

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas



“Excavación de Caverna para Instalación de un Sistema de Molienda Semi Autógena”

Trabajo Profesional para Optar el Título de:

INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR:

ROLANDO QUISPE NUÑEZ

AYACUCHO - PERU

1999

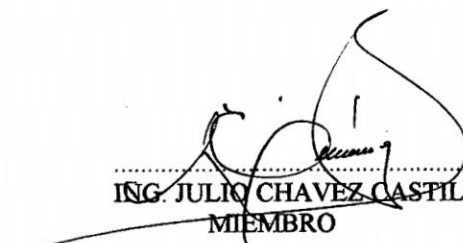
“ESCAVACION DE CAVERNA PARA INSTALACION DE UN SISTEMA DE MOLIENDA SEMIAUTOGENA”

RECOMENDADO 29 DE SETIEMBRE DE 1999 (ULTIMO DICTAMEN PARA LA SUSTENTACION)

APROBADO EL 12 DE OCTUBRE DE 1999 (FECHA DE SUSTENTACION)

.....
ING. GROVER RUBINA SALAZAR
MIEMBRO

.....
ING. CARLOS PRADO PRADO
MIEMBRO


.....
ING. JULIO CHAVEZ CASTILLO
MIEMBRO

.....
ING. EDMUNDO CAMPOS ARZAPALO
MIEMBRO

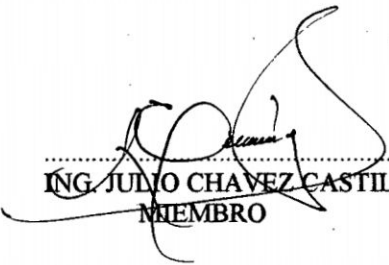
.....
ING. CESAR CRUZ CARBAJAL
PRESIDENTE
DECANO FIMGC

El Sr. Rolando Quispe Nuñez, ha sustentado el trabajo de Experiencia Profesional "ESCAVACION DE CAVERNA PARA INSTALACION DE UN SISTEMA DE MOLIENDA SEMIAUTOGENA", para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, el día 12 de Octubre de 1999, habiendo obtenido la nota aprobatoria de QUINCE (15); tal como consta en el libro de Actas respectiva, de la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil.

En fe de lo cual firmamos al pie del presente.

.....
ING. GROVER RUBINA SALAZAR
MIEMBRO

.....
ING. CARLOS PRADO PRADO
MIEMBRO


.....
ING. JULIO CHAVEZ CASTILLO
MIEMBRO

.....
ING. EDMUNDO CAMPOS ARZAPALO
MIEMBRO

.....
ING. CESAR CRUZ CARBAJAL
PRESIDENTE
DECANO FIMGC

.....
ING. CIRO BACA GUTIÉRREZ
SECRETARIO DE DOCENTE

DEDICATORIA

**A mis Padres ERASMO y FELICITA
eternamente agradecido, por todo
lo que hicieron por mi.**

**A mi Esposa JOSEFINA y mis Hijas
JOSEFINA Y BEATRIZ , por alentarme
y acompañarme todos estos años**

**A mis Hermanas ELENA y EMMA , por
el apoyo permanente.**

INDICE

RESUMEN	Pag.	1
CAPITULO 1.-INTRODUCCION	Pag.	2-5
1.1 Antecedentes		
1.2 Objetivos		
 CAPITULO 2.- ANTECEDENTES GENERALES	 Pag	 7-21
2.1- Alcance		
2.2 Descripción General del Proyecto		
2.2.1 Objetivos y Alcance		
2.3.- Obras del Contrato		
2.3.1 Generalidades		
2.3.2 Descripción del Area SAG		
2.3.2.1 Caverna SAG		
2.3.2.2 Caverna Chancado Pebres		
2.3.2.3 Caverna Sala Eléctrica		
2.3.2.4 Tolva de Alimentación		
2.3.2.5 Túneles Correa		
2.3.2.6 Acceso Principal Area Molienda		
2.3.2.7 Túnel de Ventilación		
2.3.2.8 Túnel de Conexión Chancado Pebbles Tolva de Alimentación		
2.3.2.9 Túnel de Conexión Tolva SAG-Tunel Acceso Principal		
2.4 Ubicación del Complejo SAG		
2.5 Clima		
2.6 Marco Geológico		
2.6.1 Geología Distrital		
2.6.2 Geología Yacimiento Río Blanco		
2.7 Mineralización		
 CAPITULO 3.- GEOLOGIA Y GEOTECNICA	 Pag.	 22-53
3.1 Antecedentes		
3.2 El Estudio Geológico de un Macizo		
3.2.1 Geología Local del Sector Complejo SAG		
3.3 El Estudio Geotecnico		
3.4 Caracterización Geomecánica Sector Complejo SAG		
3.4.1 Caracterización del Macizo Rocoso		

3.4.1.1 Generalidades

3.5 Caracterización Estructural

3.5.1 Conclusión

3.5.2 Parámetros Geotécnicos de Resistencia

3.6 Aguas Subterráneas

3.7 Clasificación Geomecánica

3.8 Disposición del eje de la Caverna frente a los planos de Discontinuidades del Macizo Rocoso

3.9 Evaluación del Estado Tensional

3.9.1 Antecedentes

3.9.2 Estado Tensional Insitu

3.9.3 Estado Tensional del Macizo Rocoso durante la Construcción de la Caverna SAG

3.10 Potenciales Bloques Críticos Caverna SAG

3.10.1 Análisis por Teoría de Bloques

3.10.2 Resultados del Análisis

3.11 Conclusión

CAPITULO 4.-METODO CONSTRUCTIVO

Pag

54-119

4.1 Antecedentes

4.2 Método de Excavación de la Caverna

4.2.1 Etapas Constructivas

4.3 Etapa N°1 Excavación del Arco techo

4.3.1 Alcance

4.3.2 Generalidades

4.3.3 De la Operación Arco Techo

4.3.4 De la Operación Nivel Piso de la Caverna

4.4 Etapa N°2 Perforación y Hundimiento Zanja Central

4.4.1 Alcance

4.4.2 Generalidades

4.4.3 De la Operación

4.5 Etapa N°3 Excavación mediante Banqueo H=5.0m (BH5)

4.5.1 Alcance

4.5.2 Generalidades

4.5.3 De la Operación

4.5.3.1 Primer Banqueo BH5

4.5.3.2 Segundo Banqueo BH5

4.6 Etapa N°4 Excavación mediante Banqueo H=6m (BH6)

4.6.1 Alcance

4.6.2 Generalidades

4.6.3 De la Operación

4.6.3.1 Tercer Banqueo BH6

4.6.3.2 Cuarto Banqueo BH6

4.7 Etapa N°5 Desquinche de Dados, Piso y Terminaciones

4.7.1 Alcance

4.7.2 Generalidades

4.7.3 De la Operación

4.8 Consideraciones de la Construcción

4.8.1 Del personal

4.8.2 De los Equipos

4.8.3 De los Elementos de Protección Personal

4.8.4 Control de riesgos

CAPITULO 5.- PERFORACION Y VOLADURA

Pag. 120-174

5.1 Introducción

5.2 Antecedentes

5.3 Etapa N°1 Perforación y Tronadura Arco Techo

5.3.1 Diagrama de Perforación y Tronadura Arco Techo

5.3.2 Consideraciones de la Perforación

5.3.3 Consideraciones del Carguio

5.3.4 Operaciones involucradas en una Tronadura

5.3.4.1 Revisión de Tiros

5.3.4.2 Cierre del Area a Tronar

5.3.4.3 Preparación y ubicación de Primas

5.3.4.4 Carguio

5.3.4.5 Amarre

5.3.4.6 Coordinación para efectuar la Tronadura

5.3.4.7 Quemada

5.3.4.8 Revisión

5.4 Etapa N°2 Perforación y Tronadura Zanja Central

5.4.1 Antecedentes

5.4.2 Perforación Zanja Central

5.4.2.1 Determinación del Diámetro de Perforación

5.4.2.2 Diseño de la Tronadura Zanja Central

5.4.3 Tronadura

5.4.3.1 Determinación de la Carga Explosiva para realizar la Excavación de la Zanja Central (análisis por Vibraciones)

5.4.4 Operaciones involucradas en la Tronadura Zanja Central

5.4.4.1 Limpieza de Tiros

5.4.4.2 Revisión de posos

5.4.4.3 Cierre del Area a Tronar

5.4.4.4 Preparación y ubicación de Primas

5.4.4.5 Carguio

5.4.4.6 Amarre

5.5 Etapa N°3 y4 Perforación y Voladura Banqueo BH5 y BH6

5.5.1 Antecedentes

5.5.2 Perforación de los Bancos BH5 y BH6

5.5.3 Determinación de la Altura de los Bancos

5.5.4 Determinación de la Pasadura

5.5.5 Operaciones involucradas en la Tronadura Banqueo BH5y BH6

5.5.5.1 Limpieza de Tiros

5.5.5.2 Revisión de Pozos

5.5.5.3 Cierre del Area a Tronar

5.5.5.4 Preparación y ubicación de Primas

5.5.5.5 Carguio

5.5.5.6 Amarre

5.5.5.7 Coordinación para efectuar la Tronadura

5.5.5.8 Quemada

5.5.5.9 Revisión

5.6 Coordinación para efectuar la Tronadura

5.6.1 Quemada

5.6.2 Revisión

5.7 Evacuación del Personal y Aislación del Area para realizar la Tronadura

5.7.1 Coordinación y responsabilidades

5.7.2 Generalidades

5.8 Medidas de control de riesgos considerados en la operación

5.9 Ventilación

5.9.1 Condiciones de diseño

5.9.2 Descripción de las Obras

5.9.3 Determinación de los caudales

5.9.4 Posibles sistemas alternativos de Ventilación

5.9.5 Sistemas a Emplear

5.9.6 Sugerencias y consideraciones para la Ventilación

CAPITULO 6.- PLANIFICACION DE LOS TRABAJOS

Pag. 175-187

6.1 Introducción

6.2 Planificación

6.3 Programación y Control

6.3.1 Actividad

6.3.2 Carta Gantt

6.3.3 Malla de Programación

6.3.4 Recursos de Curva Operacional

6.3.5 La Curva S

6.3.6 Hitos

CAPITULO 7.- EVALUACIÓN ECONOMICA

Pag. 188-200

7.1 Antecedentes

7.2 Estructura de un Precio

7.2.1 Costo Directo

7.2.1.1 Mano de Obra

7.2.1.2 Materiales

7.2.1.3 Equipos y Maquinarias

7.2.2 Costo Indirecto

7.3 Estimación de Recursos

7.3.1 Mano de Obra

7.3.2 Materiales

7.3.3 Equipos

7.4 Costos Unitarios

7.4.1 Costo Excavación Caverna SAG

7.4.2 Costo Excavación Pernos L = 6 m.

7.4.3 Costo de Fortificación Malla Inchalan 10010

7.4.4 Costo de Fortificación Malla C- 139

7.4.5 Costo de Shotcrete

7.5 Consideraciones en los Precios

CAPITULO 8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Pag.201-207

8.1 Conclusiones

8.2 Recomendaciones

ANEXOS

Pag.208-242

Anexo N°1 Clasificación Geomecánica

Anexo N°2 Explosivos y Accesorios

Anexo N°3 Diagrama de Disparo

Anexo N°4 Diseño Diagrama Chimenea

RESUMEN

El presente trabajo se realiza en la Empresa Minera Andina, Unidad perteneciente a la Corporación Minera Codelco Chile, entre Enero –Noviembre del año 1996.

Para su ejecución, Minera Andina licita el Contrato A1C- 001 – 96 " Construcción de Túneles y Excavaciones Subterráneas Area SAG " la cual fue ganada por la Empresa Constructora DBK ; en la cual preste servicios de Noviembre 1995 a Octubre 1998.

División Andina de Codelco-chile inicia la ampliación de todas sus instalaciones con el objeto de duplicar su producción de cobre fino. Una de sus áreas mas importantes es el Concentrador, el que será ampliado con la Construcción del Complejo SAG, a partir de año 1996.

Esto significa la construcción de múltiples Cavernas de grandes dimensiones, con la característica principal de tener una sección superior a los 100 m² o una luz mayor a los 15 m. La caverna SAG es la obra más importante a construir, dentro de este complejo,

El presente trabajo comprende una metodología que permita desarrollar en forma segura y eficaz la construcción de dicha Caverna.

La metodología de Construcción será desarrollada, por el método perforación y tronadura, en sentido descendente. Dada la forma y tamaño de esta, se dividió en etapas constructivas. Lo primero que se excavara será el arco - techo o la parte curva del techo, una vez terminado esta, se continuara con la zanja central, ubicada en el eje longitudinal de la Caverna, con el objeto de crear la cara libre para los futuros bancos pegados a los costados Norte, Sur, Este y Oeste de la Caverna. Posteriormente la altura restante se dividirá en bancos, generando cuatro bancos en la vertical (dos de altura 5m y dos de altura 6 m.), el resto de los desarrollos se excavan en forma horizontal.

Se realizaron importantes estudios geológicos y geotécnicos, determinando las características de la roca y del macizo rocoso, sobre la base de estos análisis y resultados se efectuó la Construcción de la Caverna SAG.

La planificación de este tipo de trabajos se efectúo por medio de carta Gantt,CPM y el avance físico se controlo a través de las Curvas S .

Se obtiene buenos resultados con la metodología aplicada.

Capítulo 1. - INTRODUCCION

1.1 .- ANTECEDENTES

La compañía minera Andina es una de las divisiones productivas más jóvenes de Codelco - Chile, esta produce concentrados de Cobre y un subproducto de Molibdeno, cuenta con 26 años de continua explotación. Sus antecedentes son testigos del continuo espíritu de superación de esta división, en sus inicios comenzaron con una producción de 10 KTPD y ahora con el Proyecto Expansión se llegará a aumentar de 33.5 KTPD actuales a 64 KTPD. Siendo este yacimiento considerado como uno de los más grandes en cuanto a reservas.

División Andina se encuentra en la etapa de pre - producción del Proyecto Expansión 64 KTPD, en el año de 1999 deberá alcanzar la producción proyectada. En el período de preproducción se deberán realizar todas las construcciones, ampliaciones, adecuaciones etc., en las diferentes áreas que implica esta expansión, estas áreas son: Area Minería, Area Procesos, Area Infraestructura.

Dentro del Area Procesos y como parte importante del Proyecto Expansión 64 KTPD está la ampliación del Concentrador Subterráneo. Debido a la topografía tipo montañosa existente, las inclemencias del clima durante el invierno y el aseguramiento de la continuidad del proceso, esta ampliación será subterránea. Por lo tanto, se deberán construir nuevos túneles y cavernas; varias de estas obras para su ejecución han sido licitadas en el contrato denominado "Construcción de Túneles y Excavaciones Area SAG".

Como parte de la ampliación del Concentrador, se tiene la instalación de un Sistema de Molienda Semiautógena, aquí se instalará el molino SAG, el que tiene un potencia de 16.000 HP, que tendrá una capacidad de molienda de 31.064 TPD, equivalente a 1.463 TPMH, tomando un 90 % del tiempo real de trabajo, este molino junto con el sistema de molienda que lo acompaña, debido a sus grandes dimensiones, necesita de un gran espacio para su instalación.

Es así que se debe construir una gran excavación denominada Caverna SAG, que albergará principalmente al molino SAG y dos molinos de Bolas (volumen de excavación aprox. 104.000 m³).

La Caverna SAG es la obra más grande a ser excavada de las obras subterráneas de la ampliación del Concentrador, constituye aproximadamente el 53 % del volumen total del contrato en construcción en roca in-situ, constituyéndose en la parte crítica del contrato y por consiguiente la obra de mayor importancia del Complejo de Obras SAG.

El estudio comprende la Metodología de Construcción de la Caverna SAG, cuyas dimensiones son: ancho = 27.8 m, largo =128.4 m con una altura promedio de 35 m, fortificada en el techo con pernos de 6 m, malla acma C-139 y shotcrete; en el sector de las paredes con pernos de 6 m y malla galvanizada tipo inchalam 10010.

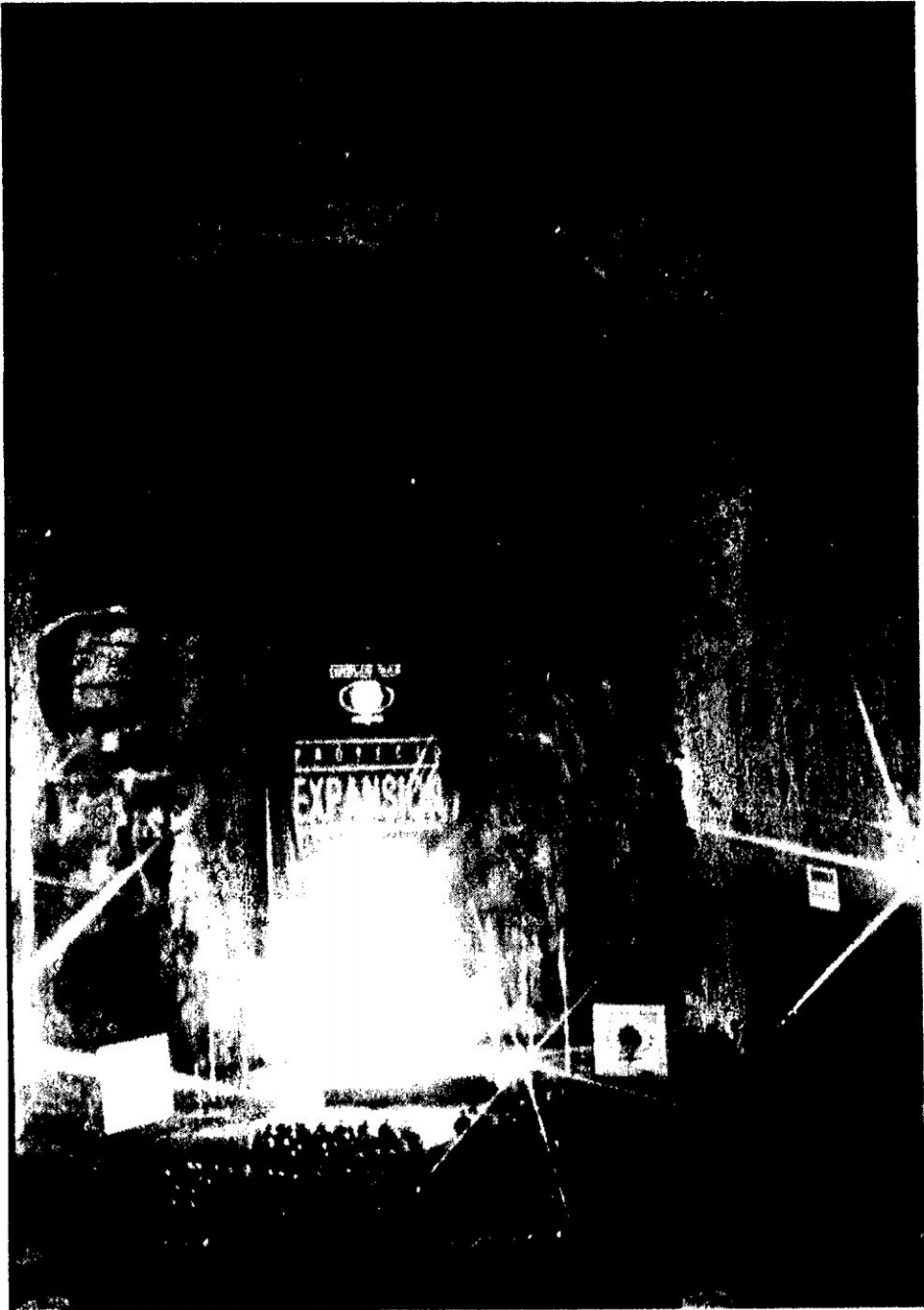
El enfoque empleado en el desarrollo del tema , comprende :

- Objetivo de la obra Subterránea (instalación de Tipo Industrial)
- Geometría del Proyecto Trazado y Sección Tipo
- Geología y Geotécnica del Macizo Rocoso
- Sistema Constructivo
- Planificación
- Evaluación Económica

Los alcances, son orientar la forma de llegar a definir la Construcción de la Caverna técnicamente atractiva, que cumpla con todas las disposiciones legales exigidas, dependiendo del trabajo y garantizar que el trabajo se desarrollará en forma segura sin exponer el personal y equipos a riesgos innecesarios, tomando en consideración que esta es la mas grande en CHILE, segunda en AMERICA y la numero 12 en el mundo, desde el punto de vista volumen excavado.

