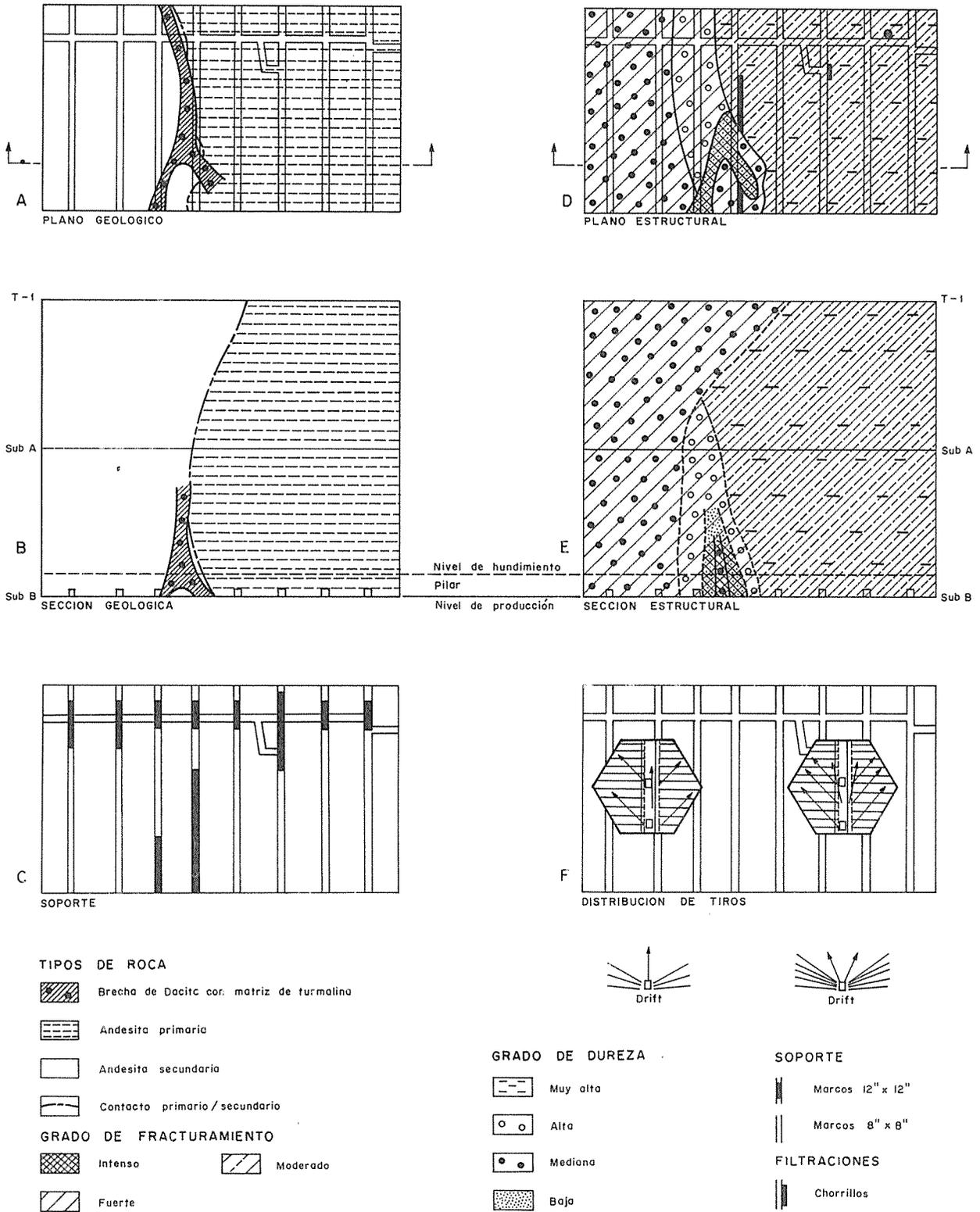


Figura 5. Tipos de planos y secciones con la información geológica y geotécnica para un bloque mixto, con rocas que presentan diferentes características geotécnicas. Se muestra el tipo de soporte y las distribuciones de tiros, distintas por cada unidad litológica.

12" x 12" y las zonas de dureza mediana con soporte standard.

Distribución de tiros largos: standard para toda el área hundida.

Consumo de explosivos para todo el bloque: 7,08 lb/m<sup>2</sup> hundido.

Pies de tiros largos/ m<sup>2</sup> hundido para todo el bloque: 6,45.

#### Comentarios:

En general, el bloque hundió sin dificultades. Para que esto sucediera hubo que reforzar el nivel de producción con un soporte adicional consistente en marcos de 12" x 12" para protegerlo del posible hundimiento del pilar de roca de 8 m. El consumo de explosivos fue mayor que en el bloque 226A1/2B, descrito anteriormente. La brecha con huecos consume más explosivos que la andesita, ya que gran parte de éste escurre por los huecos de la roca. Por esta causa hay que recargar continuamente los tiros perforados. A esto hay que agregar que los huecos de la brecha absorben en gran medida el poder destructivo del explosivo.

#### Bloque 436C-437A (fig. 5)

Área hundida: 8.316 m<sup>2</sup>

Tipos de roca: andesita secundaria, andesita primaria y dique de brecha.

##### Andesita secundaria

Fracturamiento: fuerte

Dureza: mediana a alta

Soporte: standard

Distribución de tiros largos: standard

##### Andesita primaria

Fracturamiento: moderado

Dureza: muy alta

Soporte: standard

Distribución de tiros largos: se tienen paradas de 10 tiros cada una. Además, se hacen 1 o 2 tiros de levante central, con dos tiros de levante laterales, alternados cada 2 o 3 paradas.

#### Dique de brecha

Fracturamiento: intenso

Dureza: baja

Soporte: toda la zona de brecha enmaderada con marcos de 12" x 12".

Distribución de tiros largos: standard

#### Comentarios:

Todas las zonas con dique de brecha que tenían dureza "baja" fueron reforzadas con marcos de madera de 12" x 12", para proteger el nivel de producción del posible hundimiento del pilar de roca. En la roca primaria se perforaron 6 tiros más por parada que en la roca secundaria. El consumo de explosivos para esta roca fue un 25% mayor que en roca secundaria.

#### CONSIDERACIONES FINALES

Los métodos geotécnicos descritos en este informe son los que se emplean actualmente y en forma sistemática en la explotación de la mina El Teniente. El diseño de los métodos es obra de los geólogos del Departamento de Geología de la mina donde los autores de este informe tuvieron directa intervención. Si bien es cierto que estas técnicas se han desarrollado de acuerdo a las condiciones geológicas y estructurales de la mina El Teniente, el presente estudio, podrá ser utilizado como aporte susceptible de ser adecuado a otras minas, de geología, estructura y método de explotación análogos.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Sociedad Minera El Teniente la autorización para la publicación de este trabajo.

#### REFERENCIAS

- Howell, F.H. and Molloy, J.S., 1960, Geology of the Braden Orebody, Chile, South America: Econ. Geology, v. 55, p. 863 - 905.
- Klohn, C., 1960, Geología de la cordillera de los Andes de Chile Central: Bol. n<sup>o</sup> 8, Inst. Invest. Geol., Santiago.