1.2 .- OBJETIVOS

- Definir una metodología de construcción y planificación de la caverna SAG, en forma segura, eficiente y económica.
- Debido a lo poco común, la construcción de la caverna SAG de esas dimensiones, es necesario dejar una metodología clara y precisa, con el propósito de que sirva de apoyo para la formación académica de los estudiantes, futuros ingenieros, y esta pueda ser utilizada en trabajos similares.



Capítulo 2 . ANTECEDENTES GENERALES

2.1 .- ALCANCE

Este capítulo, indicara el objetivo general del Proyecto Expansión de División Andina, el cual involucra la expansión del actual Concentrador subterráneo. Todo el conjunto de obras subterráneas para esta ampliación se denomina Complejo Subterráneo SAG.

Además se entrega la información técnica, ubicación, clima, geología necesaria para llevar adelante la construcción de la obras que corresponden al Contrato Construcción de Túneles y Excavaciones Subterráneas Area SAG.

2.2 .- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO EXPANSIÓN

2.2.1.- Objetivo y Alcance

El Proyecto Expansión tiene programado trabajar con los rajos Sur-Sur y Don Luis a partir del año 1999, las reservas minerales por rajo ascienden a 265 Mt con ley 0.976 % Cu y 868 Mt de estéril, estas reservas contenidas exceden los requerimientos totales de producción de la expansión, por tal razón, se ha procedido ha extraer las mejores 208 Mt, para un horizonte de planificación de 20 años.

El Proyecto Expansión a 64 KTPD de DIVISIÓN ANDINA CODELCO-CHILE tiene como objetivo central, aumentar la producción de mineral tratado, tomando como base las actuales 33,5 KTPD hasta alcanzar las 64 KTPD , o la equivalencia promedio de 218,8 mil toneladas de cobre fino anuales promedio para 20 años de operación, por consiguiente la disminución de los costos de operación , mejorando substancialmente la rentabilidad de la División.

2.3.- OBRAS CONTRATO SAG

2.3.1.- Generalidades

El Contrato "Construcción de Túneles y Excavaciones Subterráneas Area SAG". es parte del Proyecto Expansión 64 Ktpd . Consta de aproximadamente 192.000 m³ de roca in-situ, que deberán ser excavados durante un plazo de 540 días corridos, siendo la obra mas relevante la Caverna SAG .

Las obras que constituyen este contrato están agrupadas en seis áreas principales de actividades, esta división se realizó en base al objetivo para las cuales serán creadas (Ver Tabla N° 2.1).

Como conclusión de la tabla N° 2.1 se tiene, que la obra más relevante del contrato es la Caverna SAG, seguida de la tolva de Almacenamiento SAG, las demás cavernas y sistema de túneles.

Tabla N° 2.1 AREAS PRINCIPALES DE ACTIVIDADES CONTRATO A1C - 001 - 96

ITEM	AREA PRINCIPAL	OBJETIVO DE LA OBRA	VOLUMEN (M³) INSITU APROX.
1	Caverna de Descarga a Tolva de Alimentación SAG.	Traspaso de mineral correa C-5E a la tolva de alimentación de la molienda SAG.	4610
2	Caverna SAG, Caverna Pebbles y Tolva de Almacenamiento	Instalación molino SAG, molinos de bolas, chancadoras de cono, acopio de mineral para un día de operación de la planta	144459
3	Túneles y Conexiones del Area de Molienda SAG.	Transito de personal, transporte de mineral en las diferentes etapas, de molienda, el suministro de energía eléctrica, abastecimiento de repuestos, insumos etc., .	12828
4	Ventilación Area Molienda SAG .	Permite ventilar y refrigerar las instalaciones al interior del complejo	5951
5	Túnel de Servicio, Ampliación de la Caverna de Flotación y Sala Eléctrica	Crear espacio necesario para instalar nuevos equipos	7719
6	Túneles y Rampas de Conexión	Conectar el Haulage I y II, la caverna de descarga de la tolva de alimentación SAG con el Haulage II .	16716

2.3.2.- Descripción del Area SAG .

Las labores que contemplan el Contrato A1C-001-96, se muestran en la Figura N° 2..1 (isotérmico general de las principales obras del Complejo SAG).

Las características geométricas de las principales obras que componen este complejo se describen a continuación:

2.3.2.1.- Caverna SAG

Es la labor más relevante a ser excavada, tiene una longitud promedio de 128.4m, un ancho de 27 m y una altura promedio de 35 m. La sección de esta obra es de forma abovedada rectangular, su piso no es uniforme, tiene diferentes gradientes, también existen partes internas de la caverna que no deben ser excavados, dos paralelepípedos rectangulares pegados a la pared Oeste de la caverna (ver figura N° 2.2) .

2.3.2.2.- Caverna Chancado Pebbles

Corresponde a una caverna de 58 m de longitud total, su sección es variable, a continuación se presenta las tres (3) secciones que componen esta excavación (ver figura 2.2).

2.3.2.3.- Caverna Sala Eléctrica

Esta caverna tiene una longitud de 72 m., tiene una sección de 15 m de ancho y una altura de 9 m. Su orientación es paralela a la caverna SAG, se ubica junto a la misma, como se puede observar en el Plano General Obras Contrato Area SAG.

Tabla N° 2.2 SECCIONES DE LA CAVERNA PEBBLES

Sección	1^{ra}	2^{da}	3^{ra}
Ancho m	14	13	7,1
Alto m	28	8,4	4
Largo m	11	4.6	2

COMPLEJO SUBTERRANEO DE MOLIENDA SAG.
 PROYECTO EXPANSIÓN 64 KTPD
 DIVISION ANDINA CODELCO - CHILE

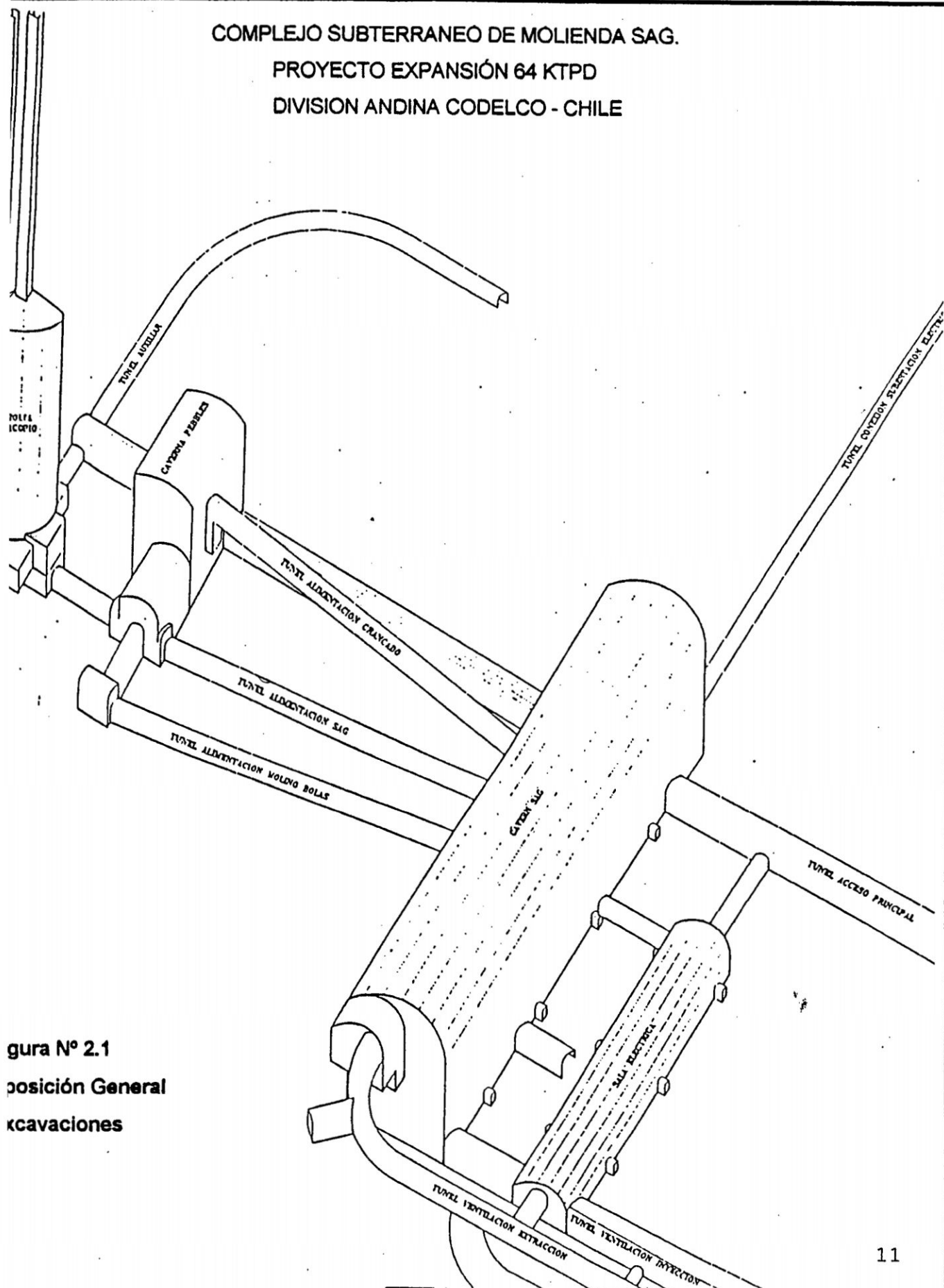


Figura N° 2.1
 Posición General
 Excavaciones

COMPLEJO SUBTERRANEO DE MOLIENDA SAG.
PROYECTO EXPANSIÓN 64 KTPD
DIVISION ANDINA CODELCO - CHILE

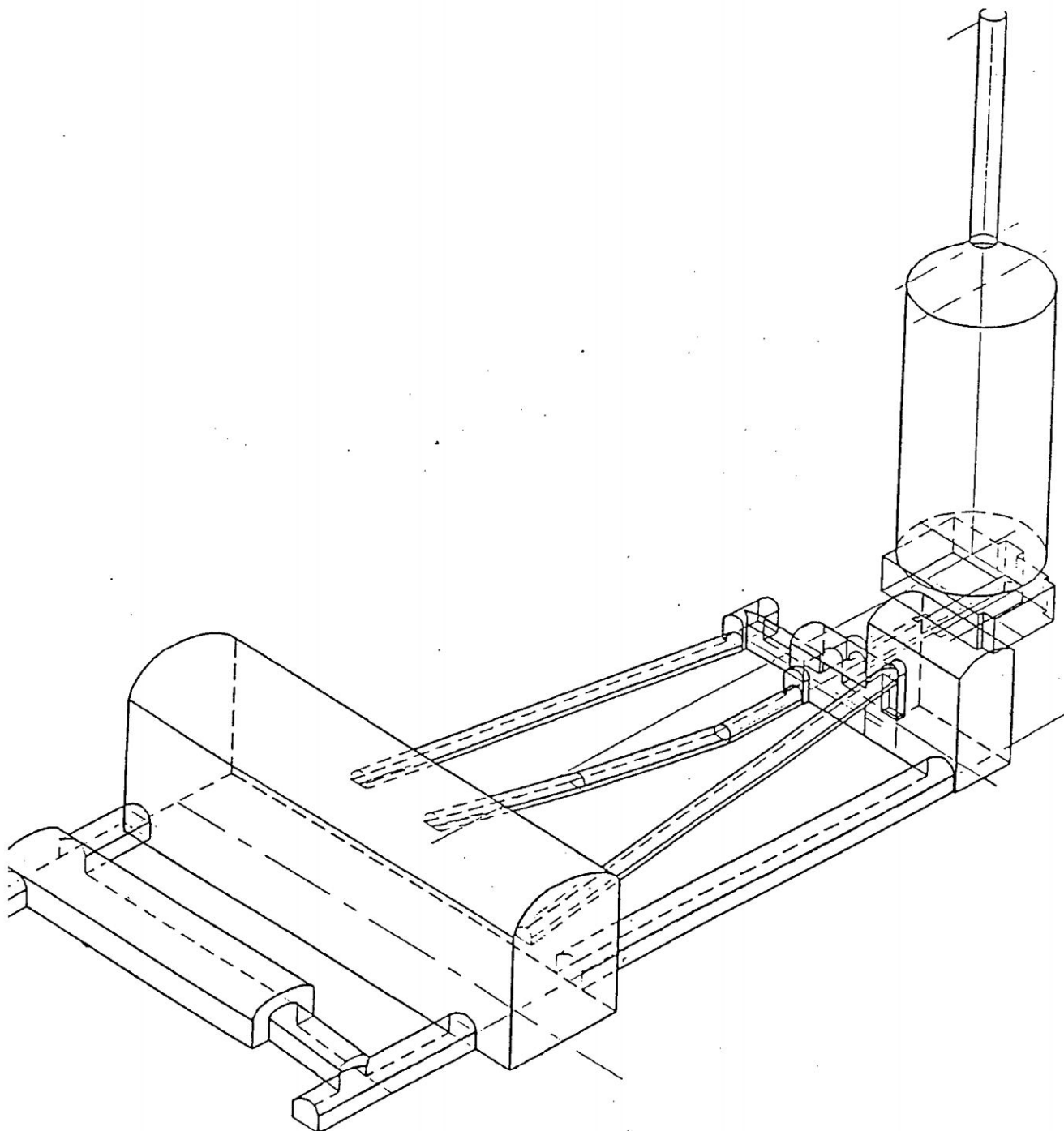


Figura N° 2.2
ISOMETRICO CAVERNA SAG - PEBBLES

2.3.2.4.- Tolva de Alimentación

Corresponde a una excavación de sección circular de 71 m de altura por una sección de 20 m de diámetro, la parte superior de la tolva termina en un cono de 8,2 m de alto; a continuación se encuentra el Pique de Alimentación de la Tolva SAG con una sección de diámetro 3,5 m y una altura de 45,75 m, este pique al final disminuye su sección a 1,5 x 3,5 con una altura de 7 m. conectando en la Estación de Descarga. La Tolva de Alimentación tendrá una capacidad 30.000 Ton, y se encuentra ubicada al oeste de la Caverna Pebbles, a una distancia de 34 m (ver figura 2.3).

2.3.2.5.- Túneles Correa

Se tiene tres túneles que conectan al Chancador Pebbles con la Caverna SAG, Túneles Correa A -11 , Correa A -15 y Correa A - 9 , con diferentes pendientes , la distancia entre los ejes de las cavernas es de 115 m, la función de estas correas son :

Túnel Correa A -11 = Túnel Alimentación Chancado , sección 3.5 * 3.5 m .

Túnel Correa A - 9 = Túnel Alimentación SAG , sección 4.0 * 3.8 m .

Túnel Correa A - 15 = Túnel alimentación Bolas , sección 3.5 * 3.5 m .

2.3.2.6.- Túneles de Acceso Principal Area Molienda

Esta labor tiene una longitud de 163 m, que permite el acceso directo de la superficie hacia la caverna de molienda SAG, sala eléctrica, chancador Pebbles y la tolva de alimentación SAG. Su sección es de 7 x 6 m .

2.3.2.7.- Túnel de Ventilación

a) **Túnel de Inyección.-** Esta labor tiene una longitud de 138 m. Con una sección transversal de 7x6m., uniendo directamente la superficie con el piso de la caverna SAG entre la pared este y pared sur de la misma.

b) **Túnel de Extracción.-** El túnel de extracción corresponde a una excavación de aproximadamente 130 m de longitud, con una sección de 5 x 5 m, tiene su inicio en la parte alta de la pared sur de la caverna de molienda y seguido de hacer una curva, conecta directamente con la superficie.

COMPLEJO SUBTERRANEO DE MOLIENDA SAG.

PROYECTO EXPANSIÓN 64 KTPD

DIVISION ANDINA CODELCO - CHILE

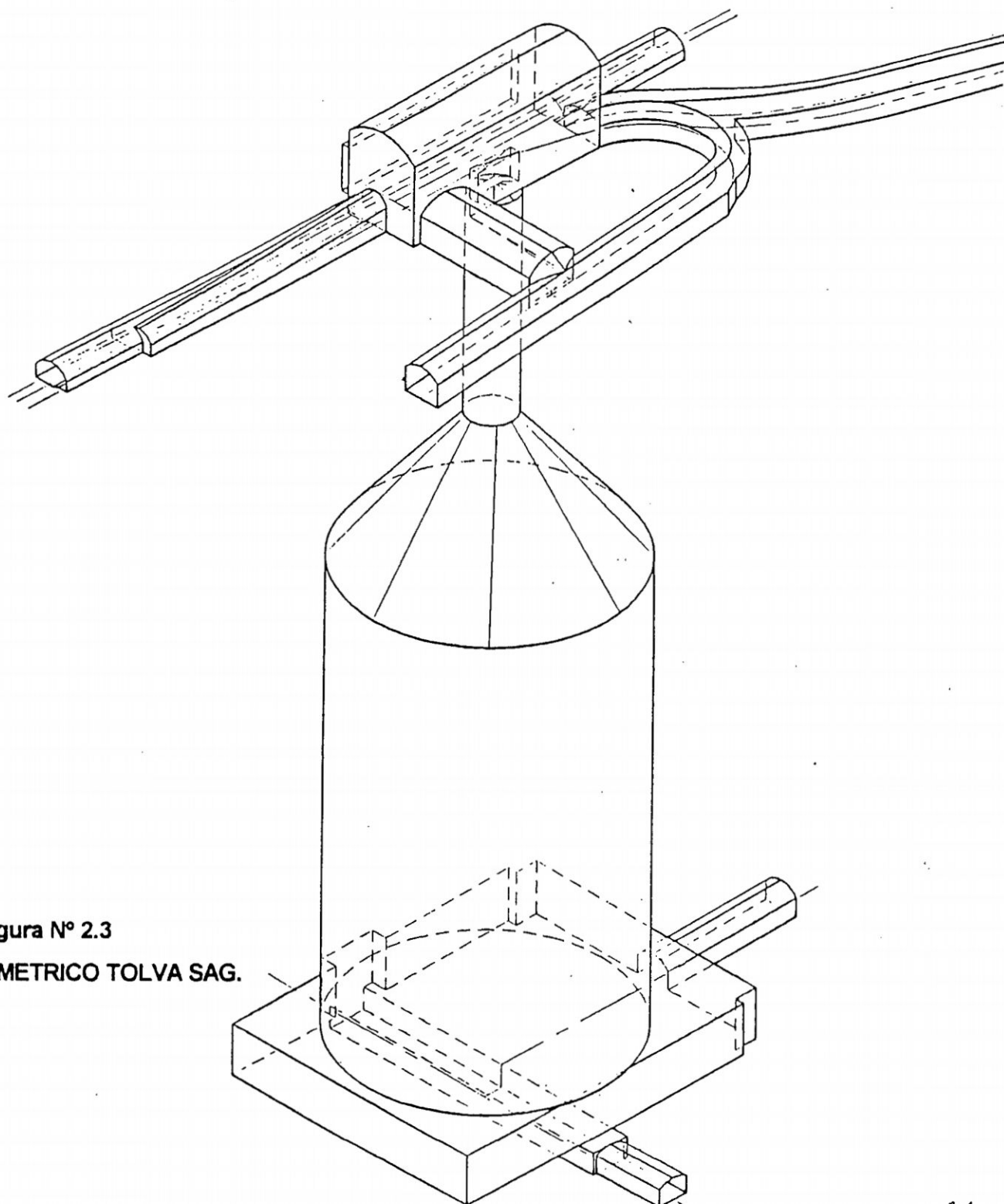


Figura Nº 2.3

OMETRICO TOLVA SAG.

2.3.2.8.- Túnel de Conexión Chancador Pebbles - Tolva de Alimentación

Corresponde a una excavación de 23 m de longitud con una sección transversal 3,5 x3,5 m.

2.3.2.9.- Túnel de Conexión Tolva SAG - Túnel acceso Principal

Corresponde a una excavación de 14 m de longitud con una sección transversal de 3,5x3 m .

2.4 .- UBICACIÓN DEL COMPLEJO SUBTERRANEO SAG

El yacimiento Río Blanco - Los Bronces se encuentra ubicado en la V Región, en la Cordillera de los Andes, en la cabecera de la cuenca del Río Aconcagua, en el valle Río Blanco; aproximadamente a 50 Km. en línea recta al Nor - Este de Santiago y a 38 Km. al Sur-Este de la ciudad de Los Andes (ver figura 2.4) . La mina subterránea Río Blanco, se encuentra a 31 Km. al sur de Saladillo a 3638 m.s.n.m. El rajo Sur-Sur se encuentra distante 1,6 Km. al sur - este de la mina subterránea, a 4150 m.s.n.m.

El Concentrador se encuentra ubicado a 2900 m.s.n.m. y 26 Km. al Sur del Campamento Saladillo. Debido a las condiciones climáticas adversas del período invernal, la topografía tipo montañoso y a objeto de asegurar la continuidad de la producción, fue necesario diseñar una Planta de Concentración Subterránea, además de dependencias especiales para el alojamiento de los trabajadores. El complejo de Obras Subterráneas SAG se encuentra ubicado al costado Sur del Concentrador.

El acceso a la División se efectúa en una primera parte a través del camino internacional Los Andes - Mendoza, donde a la altura del Km. 31 se tiene el pueblo Río Blanco, aquí se cambia de dirección continuando hacia el sur por una vía completamente asfaltada, hasta llegar al Campamento Saladillo.

La única vía de acceso a la mina, se extiende a lo largo de un angosto valle cordillerano, ascendiendo desde 1.650 m.s.n.m. en Saladillo, hasta los 4.000 m.s.n.m. en el Rajo Sur Sur. Esto le da características propias de cordillera a la zona , sujetas a las inclemencias propias de la naturaleza, como: altura, hielo, nieve, viento, bajas temperaturas, avalanchas y derrumbes.

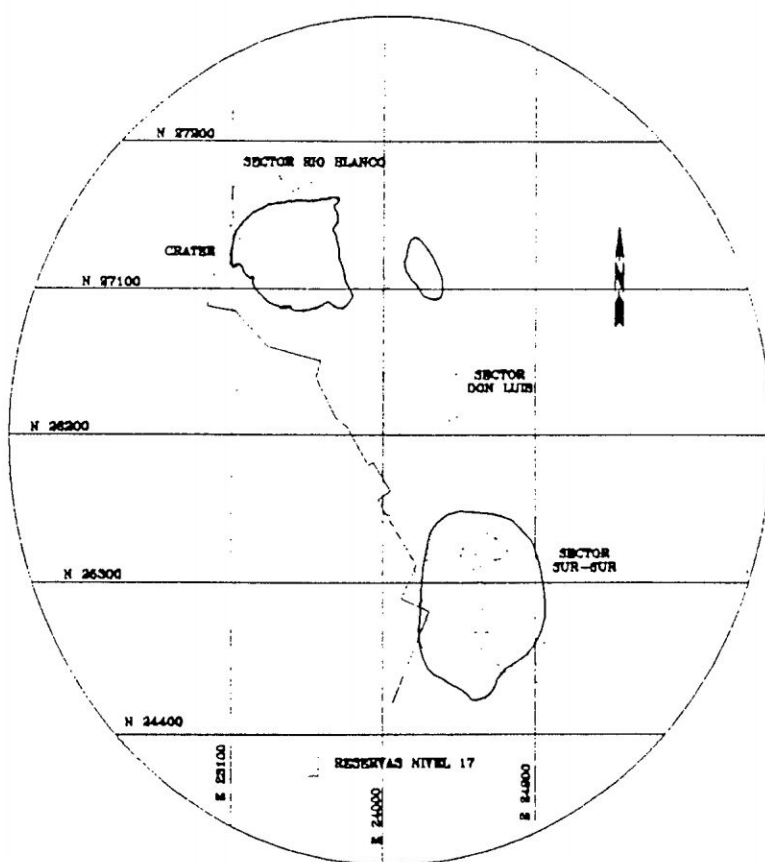
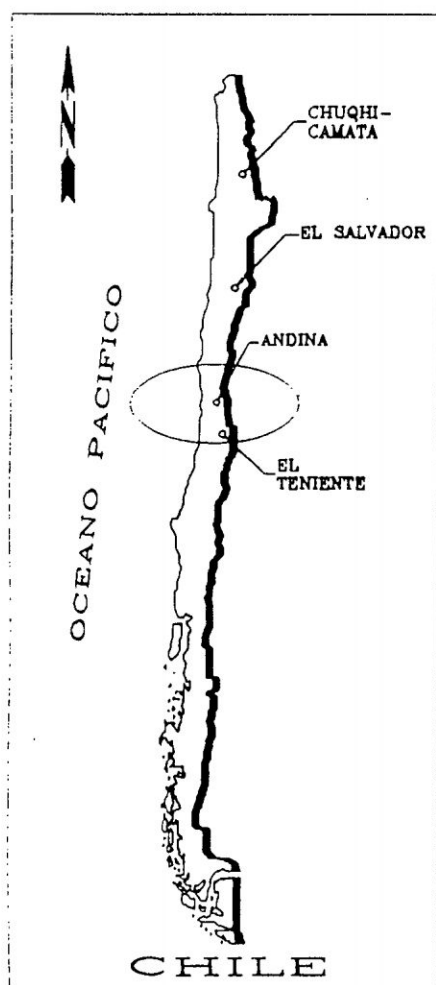
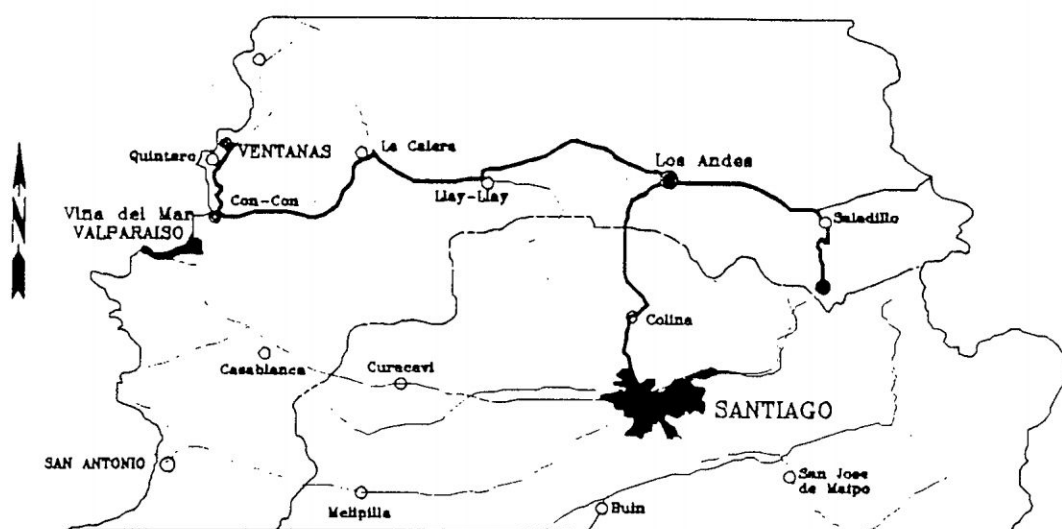


Figura N° 2.4 UBICACIÓN DEL YACIMIENTO

En la figura 2.5 y 2.6 se presenta un mapa de ubicación del complejo de molienda Semiautógena SAG.

2.5.- CLIMA

El clima en valle Río Blanco es típico de la alta cordillera y se caracteriza por lo siguiente

- Precipitaciones de Nieve, principalmente en los meses de Abril - Octubre .
- Temperaturas ambientales muy bajas en otoño - invierno y de moderadas a altas en primavera - verano. La temperatura media anual es de 6.4 °C.
- Un promedio de humedad relativa del aire inferior al 50%

El valor promedio anual de precipitaciones de nieve caída, expresada en valor medio de agua es de 750 mm. y la máxima anual de nieve de 27 m., En el sector Sur-Sur, mediante estaciones meteorológicas portátiles, se han obtenido registros de temperaturas entre un mínimo de -30 °C y una máxima de 8.4 °C. La humedad relativa fluctúa entre 25 y 90% con un promedio de 45%. Las rachas de viento han alcanzado un máximo de 60 km./h; la dirección predominante del viento es NW-SE .

2.6 MARCO GEOLÓGICO

2.6.1 GEOLOGÍA DISTRITAL

El yacimiento Río Blanco se encuentra ubicado en la cordillera central de los Andes . En la región afloran principalmente rocas volcánicas andesíticas, intercaladas con sedimentitas continentales, intruidos por plutones granodioríticos y por rocas del Complejo Sub.volcánico Río Blanco. Las rocas intrusivas y volcánicas estratificadas según las dataciones radiométricas K / Ar se han asignado al Cenozoico.

Vista en Planta de la vía en
Superficie que une el Campamento
Saladillo con la Mina Subterránea
Río Blanco y el Rajo Sur - Sur

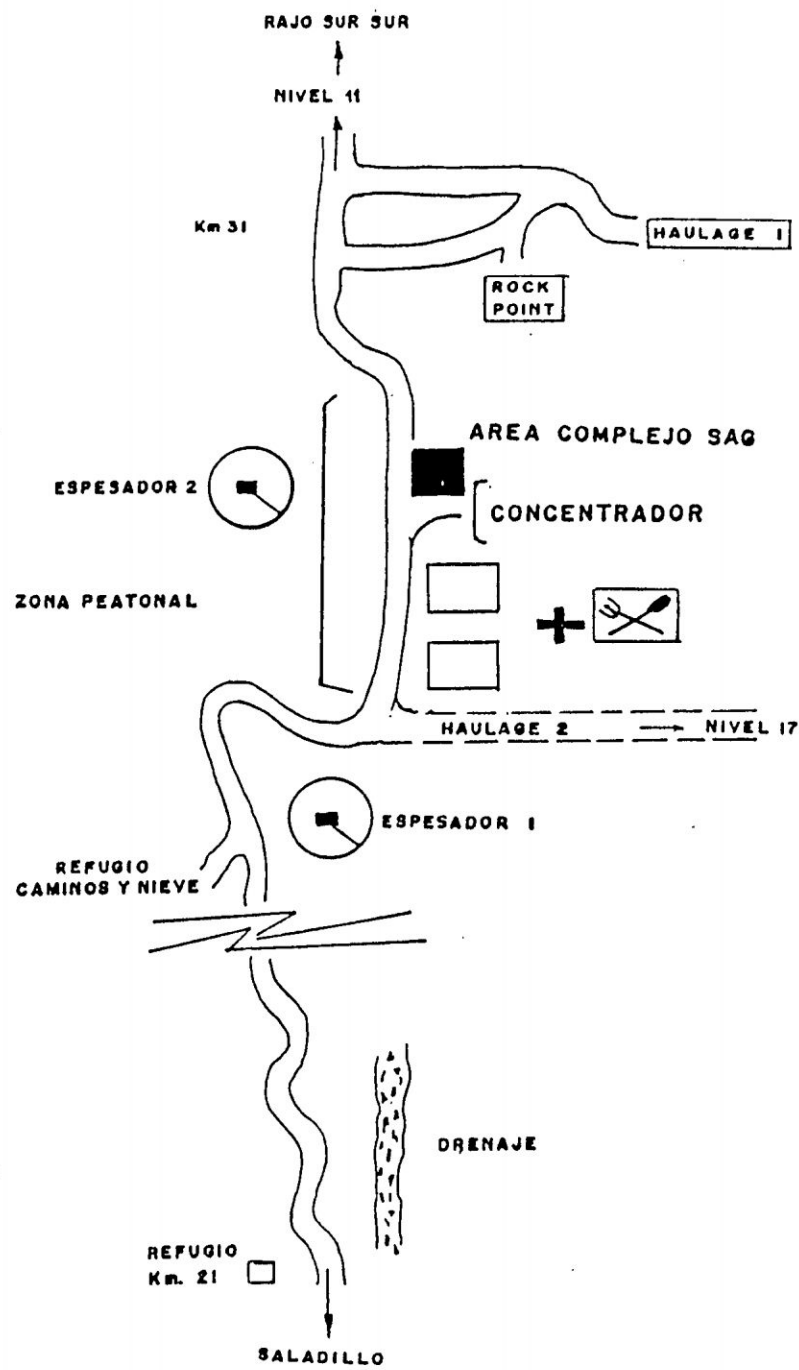


FIGURA Nº 2.6 UBICACIÓN DEL COMPLEJO SAG EN DIVISIÓN ANDINA

Estratigrafía

Las rocas más antiguas de la región son sedimentos continentales del Jurásico, y sedimentos marino-continental del Cretácico Temprano, afloran en la cordillera de los Andes, ubicados en el límite internacional con Argentina, desde la latitud 32° 20' hacia el sur.

Sobre estas rocas y en discordancia, se han depositado las rocas de la Formación Abanico, se acuerdo dataciones radiométricas de K/Ar, efectuados sobre rocas de esta unidad, permitieron ubicar este volcanismo en el lapso Cretácico Superior - Oligoceno.

Las rocas de la Formación Abanico corresponden a una secuencia estratificada de volcanitas y sedimentitas clásticas terrígenas. Los estratos de esta Formación aparecen frecuentemente deformados por plegamiento bien marcados.

Sobreyaciendo a la Formación anterior en discordancia angular, se encuentra la Formación Farellones, conformada por una secuencia de lavas andesíticas y basálticas con intercalaciones de tobas y brechas volcanoclásticas, constituyendo secuencias estratificadas sub. horizontales. La Formación Farellones de acuerdo a dataciones radiométricas K / Ar, señalan una edad Mioceno Inferior.

Rocas Intrusivas

Las rocas intrusivas que afloran en el área, pertenecen a la fase Terciaria del magmatismo calcoalcalino que acompañó en sus fases finales al ciclo Tectónico Andino y se extendió a la mayor parte de los Andes del territorio Chileno. Los afloramiento de las rocas intrusivas son discontinuos, presentándose en una banda aproximadamente norte-sur de plutones granodioríticos.

El magmatismo calcoalcalino que originó estos intrusivos representaría, las fracciones diferenciadas mesosilícicas y silícicas en relación genética directa con los efusivos basálticos y andesíticos de los miembros inferiores de la Formación Farellones; los cuales constituirían una fase primaria no diferenciada que extruyó bajo la forma de lavas. El Plutón Río Blanco - San Francisco es de composición intermedia a félsica, abarca una extensión de más de 100 Km².

2.7.2 GEOLOGIA DEL YACIMIENTO RIO BLANCO

El yacimiento Río Blanco es un depósito mineral que corresponde al tipo Pórfido Cuprífero, edad miocena, que se caracteriza por poseer reservas mayores a 4800 millones

de toneladas con leyes medias aproximadas a 0,72 % de Cu y 0,022 % de Mo, constituyendo un mega depósito ubicado entre los diez más grandes de su clase conocidos actualmente en el mundo.

El depósito está constituido por zonas de mineralización claramente diferenciadas entre sí; un núcleo central de desarrollo temprano, conteniendo la mineralogía clásica de los pórfidos cupríferos. Las reservas de cobre reconocidas, están contenidas en un 65 % en el ambiente pórfido Cuprífero y 35 % en las brechas.

Los tipos litológicos que contienen la mineralización económicamente explotable, corresponde a granodiorita Río Blanco, brecha magmática de granodiorita, andesita y brechas hidrotermales de turmalina.

2.7 MINERALIZACION

El cuerpo mineral "Río Blanco - Los Bronces" comprende dos tipos distintos de mineralización, una mineralización interna del tipo cobre porfirítico, la que se desarrolló principalmente en la granodiorita del plutón San Francisco y es explotado por la mina subterránea Río Blanco; y una mineralización irregular externa de brechas turmalinas, que son explotadas en los rajos Sur Sur y Los Bronces, ubicada en la parte superior de la mina Río Blanco. A pesar de que el 65% de la producción actual proviene de los rajos Sur Sur y Los Bronces, únicamente el 35% del total de reservas están contenidas en estas brechas, el resto pertenece al tipo cobre porfirítico. La mineralización se presenta sobre un rango vertical > 2000 m.

Las mayores concentraciones de cobre y molibdeno se ubican en brechas hidrotermales cementados principalmente con turmalinas, particularmente en Sur Sur, donde alcanza el 8 % de Cu. La mineralización de cobre porfirítico en granodiorita intrusiva, es generalmente de calidad un poco más baja que las brechas, mientras que el stock porfirítico de cuarzo monzonita y diques tienen mucho menor contenido de cobre que los dos anteriores.

La cantidad de sulfuro total aumenta gradualmente desde las zonas con predominio de calcopirita centrados por pórfidos cuarzomonzoníticos, con cantidades de sulfuros menores a

1% en volumen, hasta sectores marginales con cantidades mayores a 2% en volumen y con predominio de pirita ubicadas en posición más alejada.

La mineralización de arsénico se encuentra en cristales de pirita y en los minerales de arsenopirita, luzonita y sulfoarseniuros de cobre. Todos ellos se encuentran en cantidades subordinadas y se ubican en posición marginal a los intrusivos riolíticos y riodacíticos de la diatrema "La Copa".

La mineralización de oro y plata ha sido reconocida de modo puntual en vetas ubicadas en rocas con alteración propilítica o con sericita y cuarzo.

Capítulo 3 .- GEOLOGIA Y GEOTECNICA

3.1.- ANTECEDENTES

Entre los trabajos previos que se realizan en la construcción de Cavernas, sin duda, el mas importante es el estudio Geológico. Este consiste en un reconocimiento y una exploración cuidadosa, lo mas completa posible de la geología de la zona .

El objetivo del estudio Geológico es entregar, a partir de las condiciones geológicas, a la cota del desarrollo, y la estimación de los problemas geomecanicos, las eventuales modificaciones que podría sufrir el trazado de la Caverna, determinar la existencia de tramos críticos durante la construcción, es decir, distintos tipos de roca y sus contactos, fallas, diaclasas, plegamientos, grado de fracturamiento, presencia de agua, etc..

Toda esta información debidamente interpretada podrá entregar las ventajas y desventajas, de posibles variaciones del trazado, los métodos de excavación mas recomendables, los tipos y cantidades aproximadas de sostenimiento, y por ultimo el costo total de la obra .

La investigación geológica puede ser dividida en tres etapas:

a) Estudios Preliminares:

Estos empiezan con el reconocimiento en base a mapas de gran escala de la zona en cuestión, fotosatelites, aerofotogrametria, etc.. Su objetivo es obtener las características geológicas generales para la planificación de la investigación siguiente. Estos estudios incluyen además, la geomorfología de superficie e hidrología del medio ambiente, los que son complementados con reconocimientos del terreno y trabajos de exploración.

b) Investigación del Trazado:

Esta etapa requiere de una investigación detallada en puntos particulares. Se deben considerar alternativas de trazado, basándose en comparaciones geológicas .

Si bien es cierto, un geólogo competente puede predecir en general , los tipos de dificultades que puedan presentarse, pero no hacer una evaluación cuantitativa de estas dificultades sin contar con una prospección suficiente . Es casi imposible predecir, en profundidad, el estado de la roca a partir de la simple observación superficial. Para esto es necesario realizar exploraciones geofísicas que ayuden a delinear las estructuras geológicas. Para la evaluación geotécnica de las propiedades de la roca será necesario realizar galerías de reconocimiento, pozos, sondajes con extracción de testigos y pruebas de agua.

c) Investigación Geológica durante la Construcción:

Esta etapa tiene como objeto comprobar que los datos de diseño considerados y obtenidos sobre la base de información entregada en la etapa anterior, son los que realmente se presentan en la excavación.

3.2 .- EL ESTUDIO GEOLÓGICO DE UN MACIZO

Se concreta en el establecimiento de diversas características de las rocas del mismo, entre las que destacan dos : la **Estructura geológica** que presentan (incluida la descripción del origen, historia geológica, etc.) y la **clasificación geológica habitual** (granitos, gneis, esquistos, etc.) junto con el posible estudio de su mineralografía (y cristalografía, si procede). Características de un estudio geológico pueden ser una evaluación aproximada de algunas propiedades mecánicas de dichas rocas matrices, como la cohesión o la dureza

3.2.1.- Geología Local del Sector Complejo Subterráneo SAG

El macizo rocoso donde se localizan todas las obras subterráneas del Concentrador, corresponde a la denominada granodiorita Río Blanco. Esta roca generalmente se presenta de color gris claro a gris rosáceo, ocasionalmente entrecruzada por vetillas y vetas con especularita y/o pirita. También se aprecian efectos leves a moderados de alteración hidrotermal de la matriz y de los planos de fractura. Este macizo granodiorítico está localmente atravesado por diques andesíticos, en general con espesor menores o igual a 3 m .

El macizo rocoso se encuentra afectado en general por discontinuidades representadas por fallas y diaclasas, las que se aprecian en los afloramiento existentes en el sector, así como también en las labores subterráneas del Concentrador, la superficie del área estudiada, se encuentra cubierta por coluvial, que se caracteriza por los bloques y gravas de cantos angulosos, sano a levemente meteorizados, englobados en una matriz limo-arenosa, los cuales alcanzan, en la vertical, un potencia aparente entre 32,5 m y 44,6 m aproximados. Bajo este relleno, a la profundidad aparente de 50,54 m varía de color y textura, presentándose gris oscura, de cristales pequeños con especularita diseminada, a veces con pequeñas oquedades. (Cabe recordar que el Complejo de obras subterráneas SAG se encuentra ubicado al costado Sur del Concentrador, esta información geológica se obtuvo a través de las labores antiguas del sector concentrador y además de los túneles de acceso Piso y Techo para la construcción de la Caverna).

Figura N° 3.1 , Plano geológico acorde a información antigua y mapeos geológicos - estructurales

Figura N° 3.2 , Topografía de ladera en el sector donde se ubicará la Caverna .

3.3.- EL ESTUDIO GEOTECNICO

Este estudio tiene que ir mucho mas allá, porque de lo que se trata es de prever el **comportamiento mecánico del macizo rocoso** cuando se le someta a **modificaciones en su estado tensional de equilibrio**, consecuencia de la Construcción de la Caverna. De ello responden no solo las características intrínsecas de las rocas matrices, sino su

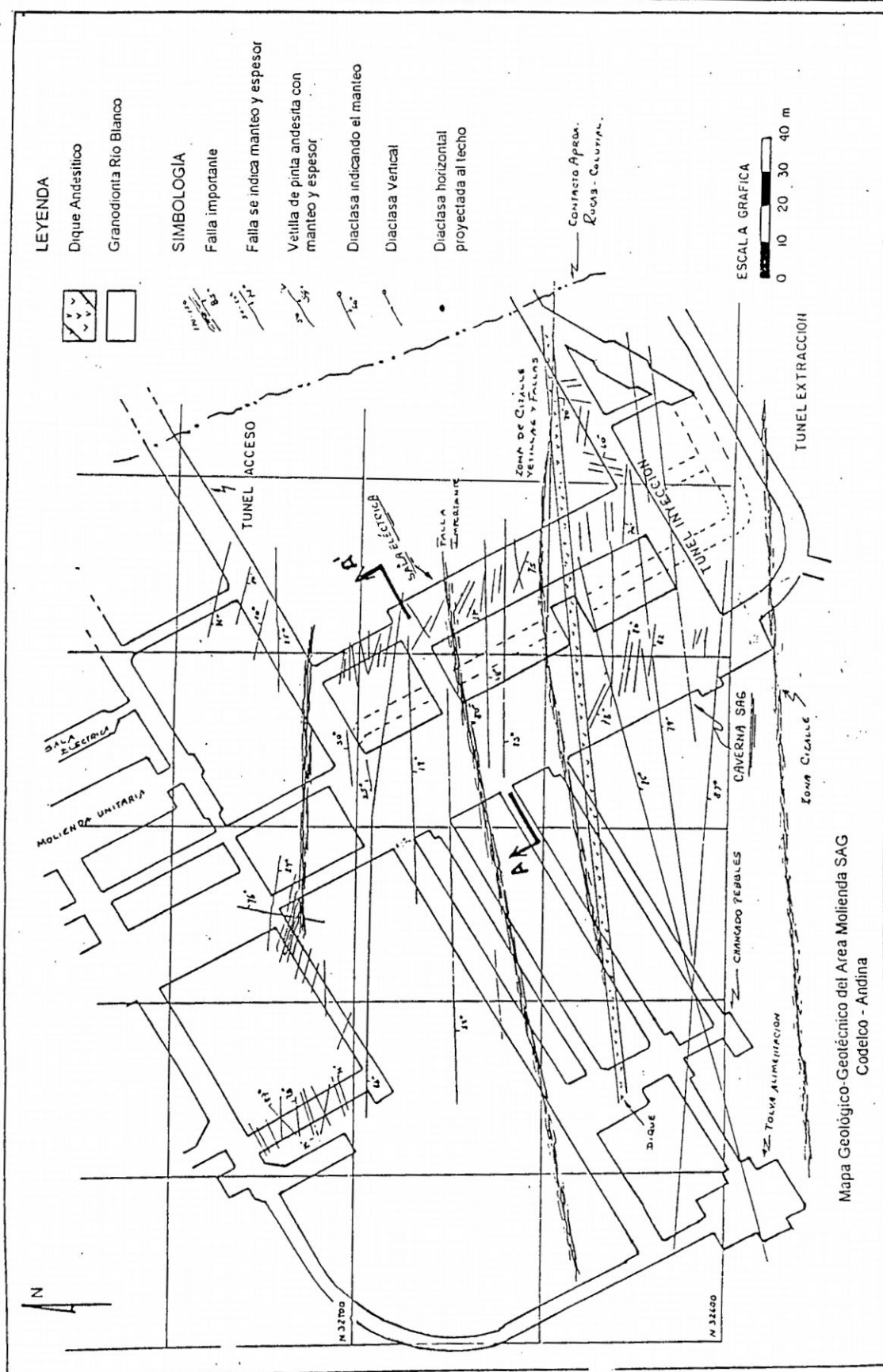


Figura N° 3.1 MAPA GEOLOGICO - GEOTECNICO DEL AREA SAG

disposición estructural natural, su estado de fracturación y la presencia de agua así como las posibles discontinuidades o, en el límite, accidentes geológicos singulares.

En resumen, desde el punto de vista práctico, se deben considerar que un macizo rocoso necesita una definición geotécnica que debe abarcar los cuatro aspectos siguientes:

- a) **Características intrínsecas del material básico** (las *rocas matrices*), entendiendo que ha de extenderse a cada uno de los varios conjuntos de rocas matrices que pueden presentar un macizo aunque, en principio, parezca continuo y sano.
- b) **Evaluación de las Discontinuidades** Pueden señalarse la *Orientación de los planos* de las mismas (rumbos y buzamiento); la *frecuencia de tales discontinuidades*; la apertura o *separación de dichos planos* ; la naturaleza de los *rellenos posibles*; la *rugosidad de los planos límites*; la presencia y *circulación de agua*, etc .
- c) **Respuesta esperable de la roca matriz** (así como de las discontinuidades que presente) en el supuesto de *cambios en el estado de equilibrio tensional “ roca - rellenos - agua ”* .
- d) **Respuesta final esperable del macizo** (es decir, del conjunto de rocas matrices o componentes básicos) a los cambios antes citados que es el objetivo final del estudio geotécnico del mismo .

Los dos primeros apartados se refieren a lo que se llama usualmente **descripción geotécnica** de las rocas del macizo y su conjunto, es decir del propio macizo. Para ello se usan las metodologías habituales que van desde la geomorfología observada en superficie (afloramiento y catas) o en las columnas de sondeos hasta reconocimientos geofísicos .

Los dos últimos apartados se refieren a la evaluación de parámetros geotécnicos . De ellos, el tercero requiere principalmente ensayos de laboratorio con nuevos datos de sondeos mecánicos, prospecciones geofísicas o ensayos mecánicos in situ .

Este conjunto de trabajos tiene por objeto llegar a calificar las formaciones presentes en el macizo a través de datos que van desde la mera descripción geomorfológica a la identificación concreta y, desde una primera clasificación de los materiales básicos a la clasificación y calificación geotécnica de los diferentes tramos del macizo .

Por lo Tanto se ha visto la necesidad de llegar a caracterizaciones de tipo global de los macizos, a partir de los trabajos e índices que se han comentado y, así han nacido las actuales **Clasificaciones Geomecánicas de los Macizos Rocosos** .

3.4.- CARACTERIZACIÓN GEOMECAICA SECTOR COMPLEJO SAG

La información de gran importancia se indica en la tabla N° 3.1 que se presenta a continuación, donde se resume la Caracterización de la Roca Intacta y del Macizo Rocosos del sector SAG, el tipo de roca preponderante podremos decir en su totalidad es una granodiorita sana. (Prof. A. Karzulovic).

Tabla N° 3.1 CARACTERIZACION DE LA ROCA INTACTA Y DEL MACIZO ROCOSO EN EL SECTOR DEL COMPLEJO DE MOLIENDA SAG .

CARACTERIZACION DE LA ROCA INTACTA		
- Litología		Granidiorita Río Blanco
- Propiedades Índice		
Grado de Alteración Hidrotermal		Bajo a Nulo
Calidad relativa		Competente
Comportamiento		Isotropico
Resistencia (clasificación ISRM)		Alta
Modulo Relativo		Medio
Clase según <i>DEERE & MILLER</i> (1966)		A - M
Peso Unitario J (ton / m ³)		2.68
- Propiedades Mecánicas		
Resistencia en Compresión No Confinada C_o (MPa)		220
Resistencia en tracción Indirecta T_o (MPa)		12
Modulo de deformabilidad E (GPa)		56
Razón de Poison (ν)		0.22

CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO		
- Propiedades Índice		
Calidad geotecnica		Buena
Grado de Fracturamiento, FF (fract./ m.)		< 5
Condición de Aguas		Seco a Goteos
Indice de calidad RMR de Laubscher (1990) sin ajuste		60 a 65
Clase geomecanica según Laubscher		II B
- Propiedades Mecánicas		
Resistencia en Compresión No Confinada C_o (MPa)		38
Resistencia en tracción T_{rm} (MPa)		3
Parámetro M_s		7
Parámetro s		0.03
Parámetro a		0.5
Modulo de deformabilidad E_{rm} (GPa)		40
Razón de Poison (ν) _{rm}		0.25

Estas características se suponen uniformes para toda el área.

3.4.1.- Caracterización del Macizo Rocosó

3.4.1.1.- Generalidades

De acuerdo a estudios realizados en la zona del complejo SAG, se presenta a continuación, un resumen de la tabla N° 3.1 de los aspectos más importantes para la Caracterización geotécnica de la roca.

- El área de molienda SAG se encuentra emplazada en una unidad litológica denominada granodiorita.
- En general corresponde a una roca sana, de matriz dura a muy dura, con una resistencia a la compresión uniaxial, aproximadamente de 220 Mpa.
- Grado de fracturamiento promedio caracterizado por los índices FF y RQD para la granodiorita, se indican a continuación .

Tabla N° 3.2 GRADO DE FRACTURAMIENTO SECTOR MOLIENDA SAG

INDICE	GRANODIORITA
FF	3 - 7 f / m
R Q D	70 - 90 %

- La condición de aguas subterráneas se presenta en general seca, excepto en los cruces de falla (poca presencia de agua, goteo continuo).

3.5.- CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL

Se analiza en detalle la información de las estructuras mapeadas, obtenida en los desarrollos anteriores y los realizados para acceder a la Caverna

Con el análisis estadístico y representación estereográfica de las estructuras identificadas en terreno, (obtenidos de mapeos realizados en el sector SAG), se obtuvo como resultado de este análisis la tabla N° 3.3 , en el cual se identifican 4 sistemas de discontinuidades preferenciales . (Informe de evaluación A. Karzulovic & asoc.)

TABLA N° 3.3 SISTEMAS ESTRUCTURALES PRESENTES EN EL SECTOR DE LA CAVERNA SAG .

SISTEMA	Orientación Característica			COMENTARIOS
	Rumbo	Manteo	Dirección de Manteo	
1	N 85 ° SE	85° SE	175°	Corresponde a la familia de estructuras claramente predominantes, en el sector de la caverna SAG, por lo que se tiene alta probabilidad de ocurrencia .
2	N 80° W	50° SW	190°	Corresponde a un conjunto de estructuras mapeadas que podrían definir una familia secundaria, por lo que tiene una probabilidad media de ocurrencia .
3A	N 5° W	77° W	265°	Los sistemas 3A y 3B corresponden a un mismo conjunto de estructuras subverticales, las cuales pueden mantear en dirección E ó W, y se diferencian solo para propósito de análisis.
3B	N - S	74° E	90°	Estas estructuras podrían definir una familia secundaria y tiene probabilidad media de ocurrencia
4	N 75° W	30° NE	15°	corresponde a un conjunto de estructuras mapeadas que eventualmente podrían definir una familia secundaria y, tendrá una probabilidad bajo de ocurrencia .

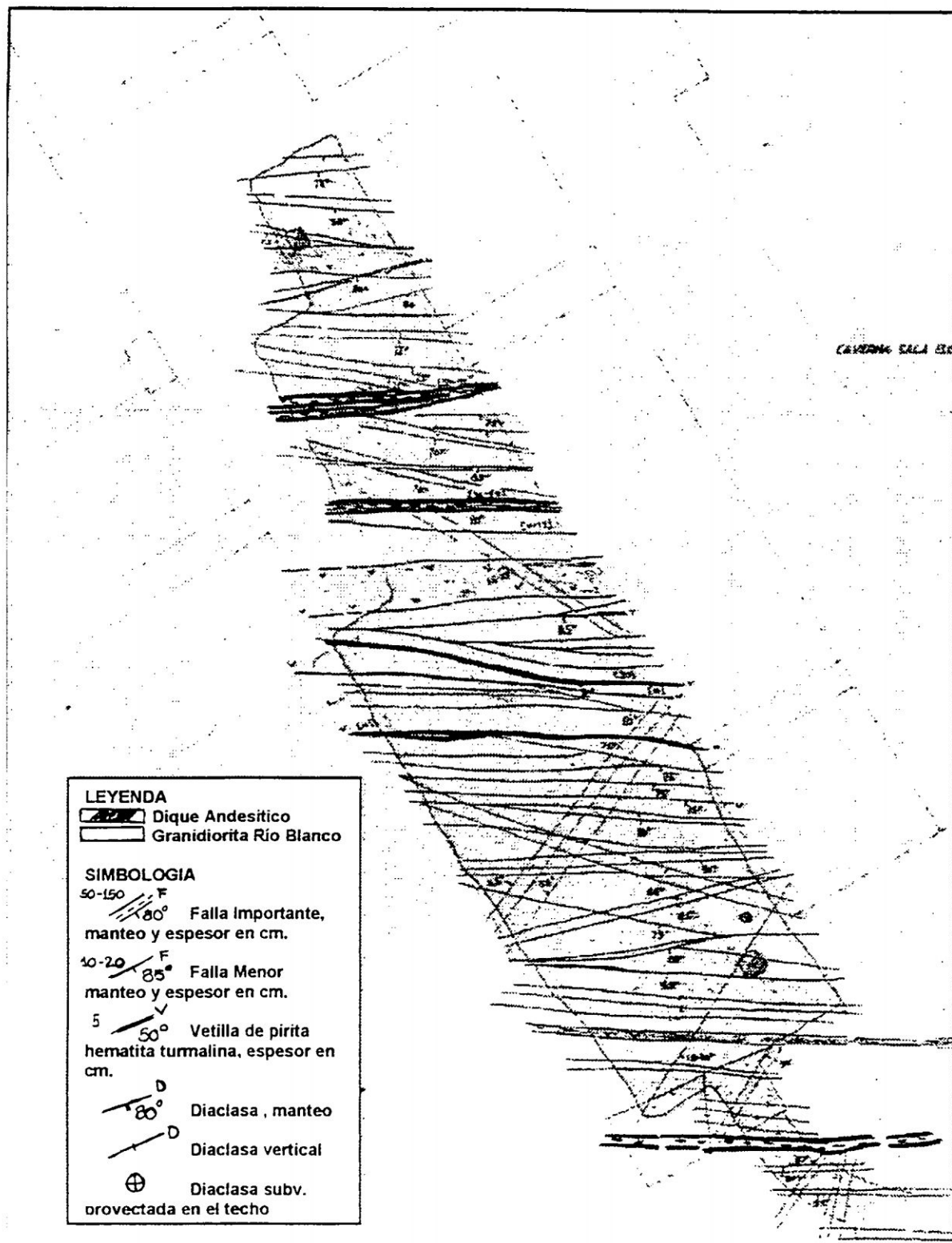


Figura Nº 3.3 TIPO DE ROCA Y ESTRUCTURA BOVEDA , ETAPA DE CONSTRUCCION

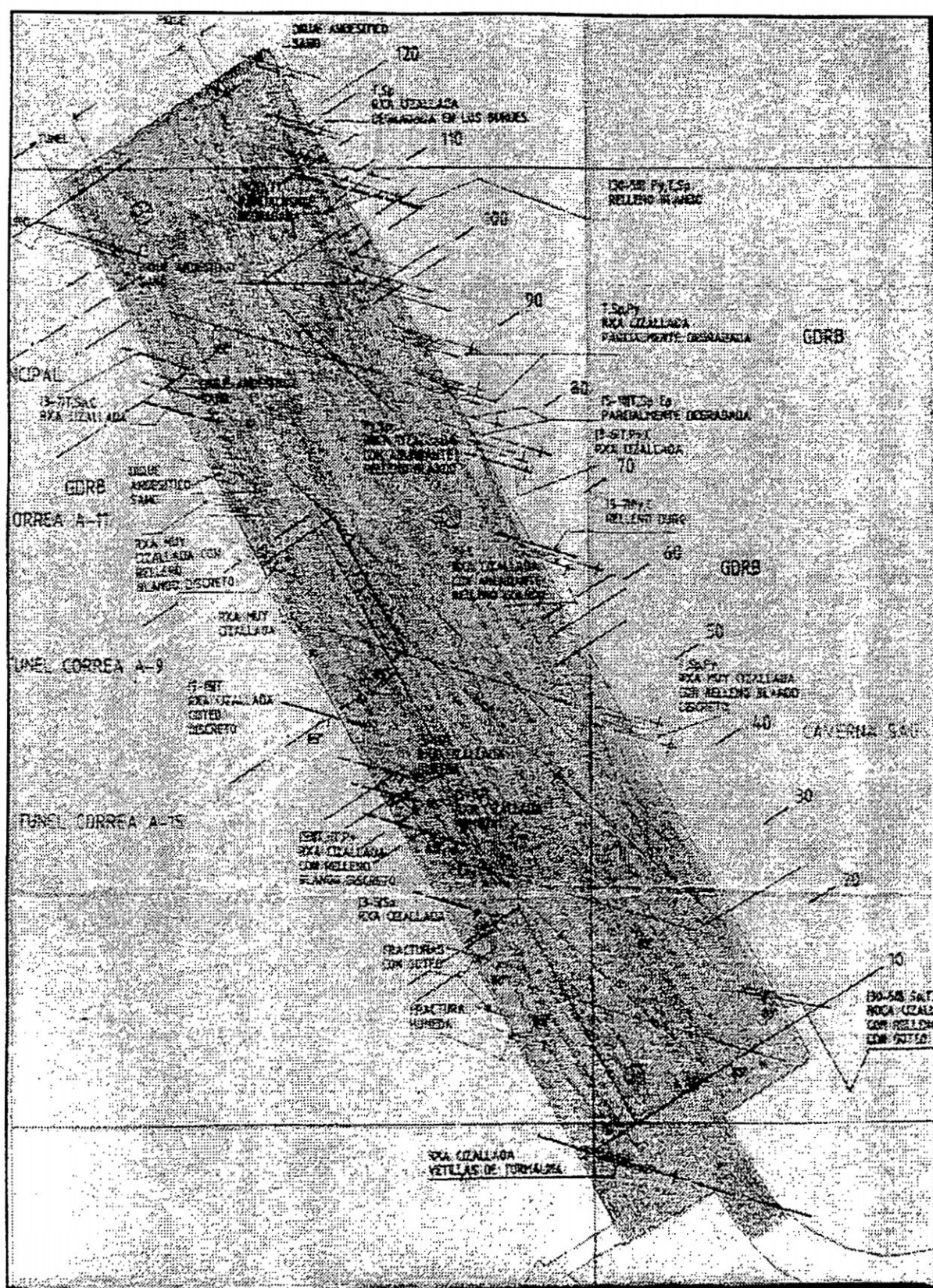


Figura N° 3.4 TIPO DE ROCA Y ESTRUCTURA BOVEDA CAVERNA CONSTRUIDO ARCO TECHO

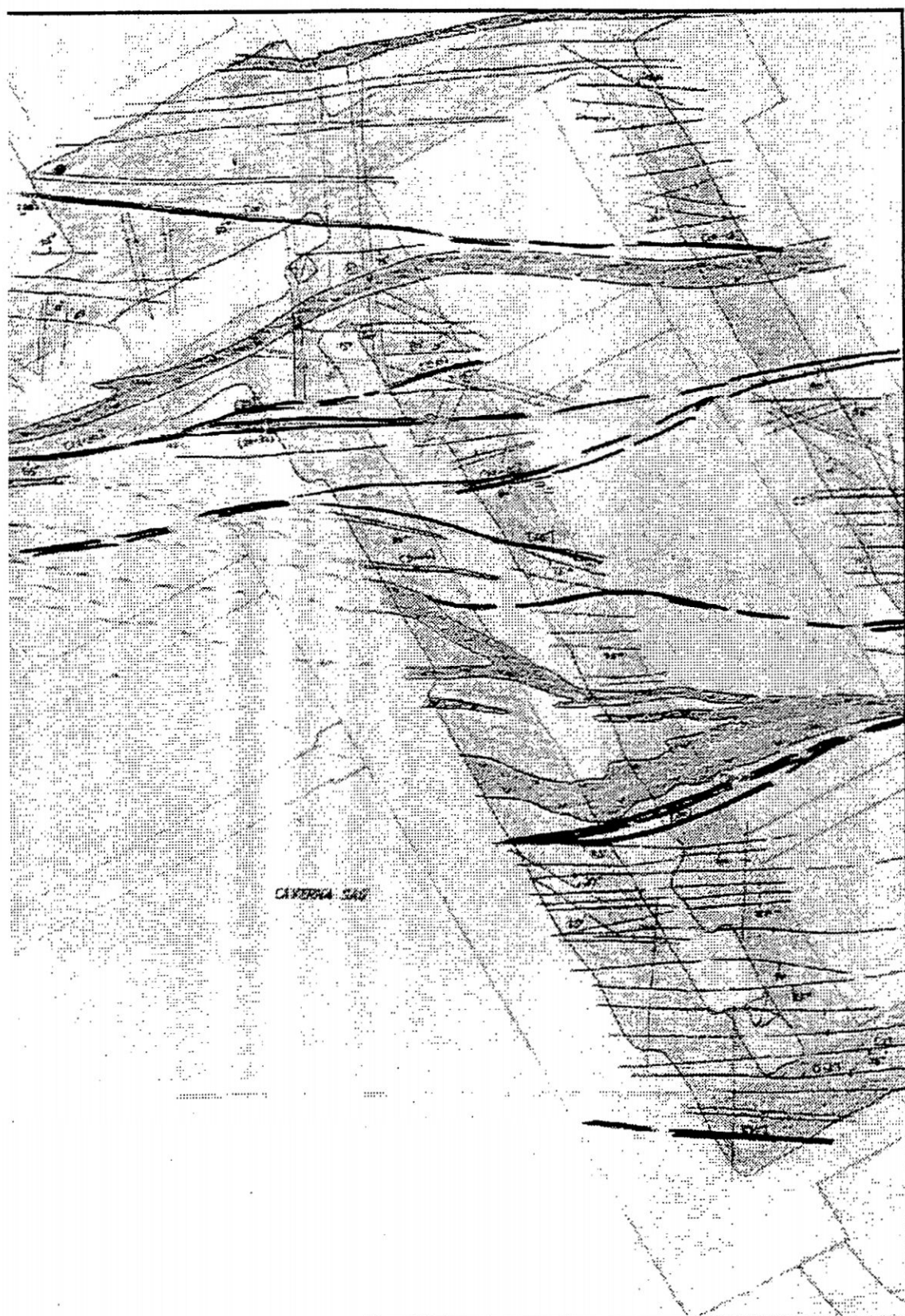


Figura Nº 3.5 TIPO DE ROCA Y ESTRUCTURA BASE CAVERNA

3.5.1.- Conclusión

La Caverna SAG. se excavará en Granidiorita Río Blanco masiva y competente, con algunos diques andesíticos, en un sector donde el macizo rocoso está poco fracturado y presenta un único sistema estructural claramente predominante, cuya orientación característica queda definida por un rumbo N 85° E y un manteo de 85° al SE; la probable presencia de 2 sistemas secundarios o menos predominantes, uno de ellos con rumbo N 80° W y manteo 50° SW, y el otro con rumbos N-S a N 5° W y manteo de 74° E y 77° W, respectivamente; y la posible presencia de un tercer sistema secundario; de rumbo N 75° W y manteo 30° EN.

Los tipos de roca y estructuras identificadas en terreno, resultado de mapeos realizados en la etapa de construcción de la Caverna SAG., tanto en la base de la Caverna como en la bóveda, se presentan en la Figuras 3.3, 3.4 y 3.5, obteniendo resultados muy similares a estudios efectuados con anterioridad.

Figura N° 3.3 Tipo de Roca y Estructura, bóveda Caverna etapa construcción arco - techo

Figura N° 3.4 Tipo de Roca y Estructura, bóveda Caverna construido arco - techo cota 2937

Figura N° 3.5 Tipo de Roca y Estructura, base Caverna cota 2908

3.5.2.- Parámetros Geotécnicos de Resistencia

Para la estimación de los parámetros geotécnicos de resistencia, ángulo de fricción interna y cohesión, que gobiernan al deslizamiento en las discontinuidades, se utilizaron los resultados de ensayos de corte en celda HOEK, efectuados sobre testigos de roca en los que la ruptura se produjo a través de una diaclasa. (información entregada por la División ANDINA).

Los valores adoptados corresponden a valores medios, en el caso de fallas se han adoptado valores típicos característicos para su relleno arcilloso. Los parámetros resistentes asociados a estas estructuras son los indicados en la tabla N° 3.4

TABLA N° 3.4 PARÁMETROS DE RESISTENCIA EN ESTRUCTURAS

TIPO DE ESTRUCTURA	ÁNGULO FRICCIÓN (ϕ)	COHESIÓN (Kpa)
FALLAS	20° - 25°	25 - 30
DIACLASAS	30° - 40°	45 - 50

3.6.- AGUA SUBTERRÁNEAS

El agua que llega a las labores subterráneas procede principalmente de la infiltración de las aguas meteóricas, como son el agua de lluvia, del deshielo de la nieve, filtración de agua de ríos, lagos, embalses, etc.; también pueden proceder de las aguas juveniles, del agua que quedo retenida cuando se formaron las rocas ígneas o sedimentarias, y el agua de mar en el caso de excavaciones realizadas bajo del mismo .

En relación con el agua, hay cuatro puntos que deben considerarse como muy importantes :

- Avenidas de agua en macizos muy fisurados .
- Presiones hidráulicas que se ejercen sobre los revestimientos impermeables
- La alteración de las propiedades plásticas y resistencia de suelos y macizos impermeables
- La reacción física y química del agua con ciertas rocas (yesos, Anhidritas) necesitando sostenimiento importantes y tratamientos especiales .

Este agua puede acarrear problemas de diversos tipos :

- La inestabilidad de la excavación provocada por un gradiente hidráulico elevado cerca de los hastiales del túnel .
 - La disminución de las propiedades resistentes del terreno .
- Asentamiento de las estructuras apoyadas en depósitos sueltos .

Según antecedentes extraídos en la construcción de los túneles de acceso, (techo y piso de la Caverna), en general el macizo rocoso se presenta seco , excepto en el cruce de fallas . Aguas subterráneas, fueron registradas a través de un sondaje perforado al final del túnel de acceso principal actual, donde alcanzó un caudal de 23 l/s. Cabe destacar que, de acuerdo a los resultados de los sondajes, el agua subterráneas parece estar asociada principalmente a las fallas del sector .

Figura N°3.6 presenta la condición hídrica y la frecuencia de fracturas de la Caverna SAG. Se aprecia que el macizo rocoso se encuentra prácticamente seco, teniendo un caudal mayor en el sector Sur de la Caverna .
(mapeo realizado a medida que se excavaba el arco - techo y sector piso de la Caverna)

3.7.- CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

El macizo rocoso corresponde a una granodiorita que presenta una calidad geotécnica que va de buena a muy buena, según los sistemas de clasificación Bieniawski (RMR) y Barton (Q) . Se exceptúa de lo anterior el cruce de fallas mayores, donde es de regular a mala la calidad geotécnica.

Bieniawski (RMR) = 71, Roca de Buena Calidad $\phi = 35^\circ - 45^\circ$, $C_o = 300 - 400$ MPa

Barton (Q) = 36 , de acuerdo a la tabla logarítmica de Barton pertenece a una Roca de Buena Calidad por encontrarse en el intervalo $10 < Q < 40$.

ESR = 1.3 Cámaras de almacenamiento, Cavernas para el tratamiento de aguas, túneles carreteros, cámaras de alta presión etc. .

B o H = Luz o Altura (para la Caverna SAG. B = 27.8m (Ancho) o H = 36.15 m. (Alto))

Dimensión equivalente de la Caverna = B o H / ESR

Figura N° 3.7 Se presenta el potencial riesgo geotecnico asociado a la excavación de una Caverna en macizos rocosos de distinta calidad geotecnica, en función Q y de la dimensión

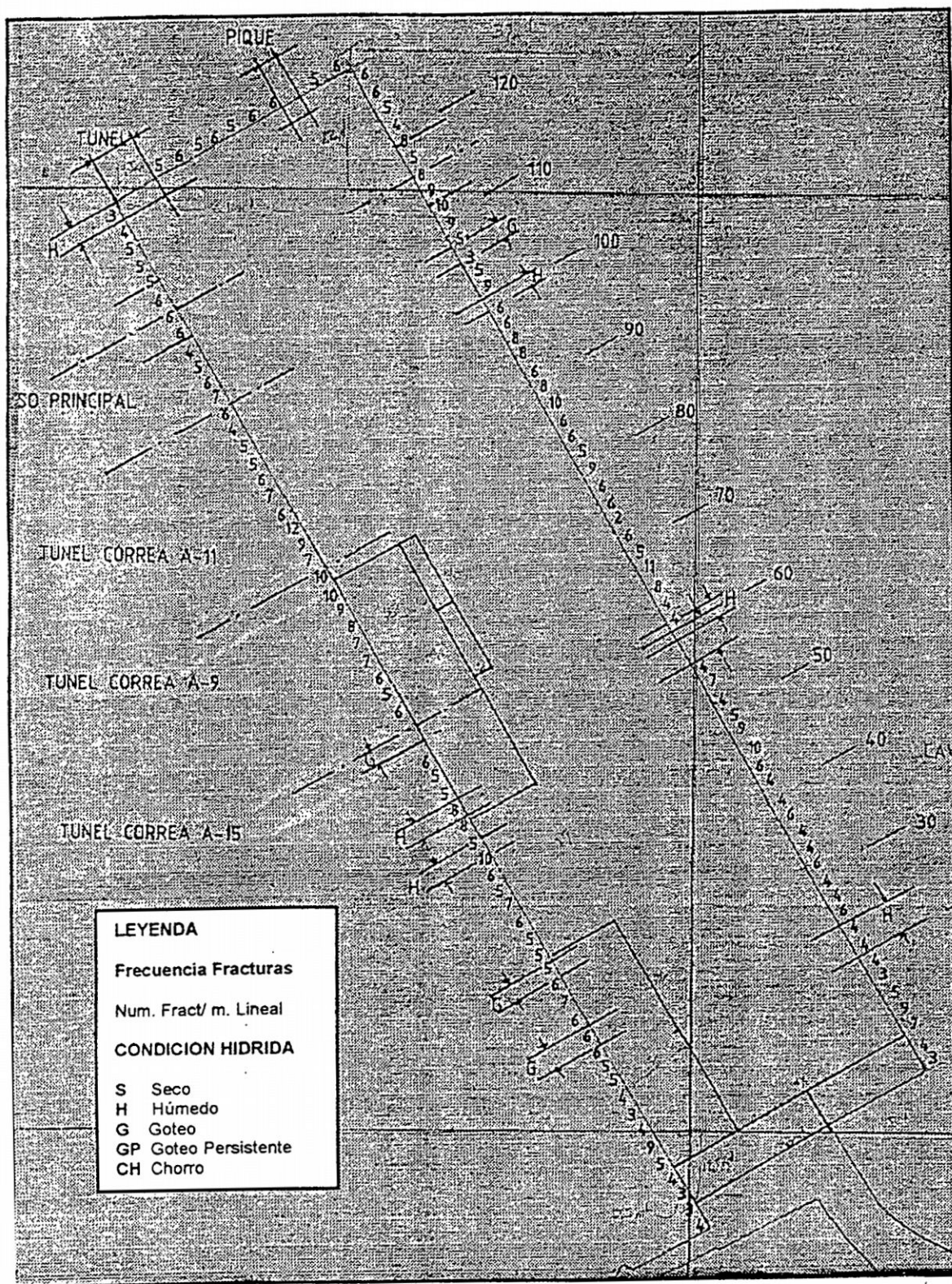


Figura N° 3.6 CONDICION HIDRIDA Y FRECUENCIA FRACTURAS

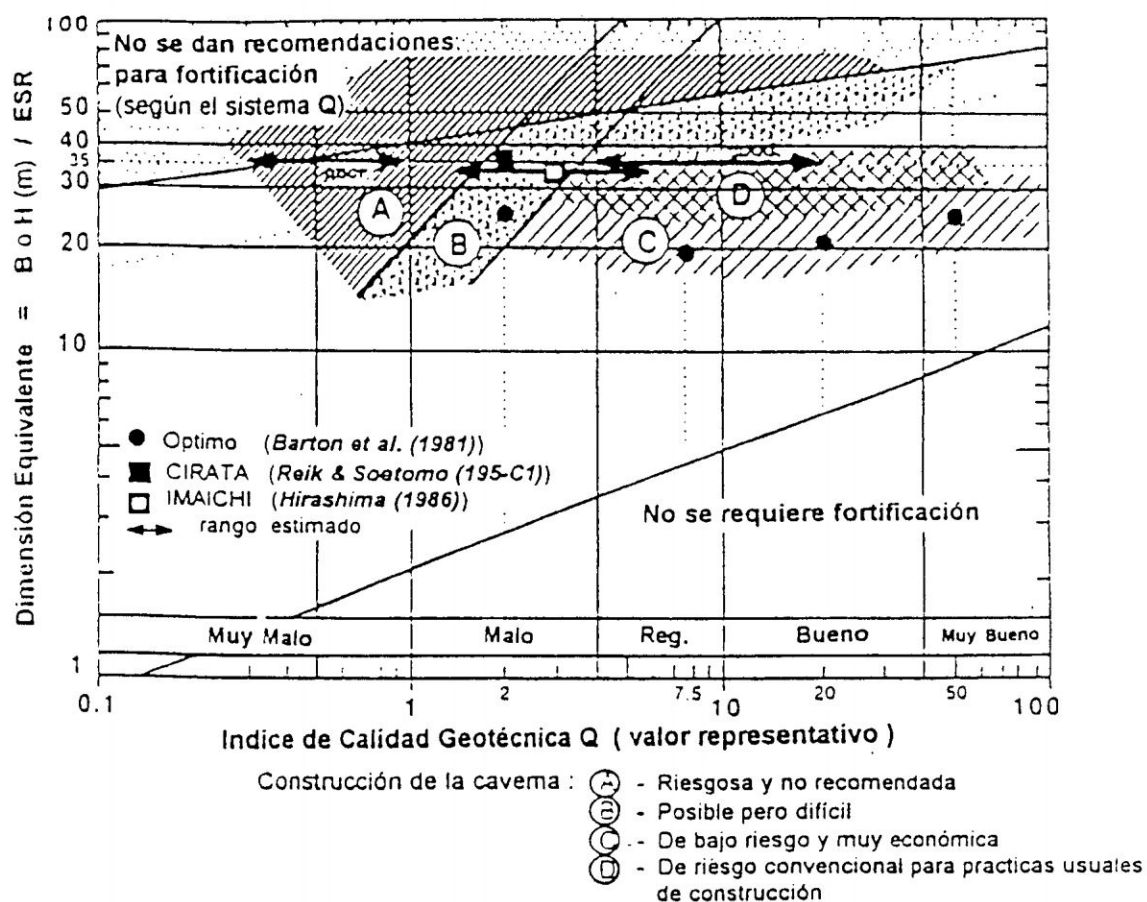


Figura N° 3.7 Potencial riesgo Geotécnico asociado a la excavación en macizos rocosos de distinta calidad geotécnica, en función del índice Q y de la dimensión equivalente de la Caverna (tomada de Kaiser (1986))

equivalente de la Caverna (tomada de Kaiser 1986) , logrando clasificar en la **zona C** , que indica - De Bajo Riesgo y Muy Económica .

Figura N° 3.8 Se presenta los Desplazamientos δ " Típicos Esperados " para Cavernas excavadas en macizos rocosos de distinta calidad geotécnica, en función Q y de la dimensión equivalente de la Caverna (tomada de Kaiser 1988) , logrando obtener desplazamiento del techo o de las cajas para el rango entre $1 < \delta < 10$ mm.

En anexo N° 1 Se presenta la clasificación del macizo rocoso y la fortificación de la Caverna SAG .

3.8.- DISPOSICIÓN DEL EJE DE LA CAVERNA FRENTE A PLANOS DE DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO

La orientación de las estructuras con relación a la traza de la Caverna es de vital importancia :

- A medida que el rumbo de las estructuras coincide con la dirección de la Caverna los problemas son mayores; de ahí que cuando sea posible, la dirección de la Caverna deberá ser perpendicular al rumbo de las estructuras .
- Es preferible que la Caverna se aproxime a la estructuras por el techo mejor que por el muro o pared, debido a que si se acerca por el muro puede producirse, sin aviso previo, el desprendimiento de cuñas de rocas delimitadas por las fallas y el techo de la Caverna .
- Cuando el buzamiento es pequeño pueden aparecer roturas en la clave, independientemente de cual sea el rumbo de la Caverna .

Para la Construcción de la Caverna , se determino su orientación de modo de evitar en lo posible las estructuras desfavorables o en reducir su influencia sobre la excavación, y de las labores a construir para comunicar con la Caverna, obteniendo una orientación próxima a la perpendicularidad de las estructuras .

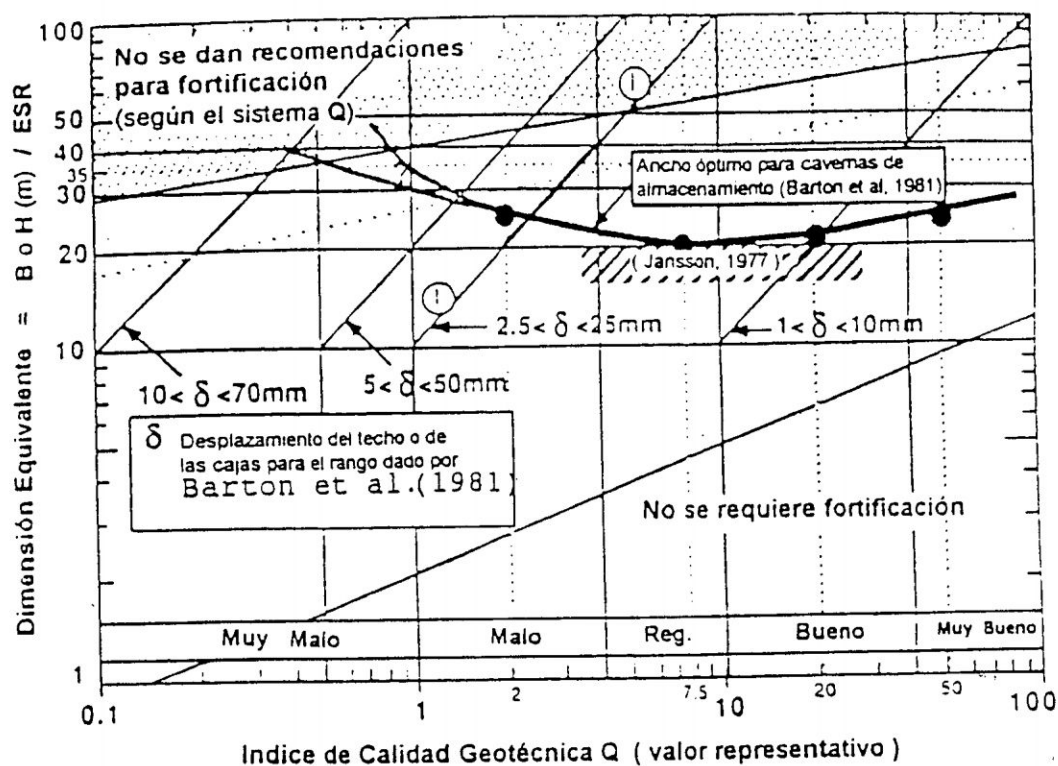


Figura N° 3.8 Desplazamientos " típicos esperados " para Cavernas en macizos rocosos de distinta calidad geotécnica, en función del índice Q y de la dimensión equivalente de la Caverna (tomada de Kaiser (1986))

3.9.- EVALUACIÓN DEL ESTADO TENSIONAL

3.9.1.- Antecedentes

Para la determinación del estado tensional insitu , durante los trabajos de obtención de datos de campo se llevara a cabo el análisis de las microestructuras que pudieran servir para la estimación del estado tensional . En este orden de ideas se prestara especial atención las fracturas rellenas de tipo distensivo, fracturas subhorizontales y, en general, a cualquier tipo de elemento estructural lineal o planar que pudiera indicar criterios cinematicos y tensionales (reorientación de minerales, foliaciones, diaclasas, grietas en relevo, ganchos asociados en zona de cizalle etc.) . Se intentara una estimación aproximada del elipsoide de esfuerzos (σ_1 , σ_2 , σ_3) en tantos puntos como sea posible, para tratar de evaluar el estado tensional local asociado a los dominios estructurales existentes .

3.9.2.-Estado tensional Insitu

Considerando que la Caverna SAG. se ubica a poca profundidad y adyacente a una ladera de montaña, en principio puede suponerse un estado tensional bajo o poco importante, esta aseveración se valida con las mediciones de esfuerzos realizadas cercano a la futura Caverna , teniendo los siguientes registros :

$\sigma_{xx} = 0.2 \text{ MPa}$, $\sigma_{yy} = 4.6 \text{ MPa}$, $\sigma_{zz} = 4.1 \text{ MPa}$ (este punto nos parece importante, si bien la componente vertical del registro es comparable con la columna de roca en el sector aprox 150 m, $J = 2680 \text{ kg/m}^3 = 4.0 \text{ MPa}$)

X = Este, Y = Vertical y Z= Norte

3.9.3.- Estado tensional del macizo rocoso durante la Construcción de la Caverna SAG

Para la determinación del estado tensional de la Caverna en construcción, se emplearon los programa de análisis tensional tridimensional 3DEC, también algunas evaluaciones complementarias simplificadas se realizan mediante el programa bidimensional FLAC (1995) .

Estos software constituyen una herramienta poderosa que incorpora en su estudio las propiedades del macizo rocoso, sistema tensional inicial de acuerdo a la topografía, solicitud de la gravedad y secuencia de excavación.

Considerando los antecedentes reseñados anteriormente, se construyó un modelo tridimensional empleando el programa 3DEC. Este modelo supuso un comportamiento elástico de los materiales y permitió efectuar diversos estudios alternativos para determinar el campo de esfuerzos inicial, previo la Construcción .

Determinando que en general, los esfuerzos en la zona de la Caverna es de baja magnitud, con valores máximos antes de la excavación en el orden de los 2 a 3 MPa., posteriormente a la excavación se aprecian aumentos en los esfuerzos del pilar entre las cavernas SAG y Sala Eléctrica hasta valores del orden de 5 MPa. No obstante este significativo aumento no muestran señales de falla . (Información entregada por Andina e Ingeroc) .

3.10.- POTENCIALES BLOQUES CRITICOS CAVERNA SAG

(Informe Evaluación A. Karzulovic & Asociados)

3.10.1.- Análisis por Teoría de Bloques:

De acuerdo a las condiciones del sector molienda SAG (poca profundidad), el mayor riesgo geotectónico está usualmente asociado a la ocurrencia de inestabilidades con control estructural, especialmente si el estado tensional es bajo y los bloques que definen las estructuras presentes en el macizo rocoso se encuentran poco confinado .

Cualquier inestabilidad con control estructural se traduce en la ocurrencia de desplazamientos excesivos de un bloque de roca, cuya geometría queda definida por la intersección de las estructuras presentes en el macizo rocoso y las caras libres generadas por la excavación subterránea (de acuerdo a la orientación de la labor) .

Para que el bloque genere problemas de inestabilidad, este debe ser removible (Teorema de Shi) y, al mismo tiempo, tener un modo de falla que posibilite, bajo la resultante de las fuerzas actuantes sobre el bloque, una condición que exceda la condición

de equilibrio limite definida por la resistencia de las caras activas del bloque . (Karzulovic 1988) .

Para evaluar la plausibilidad de este tipo de inestabilidades en la Caverna SAG se consideró lo siguiente :

- Los primeros incidentes o problemas por inestabilidad serán ocasionado por los denominados bloques críticos, (Godman & Shi).
- Sistemas principales adoptados para el presente estudio son los que se presentan en la tabla N° 3.5 .
- Para cada uno de los casos reseñados en la Tabla N° 3.5 se determinaron los bloques críticos que podían afectar a la bóveda o techo y las paredes más largas o principales. La nomenclatura empleada para denominar cajas y paredes de la Caverna se presenta a continuación en la Figura N° 3.9

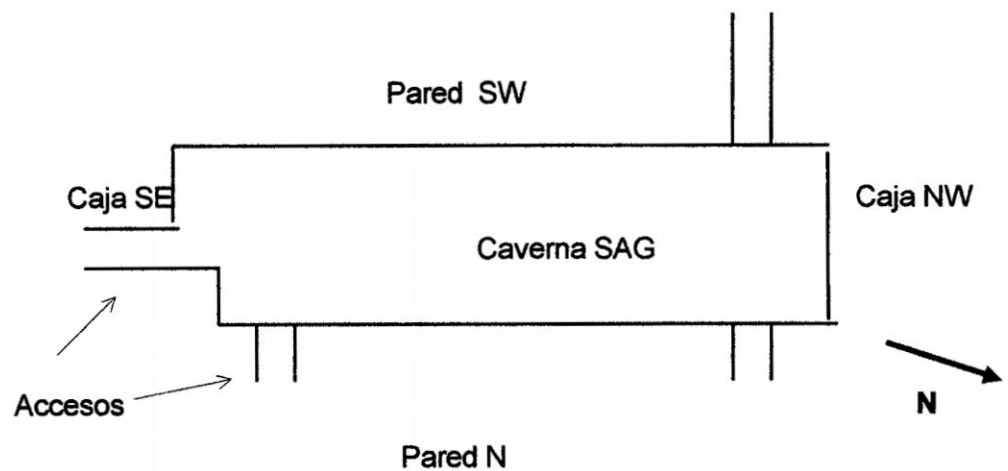


Figura N° 3.9 Nomenclatura empleada para denominar Cajas y Paredes .

Tabla N° 3.5 **CASOS CONSIDERADOS EN EL ANALISIS POR TEORIA DE BLOQUES SECTOR COMPLEJO SAG**

Caso	Probabilidad de Ocurrencia	Sistemas Estructurales considerados			Dirección de Manteo
		Sistema	Rumbo	Manteo	
A1	MEDIA A ALTA	1	N 85° E	85°	175°
		2	N 80° W	50°	190°
		3A	N 5° W	77°	265°
A2		1	N 85° E	85°	175°
		2	N 80° W	50°	190°
		3B	N - S	74°	090°
A3		1	N 85° E	85°	175°
		2	N 80° W	50°	190°
		4	N 75° W	30°	015°
B1	BAJA A MEDIA	1	N 85° E	85°	175°
		3ª	N 5° W	77°	265°
B2		4	N 75° W	30°	015°
		1	N 85° E	85°	175°
		3B	N - S	74°	090°
		4	N 75° W	30°	015°
C1	BAJA	2	N 80° W	50°	190°
		3A	N 5° W	77°	265°
		3B	N 75° W	30°	090°
C2		3A	N 5° W	77°	265°
		3B	N - S	74°	090°
		4	N 75° W	30°	015°
C3		2	N 80° W	50°	190°
		3A	N 5° W	77°	265°
		4	N 75° W	30°	015°
		2	N 80° W	50°	190°

3.10.2.- Resultados del Analisis

- Los resultado del análisis por teoría de bloques se presenta en tabla N° 3.6

- Considerando las combinaciones de sistemas estructurales con una probabilidad de ocurrencia Media a Alta, Baja a Media , Baja, la Caverna SAG podría ser afectada por una serie de bloques potencialmente críticos .

Figura N° 3.10 Presenta la geometría y ubicación de los principales bloque potencialmente críticos con una ocurrencia Media a Alta . (A. Karzulovic).

Figura N° 3.11 Presenta la geometría y ubicación de los principales bloque potencialmente críticos con una ocurrencia Baja a Media . (A. Karzulovic).

Figura N° 3.12 Presenta la geometría y ubicación de los principales bloque potencialmente críticos con una ocurrencia Baja . (A. Karzulovic).

Las Figuras N° 3.10, 3.11, 3.12, pueden ser empleadas para el reconocimiento de los bloques críticos en la etapa de construcción de la Caverna. La identificación de los bloques en terreno será encargado a un geotécnico especializado, este deberá ir reconociendo las estructuras expuestas y definiendo los polígonos formados por las discontinuidades en la superficie excavada. Estos polígonos corresponden a la proyección de un bloque , y cuando están completamente cerrados significa que el bloque a aflorado y puede desplazarse, siempre y cuando ello es cinemáticamente posible.

Tabla N° 3.6 RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ANALISIS POR TEORIA DE BLOQUES SECTOR COMPLEJO SAG

	Probabilidad de Ocurrencia	Sistema	Rumbo	Manteo	Dirección Manteo	Bloques Críticos	Sector Afectado	Nivel de Riesgo	
A1	MEDIA A ALTA	1	N 85° E	85°	175°	JP 010	Bóveda P SW	Alto	
		2	N 80° W	50°	190°				
		3A	N 5° W	77°	265°				
A2		1	N 85° E	85°	175°	JP 011	Bóveda	Muy Alto	
		2	N 80° W	50°	190°	JP 001	Pared SW	Alto	
		3B	N - S	74°	090°	JP 110 JP 010 JP 101	Pared NE Caja SE Caja NW	Alto Muy Alto Alto	
A3		1	N 85° E	85°	175°	JP 101	Pared SW	Bajo	
		2	N 80° W	50°	190°	JP 010	Pared NE	Bajo	
		4	N 75° W	30°	015°	JP 010 JP 101	Caja SE Caja NW	Medio Medio	
B1		BAJA A MEDIA	1	N 85° E	85°	175°	JP 111	Bóveda	Muy Alto
			3ª	N 5° W	77°	265°	JP 001	Pared SW	Muy Alto
	4		N 75° W	30°	015°	JP 110	Pared NE	Alto	
B2	1		N 85° E	85°	175°	JP 101	Bóveda y P NE	Muy Alto	
	3B		N - S	74°	090°	JP 001	Caja SE	Muy Alto	
	4		N 75° W	30°	015°	JP 110	Caja NW	Muy Alto	
C1	BAJA	2	N 80° W	50°	190°	JP 011	Bóveda y PSW	Muy Alto	
		3A	N 5° W	77°	265°	JP 011	Bóveda y CSW	Muy Alto	
		3B	N 75° W	30°	090°	JP 011			
C2		3A	N 5° W	77°	265°	JP 111	Bóveda	Muy Alto	
		3B	N - S	74°	090°	JP 001	Pared SW	Medio	
		4	N 75° W	30°	015°	JP 110 JP 001 JP 110	Pared NE Caja SE Caja NW	Alto Bajo Medio	
C3		2	N 80° W	50°	190°	JP 101	Bóveda	Muy Alto	
		3A	N 5° W	77°	265°	JP 111	Bóveda	Muy Alto	
		4	N 75° W	30°	015°	JP 001 JP 110 JP 011 JP 100	Pared SW Pared NE Caja SE Caja NW	Medio Medio Alto Bajo	
C4		2	N 80° W	50°	190°	JP 101	Bóveda	Muy Alto	
		3B	N - S	74°	090°	JP 011	Pared SW	Muy Alto	

FIGURA N° 3.10

POTENCIALES BLOQUES CRITICOS QUE PODRIAN AFECTAR A LA CAVERNA SAG DUEDO A ESTRUCTURAS CON UNA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA MEDIA A ALTA											
Caso	Sistemas Estructurales	Pared S/W				Pared NE				Caja SE	
		Vista Isométrica	Vista desde el Interior de la Caverna	Vista Isométrica	Vista desde el Interior de la Caverna	Vista Isométrica	Vista desde el Interior de la Caverna	Vista Isométrica	Vista desde el Interior de la Caverna	Vista Isométrica	Vista desde el Interior de la Caverna
A1	85° / 175° 50° / 190° 77° / 265°										
		JP : 010 Riesgo : ALTO		JP : 010 Riesgo : ALTO		JP : 010 Riesgo : ALTO		JP : 010 Riesgo : ALTO		JP : 101 Riesgo : ALTO	
										JP : 101 Riesgo : MEDIO	
A2	85° / 175° 50° / 190° 74° / 090°										
		JP : 011 Riesgo : MUY ALTO		JP : 001 Riesgo : ALTO		JP : 110 Riesgo : ALTO		JP : 010 Riesgo : MUY ALTO		JP : 101 Riesgo : ALTO	
										JP : 101 Riesgo : MEDIO	
A3	85° / 175° 50° / 190° 37° / 015°										
		JP : 011 Riesgo : MUY ALTO		JP : 001 Riesgo : ALTO		JP : 110 Riesgo : ALTO		JP : 010 Riesgo : MUY ALTO		JP : 101 Riesgo : ALTO	
										JP : 101 Riesgo : MEDIO	

FIGURA Nº 3.11

POTENCIALES BLOQUES CRITICOS QUE PODRIAN AFECTAR A LA CAVERNA SAG DEBIDO A ESTRUCTURAS CON UNA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA BAJA A MEDIA									
Caso	Sistemas Estructurales	Potenciales Bloques Críticos Máximos debidos a Estructuras con una Probabilidad de Ocurrencia Media a Alta							
		Bóveda		Pared SW		Pared NE		Caja SE	
		Vista Isométrica	Vista desde el Interior de la Caverna	Vista Isométrica	Vista desde el Interior de la Caverna	Vista Isométrica	Vista desde el Interior de la Caverna	Vista Isométrica	Vista desde el Interior de la Caverna
B 1	85° / 175°								
	77° / 265° 30° / 015°								
B 2	85° / 175°								
	74° / 090° 30° / 015°								

000423

3.11.- CONCLUSION

La Caverna SAG se excavará en Granidiorita Río Blanco masiva y competente, con algunos diques andesíticos, en un sector donde el macizo rocoso está poco fracturado y presenta un único sistema estructural claramente predominante, de rumbo aproximado E-W y manto Sub vertical.

En relación a ingeniería geotécnica , la roca intacta y el macizo rocoso en el sector de la Caverna pueden caracterizarse en tabla N° 3.1 . Las características mecánicas reseñadas en esta tabla indican que se trata de un macizo rocoso competente, por lo que en principio es poco probable la ocurrencia de problemas asociados a concentraciones de esfuerzos, pero es plausible la ocurrencia de inestabilidades con control estructurales (análisis efectuado por teoría de bloques, existiendo una combinación de estructuras que podrían definir tres bloques, 3 escenarios o casos con una probabilidad de ocurrencia media a alta (A1 a A3) , 2 casos con una probabilidad de ocurrencia baja a media (B1 y B2), y 4 casos de baja probabilidad de ocurrencia (C1 a C4), determinando los bloques removibles que podrían afectar la Caverna) .

Las condiciones hidrogeológicas del sector son favorables, en el sentido que el macizo rocoso se encuentra prácticamente seco .

En la Tabla N° 3.7 , Se Indica Tipos de Riesgos Geotectónicos que pueden afectar a Cavernas y la Plausibilidad de su Ocurrencia , según el tipo de Roca . (donde aparece la Caverna SAG, en el sector Molienda Sag)

Tabla N° 3.7 TIPOS DE RIESGOS GEOTECTONICOS QUE PUEDEN AFECTAR A CAVERNAS Y LA PLAUSIBILIDAD DE SU OCURRENCIA

Tipo de Riesgo Geotectonico	Plausibilidad de Ocurrencia de Problemas			
	Tipo de Roca en que se excava la Caverna		Cavernas Proyecto	Expansión
	Roca Débil		División Andina	
		Roca Competente	Sector Don Luis	Sector Molienda SAG
Riesgos propios de un Cambio Notorio en la Geología Geotécnica y/o Estructural respecto a la condición del Proyecto	Depende de la calidad de la exploración geología y Geotécnica		Muy baja a Nula	
Riesgos propios de la geología, geotécnica y estructural esperada según la Condición de Proyecto				
* Riesgos Asociados a Fallas inducidas por Esfuerzos				
- Zona de Roca Fracturada o Zona "Plástica" en la Periferia de la Caverna	Alta	Muy Baja a Media	Muy Baja a Baja	Baja a Media
- Efecto de la forma de la Caverna	Influye	Influye poco a muy poco		
- Uso de un arco de Concreto en la Bóveda	Media a Alta	Baja a Media	El diseño no lo considera	
- Pilares entre Cavernas Adyacentes	depende del ancho del Pilar, pero es mayor en roca débil		baja a Media	Media a baja
- Sectores de Poca Cobertura en Taludes o Laderas	Alta a Muy Alta	Medio a Alto	Baja a Media	Media
* Riesgos asociados Simultáneamente a Esfuerzos y Estructuras Geológicas	Media a Alta	Baja a Alta	Baja a Media	Media
* Riesgos Asociados a Fallas con Control Estructural	Media a Alta	Alta a Muy Alta	Media	Media a Alta
* Riesgos Asociados a la presencia de Aguas Subterráneas				
- disminución de al competencia del Macizo rocoso	Alta a Muy Alta	Baja a Muy baja	Baja a Muy Baja	
- Infiltraciones	Muy variable y depende fuertemente del grado de fracturamiento del macizo rocoso, pero en general es mayor en rocas débiles		Baja a Muy Baja	
* Riesgos Asociados a sismos y Otras Solicitaciones Dinámicas				
- Sismos	Baja a Muy Baja		Muy Baja	
- Tronaduras de desarrollo ("popping")	Baja a Muy Baja	Media a Alta	Baja a Muy Baja	
- Tronaduras en Labores cercanas ("spalling")	Baja a Media	Media a Alta	Baja a Media	Media a Alta
- Sismicidad Inducida (estallidos de roca)	Baja a Muy Baja	Baja a Muy Alta	Baja a Muy Baja	

Capítulo 4.- METODO CONSTRUCTIVO

4.1.- ANTECEDENTES

Durante las ultimas décadas la utilización de un gran espacio subterráneo (Cavernas), son cada día mas creciente. Es así que dependiendo de su aplicación se pueden clasificarse en siete categorías, ver tabla N° 4.1 :

Tabla N° 4.1. **Uso de Cavernas Subterráneas en Macizos Rocosos**
(Stephansson, O. 1992)

CATEGORIA	TIPO	VENTAJAS
Arte y Cultura	Centro de arte Iglesia Sala de conciertos Museo	Temperatura estable, humedad constante, bajo consumo de energía. Ausencia de polvo, buena acústica y atmósfera especial.
Infraestructura Civil	Transformación electricidad Líneas y Centrales telefónicas Silos de arena Talleres Laboratorios	Localización dentro de la cavidad circuitos cortos y riesgos mínimo de fuego, alto nivel de seguridad, temperatura y humedad constante.
Defensa	Refugios Civiles y Militares Hangar subterráneo Dársenas de submarinos y Bases navales Polvorines Centro de control	Protección frente a impactos directos ondas de choque gases o radiactividad.

Energía	Aire comprimido Cavernas para almacenamiento de calor Centrales hidroeléctricas Almacenamiento de petróleo y gas Centrales térmicas de gasoil y gas	Diseño óptimo para equipos y mantenimiento bajo costo para grandes volúmenes y bajo costo de operación
Alimentos	Cámaras congeladoras Grano Pescado Vinos y licores	Inercia térmica alta, buen aislamiento, bajo consumo de energía, mínimo mantenimiento
deportes	Gimnasio Pista de Hockey sobre hielo Pista de atletismo Piscina para natación	Buen aislamiento, bajo consumo de energía, reducido costo de mantenimiento.
Residuos	- No tóxicos Almacenamiento y planta de tratamiento Planta de compostaje - Tóxicos Planta de residuos químicos - Radioactivos Residuos de baja, media y alta actividad	Limitadas necesidades de terrenos, ventajas climáticas para el proceso de tratamiento, mínimos conflictos ambientales, ausencia de vertidos. Aislamiento de la biosfera durante periodos de tiempo muy grandes, alta seguridad e intensidad.

Entre los numerosos usos urbanos pueden citarse los destinados a la infraestructura del transporte y servicios, complejos de servicios y oficinas, viviendas, centros de arte, etc. . Entre los usos industriales destacan las construcciones para almacenamiento estratégicos y operacionales de petróleo, gas, residuos Tóxicos alimentos, etc., también la construcción de instalaciones de producción subterránea, energética, química, etc

Una característica de las cavernas es que estos recintos subterráneos tiene una sección superior a los 100 m² o una luz mayor a los 15 m., y en muchos casos la elección del emplazamiento esta condicionada por las características de los macizos rocosos, ya que se persigue que el terreno sea lo mas autosoportante.

Las Cavernas se excavan por el método perforación y tronadura, en sentido descendente. Dada la forma y tamaño de estas, lo primero que se excavará será el arco - techo o la parte curva del techo. El arco techo se suele dividir en partes, pudiendo ser un túnel central y otros laterales o túneles desarrollados en forma paralelas. Estos túneles suelen tener unos 5 - 8 metros de altura, lo que se deberá tener en cuenta cuando se elija la maquinaria de perforación.

Posteriormente la altura restante se dividirá en bancos de 4 - 6 metros de altura o incluso menos, perforando los barrenos verticales u horizontales y teniendo en cuenta que usualmente los bancos inferiores se excavan en forma de desarrollo horizontal. Para el caso de la caverna Sag. se creo primero una gran zanja en el eje de la caverna, con el objeto de crear la cara libre para los futuros bancos , después la altura total se dividió en bancos laterales .

Una parte importante de la excavación de las Cavernas la constituyen los accesos los cuales se describen a continuación:

El acceso al arco - techo se deberá efectuarse por la cota superior, de la parte recta de la Caverna. Luego se harán otros accesos a diversas cotas inferiores que permitirán la extracción de la marina o utilizados para el ingreso tanto del personal como equipos a esos niveles . Las cotas de los accesos definirán muchas veces las alturas mas convenientes de los bancos o su división , en el caso de la Caverna SAG. el acceso mas bajo será el de extracción de la marina.

4.2.- MÉTODO DE EXCAVACIÓN DE LA CAVERNA.

La secuencia de excavación se dividió en Cinco etapas principales, dividiéndose además en sub-etapas de construcción, las cuales de acuerdo a sus características emplearon variados métodos de perforación, fortificación y extracción de la mina. Es necesario precisar que los Túneles de entrada al Complejo SAG se encuentran totalmente terminados, esto permitió que los trabajos comenzaran inmediatamente Los accesos tienen los siguientes objetivos y denominaciones :

Ver figura N° 4.1 , Túneles de Acceso Complejo SAG :

- **TAP** Túnel de Acceso Principal sección 7 x 6 m. Utilizados para desarrollar :
 - Túneles Pilotos Inferiores Caverna Sag
 - Piloto Inferior Caverna Pebbles
 - Piloto Inferior Tolva Sag
 - Túnel de Alimentación C -11
 - Rampa Conexión a Haulage 2
 - Túnel Conexión Concentrador
- **TVI** Túnel de Ventilación para Inyección , sección 7 x 6 m. Utilizados para desarrollar:
 - Desarrollar Túneles Pilotos Inferiores Caverna Sag
 - Sala Eléctrica, Lado Sur
- **TVE** Túnel de ventilación para Extracción , sección 5 x 5 m. Utilizado para desarrollar :
 - Arco Techo Caverna Sag.

4.2.1 Etapas Constructivas :

La construcción de la caverna Sag, debido a su gran envergadura , esta se dividió en etapas constructivas , teniendo las siguientes características ;

- i). **Etapas Arco - Techo**, comprende el desarrollo del arco techo, labores inferiores a nivel del piso de la caverna y desarrollos verticales .
- ii). **Zanja Central**, comprende la perforación y hundimiento de una zanja central, desde el piso del arco - techo, hasta el techo del túnel piloto central (TPC) .

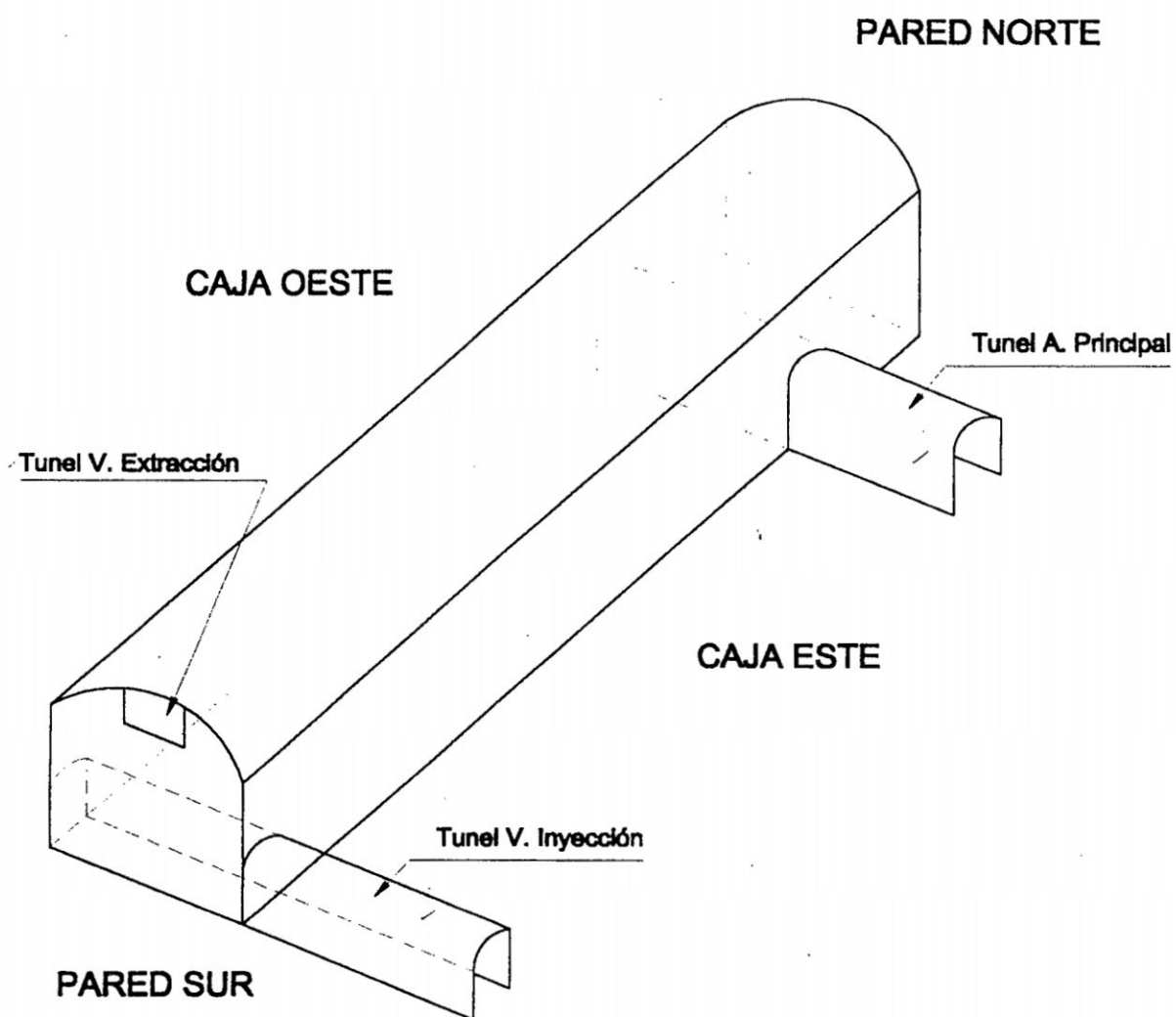


Figura Nº 4.1 TUNELES DE ACCESO CAVERNA SAG

iii). **Banqueo de 5.0 m. de altura BH5** (dos etapas), comprende la creación de Bancos de excavación, delimitados por la Zanja Central, pegados a los costados Norte, Sur, Este y Oeste de la Caverna. Los bancos tienen una altura de $h = 5$ m (BH5), desde el Arco - Techo de la Caverna , es así que se tiene dos bancos en la vertical.

iv). **Banqueo de 6.0 m. de altura BH6** (dos etapas), comprende la creación de Bancos de excavación (BH6), delimitados por la Zanja Central, pegados a los costados Norte, Sur, Este y Oeste de la Caverna . Los bancos tienen una altura de $h = 6$ m (BH6), desde el piso de la etapa bancoo BH5, teniendo dos bancos en la vertical .

Cabe mencionar que el primer bancoo, se efectúa en forma completa, en cambio el segundo bancoo se realiza en forma parcial, se realiza esta operación solo por el diseño del sector Norte de la Caverna .

v). **Desquinche Dados y Piso, Terminaciones** , comprende los desquiches de los dados ubicado en la pared oeste y el piso de la caverna .

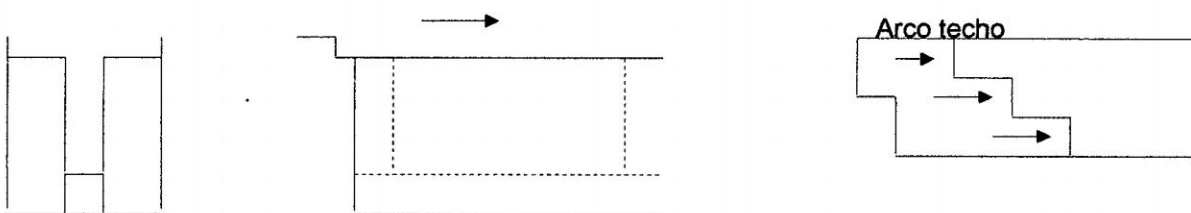
Esquemas de Excavación Caverna SAG

Perfil Transversal

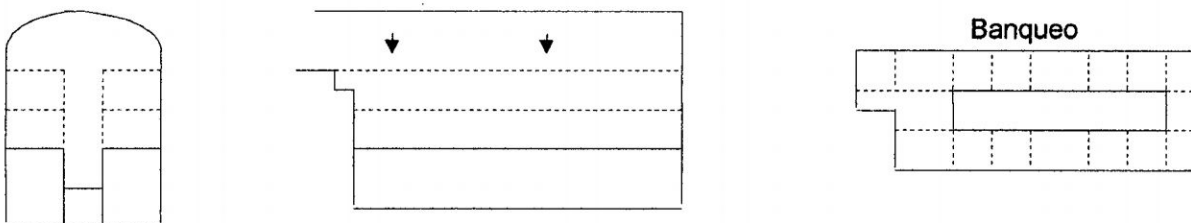
Perfil Longitudinal

Planta

Excavación del Arco techo mas Zanja Central



Excavación Banqueo de 5m de altura (dos etapas)

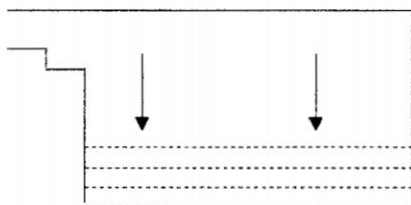
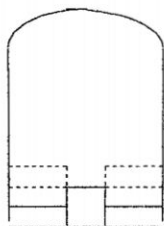


Perfil Transversal

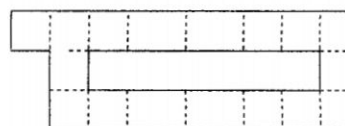
Perfil Longitudinal

Planta

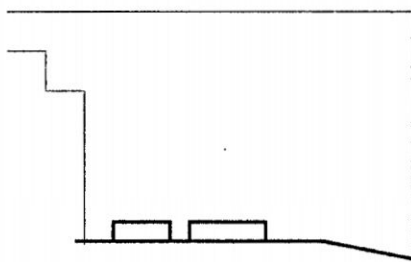
Excavación Banqueo de 6m. de altura (dos etapas)



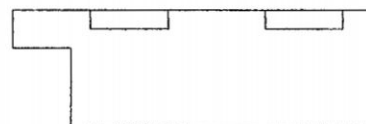
Banqueo



Caverna Totalmente Excavada. (excavaciones de perfilamiento dados y piso) .



Terminado Final



, teniendo en consideración las siguientes características para su realización :

- seguridad
- alta mecanización
- alta contabilidad
- mínimo costo

4.3.- ETAPA N° 1 EXCAVACIÓN DEL ARCO -TECHO

(Cota: de 35 m. hasta 27 m.)

4.3.1.- Alcance :

Comprende la excavación y fortificación del Arco - Techo de la Caverna, es decir desde la clave de la Caverna (cota : 35.0 m.) hasta 1.33 m. bajo el Sprint-Line (cota : 27.0 m.) y la excavación de desarrollos auxiliares en el piso de la Caverna Sag (cota : 0 m.) .

4.3.2.- Generalidades :

Las obras del Arco - Techo se ejecutan mediante tres túneles. La perforación de la frente y apernado se utilizan dos jumbos Electrohidraulicos , mediante perforaciones de 3.9 m. y en 45 mm de diámetro para la frente y 6.0 m. y en 48 mm. de diámetro para los pernos .

Para la extracción de las marinas se utilizan según la disponibilidad de dos Cargadores Frontales , cargando en túnel ventilación extracción (TVE) y/o en el interior de la Caverna SAG, directamente sobre camiones Tolva, de 12 m³ de capacidad . Además de un scoop , el cual lleva la marina hacia la chimenea marina .

4.3.3.- De La Operación Arco - Techo :

A partir del túnel de ventilación para extracción , (TVE) se utilizo de acceso para desarrollar el arco techo de la Caverna SAG. el cual se excavó mediante tres túneles, con las siguientes dimensiones, ver tabla N° 4.2.

Tabla N° 4.2. Excavación del Arco - Techo

Túnel	Sección (m)	Radio (m)	Area (m ²)	Largo (m)
Cuele Caja Este (TCC)	11 X 7.8	17.66	62.04	122.25
Eje Central (TEC)	8 X 8	17.66	64.67	128.40
Caja Oeste (TCO)	8.8 X 7.8	17.66	46.15	128.40

Estas dimensiones se obtuvieron en base aspectos teóricos y al equipo a utilizar, tanto en perforación, fortificación, carguio y transporte ver tabla N° 4.3.

Tabla N° 4.3. Listado de Equipos y Maquinaria

Cant	Descripción del Equipo	Marca	tipo o modelo	Potencia o Capacidad	Observación
Perforación					
1	Jumbo	A. Copco	Boomer H-282	1 Brazo	Desarrollo y Fortificación
1	Jumbo	A. Copco	Boomer H-352	2 Brazo	Desarrollo y Fortificación
2	Truck Drill				Desarrollo
Carguo Marina					
1	Cargador	Caterpillar	950 E	3.5 Yd ³	Extracción de Marina
1	Cargador	Caterpillar	966 C	4.0 Yd ³	Extracción de Marina
1	Scoop	Wagner	ST - 3.5 D	3.5 Yd ³	Extracción de Marina
Transporte					
4	Camión Tolva	MARK		12 M ³	Transporte Marina
Apoyo					
2	Camión Plataforma	Mercedes		levante 7 .	Fortificación
1	Bulldozer	Caterpillar	D - 8H		Construcción de Rampa

Para iniciar la excavación del arco - techo de la Caverna SAG., primero es crear el área teórica del arco techo , se efectuará de la siguiente forma :

En la parte superior de la pared Sur de la Caverna, se inicia la excavación del TEC a continuación del Túnel de Ventilación de Extracción TVE. Inicialmente tiene una sección de 5 x 5 m, avanzando hacia el Norte una longitud de 20 m hasta alcanzar una sección requerida de 8 x 8 m, para obtener esta sección es necesario desquinchar cajas y bajar el piso con lo que se producirá una pequeña rampa de 7 % de pendiente , (esto generará la necesidad de bombear el agua producto de perforación).

Ver figura N° 4.2. Excavación Rampa Arco - Techo .

Una vez completos los 20 m del TEC detener temporalmente la excavación del túnel, girar hacia el Este y se continuar con la excavación del primer Túnel Auxiliar Transversal TAT

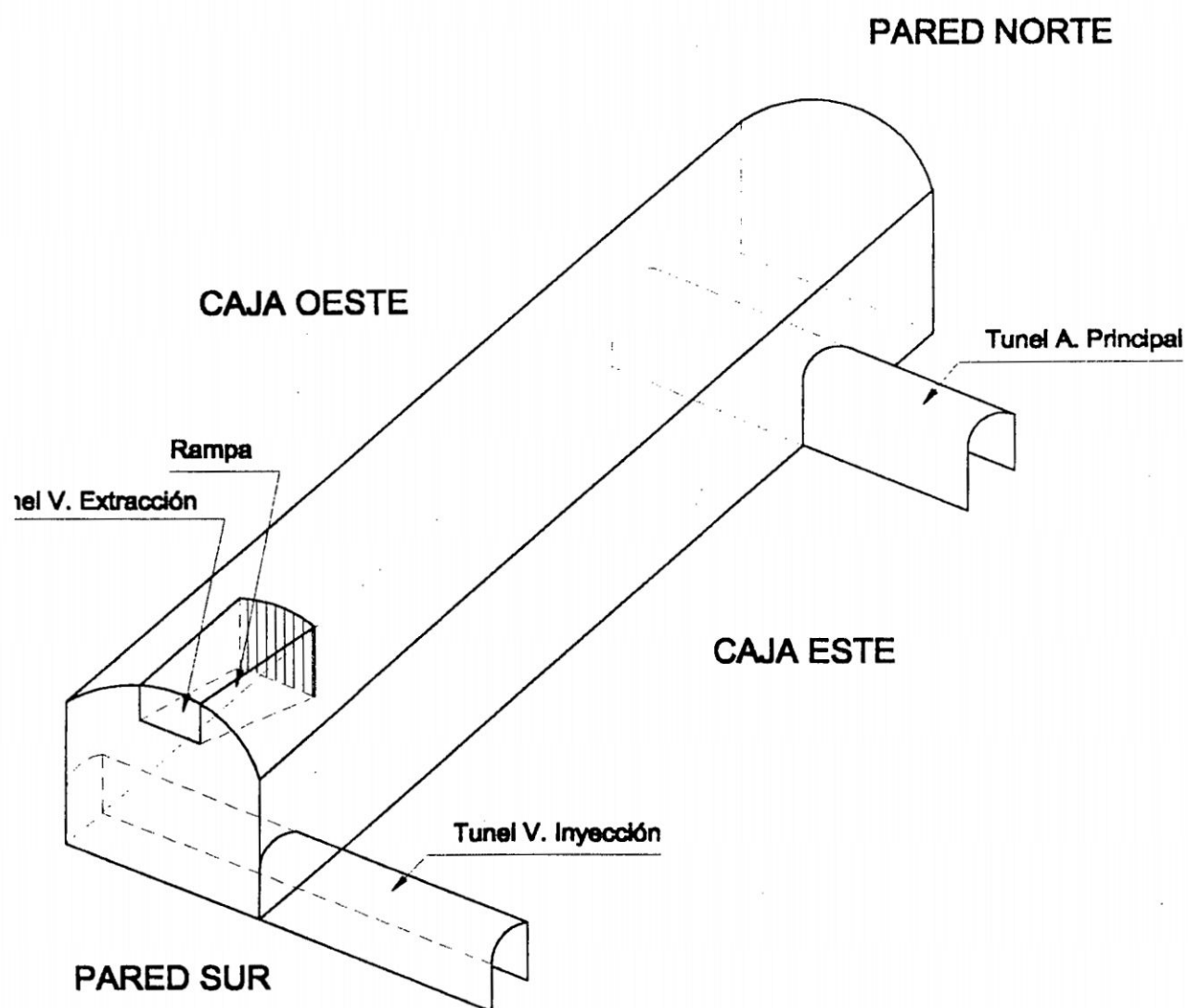


Figura N° 4.2 RAMPA DE ACCESO ARCO - TECHO

de sección variable, su avance parte de la pared Este del TEC hasta la caja Este de la Caverna, (unos 11 m. aproximadamente)

Ver figura N° 4.3., Excavación Túnel Auxiliar Transversal (TAT) .

Se diseñara el diagrama de disparo 60 cm. bajo la clave teórica , con el objeto de no provocar sobreexcavacion, y en una sub-etapa posterior desquinchar y fortificar en forma más controlada y así poder cumplir con las tolerancia exigida en la terminación, (la sub-excavacion ocurrida se efectuará cuando el avance del arco - techo iba avanzado algunos metros ,volviendo a desquinchar y fortificar el sector Sur-Este).

Durante estos desarrollos se ejecutara la fortificación de malla ,pernos, schotcrete en dos etapas :

- En la frente : se perforan y colocan los pernos de fortificación, de 6.0 m. de largo y 22 mm de diámetro, los que se anclaran con lechada de cemento en el fondo de la perforación, como mínimo de 1 metro.
- Detrás de la frente : se instala malla acma C-139 (aproximadamente a 30 m. de la frente, con el objeto de no romper esta producto de los disparos), se lecharan y tensaran los pernos y se aplicara una capa de hormigón proyectado con el espesor que especifica el proyecto (5 cm.).

Una vez excavado el TAT, se avanzara en dirección NORTE-SUR desquinchando en retroceso la parte pendiente (esquina SUR-ESTE de la Caverna), que constituyen aproximadamente 20 m de longitud, hasta alcanzar la pared Sur , faltando perfilar esta pared (dejar el limite teórico de la pared, esta se efectúa de la misma forma que la pared Norte). Ver figura N° 4.4 Desarrollo Desquinche en Retroceso .

Se continua con el desarrollo del TCC excavando a partir del TAT en dirección longitudinal a la Caverna SUR-NORTE, llegando hasta la longitud total de la Caverna, llevando la caja Este en su línea teórica y la fortificación definitiva a 30 m. de la frente .

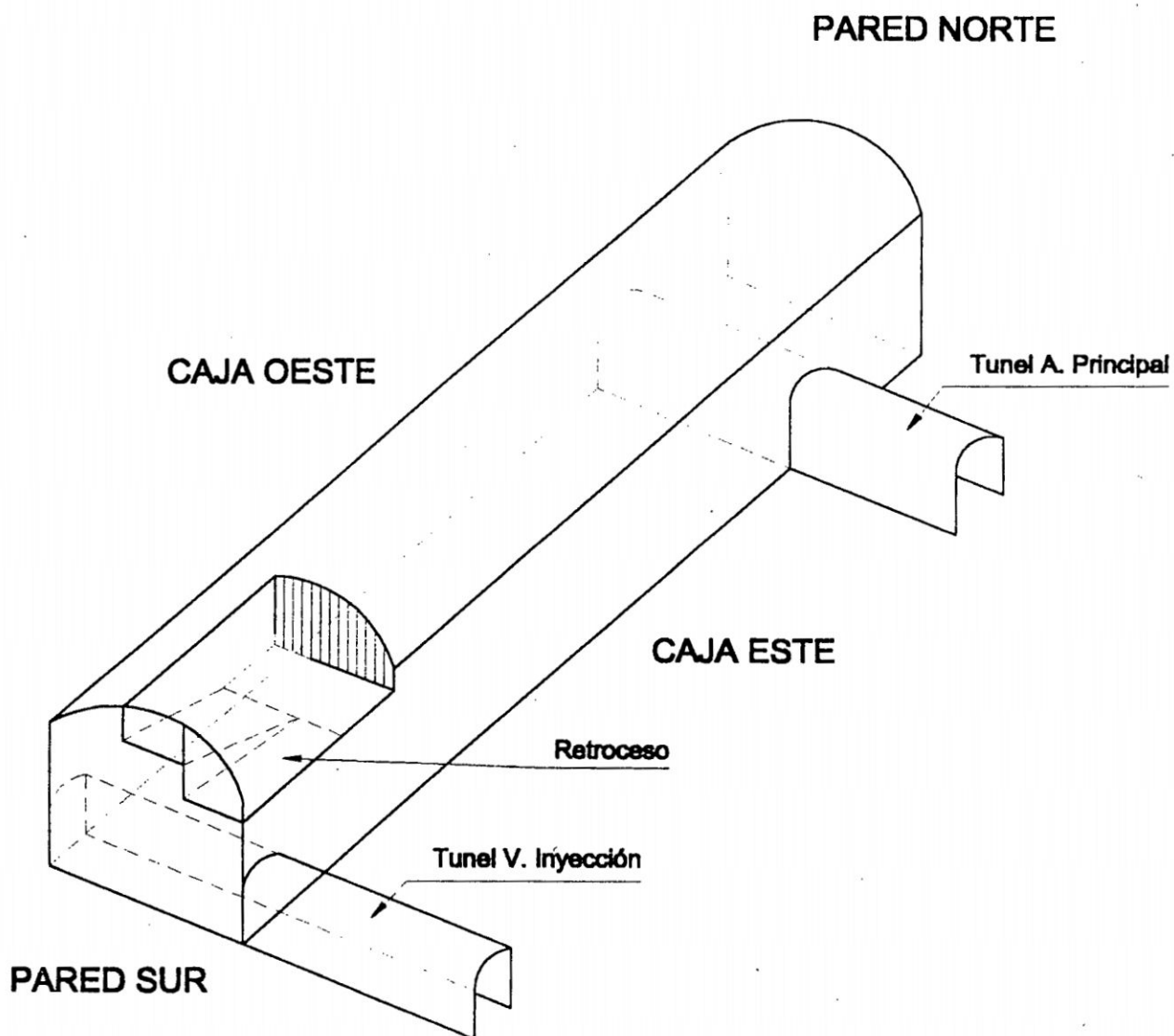


Figura N° 4.4 DESQUINCHE EN RETROCESO

Cuando se logren 40 m adicionales del TCC se reiniciará en paralelo la excavación y fortificación del TEC que se encontraba pendiente a los 20 m, (el avance de ambas frentes se ira regulando de tal manera de mantener, como mínimo, 40.0 m. de resguardo entre ellas).

Se avanzara 40 m del TEC y se dio inicio con la excavación del TCO, trabajando con tres frentes simultáneas separadas por una distancia de seguridad de 40 m una de otra. Ver figura N° 4.5 Excavación Arco - Techo Caverna SAG. (Planta) .

Para el desarrollo del TCO el procedimiento fue similar al descrito para el TCC así:

- Se desarrolla el segundo TAT, de sección variable, desde la caja Oeste del TEC hasta llegar a la caja Oeste de la Caverna.
- Se gira hacia el Norte en dirección longitudinal a la caverna, iniciando el desarrollo y fortificación del TCO, por la línea teórica de la caja oeste .
- Después de algunos metros de excavación, se vuelve a desquinchar y fortificar la esquina Sur-Oeste que había quedado pendiente.

Al trabajar con las tres frentes (TCE, TEC, TCO) se debe mantener una coordinación entre las etapas críticas de cada ciclo, como son: la carga, el disparo, la ventilación, la marina, y las distintas etapas de la fortificación, para no producir interferencias.(como se anuncio anteriormente tener la restricción de 40 m. una de otra, para efectos de seguridad), y se pondrá especial cuidado en el control de una adecuada acunadura de las cajas y principalmente en la bóveda.

Ver figura N° 4.6. Excavación Arco - Techo en Tres Frentes .

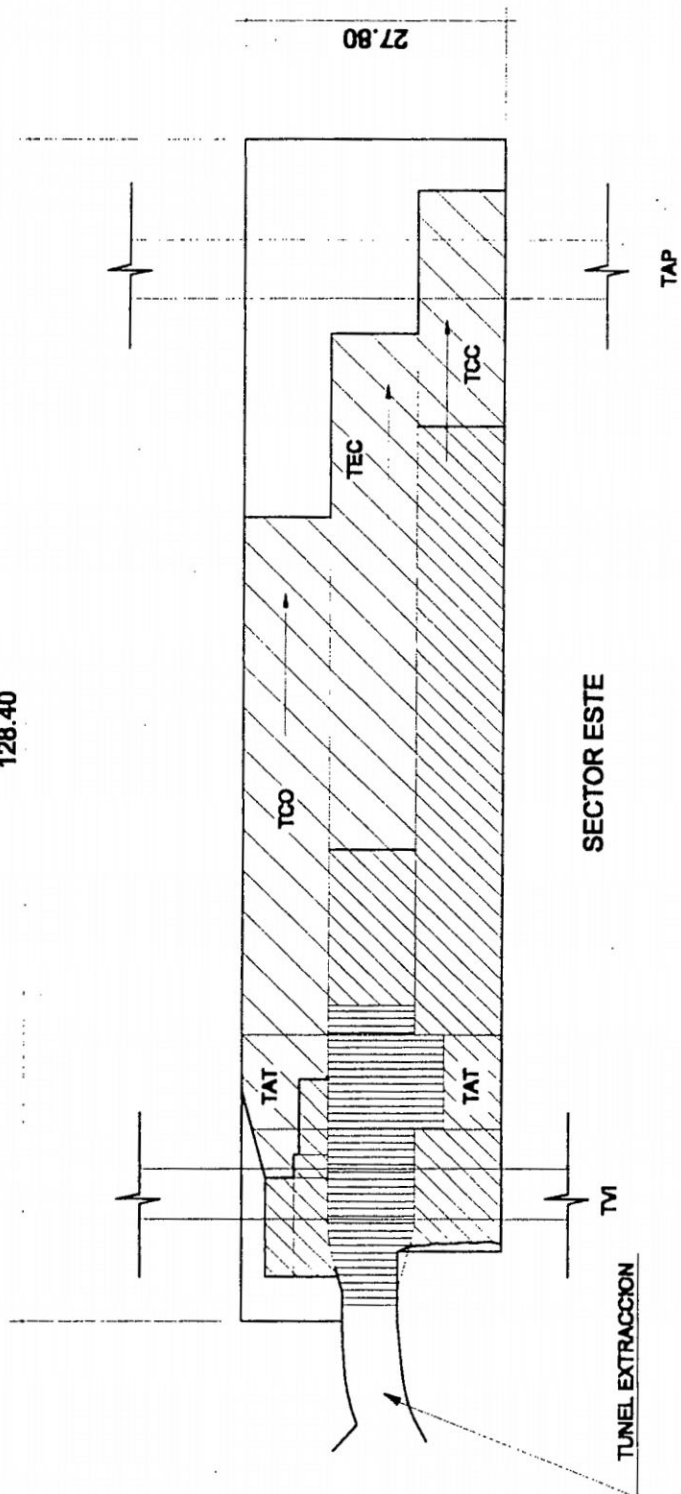
Una vez finalizado las tres frentes , llegando casi al limite de la pared Norte (faltando 1 m., para el limite teórico) , se efectuará la siguiente operación para dar limite teórico de la pared Norte de la Caverna SAG. Se materializa una escuadra (referencia topográfica) en el sector TCC y se desquincha en forma al avance normal, una vez creado este espacio y llegado al limite de la pared norte, avanzar con el resto de las frentes , siendo en primer lugar TEC y después TCO, en forma perpendicular al avance normal, (se utilizara la misma

SECTOR OESTE

128.40

PARED SUR

PARED NORTE



- DESARROLLO MES 1
- DESARROLLO MES 2
- DESARROLLO MES 3

Figura N° 4.5 EXCAVACIÓN ARCO - TECHO (PLANTA)

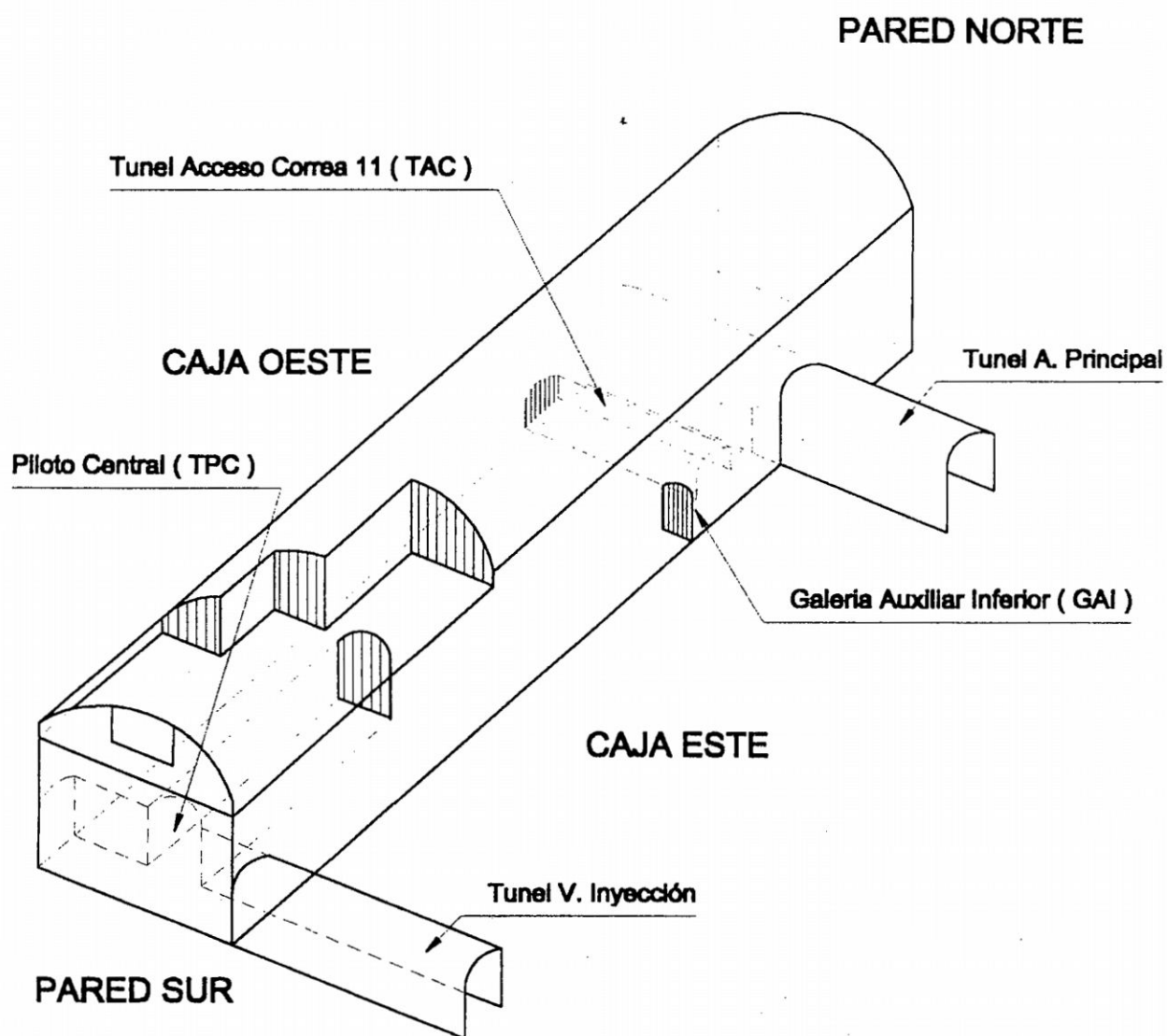


Figura N° 4.6 EXCAVACIÓN ARCO - TECHO EN TRES FRENTES

metodología para lograr el límite teórico, tanto la pared Norte como Sur y ya sea en banqueo o desarrollo horizontal) .

Ver figura N° 4.7. Excavación del Límite Teórico de la Pared Norte Caverna SAG.

A medida que se desarrolla la excavación del arco - techo , topografía tomara perfiles transversales cada 1 metro, con el objeto de ir desquinchando las subexcavaciones y así realizar la fortificación definitiva del techo, que en una primera instancia la colocación de pernos para después colocación de malla y shotcrete .

Una observación importante en esta etapa de excavación, es el hecho de atacar el arco-techo lo mas rápido posible, la razón de este inicio tan ambicioso de excavación, es para aprovechar todas las facilidades existentes para equipar las frentes de trabajo y ganar m³ excavados, pensando siempre en cumplir con los hitos de la programación oficial y además dar mayor holgura a las actividades críticas del proyecto.

4.3.4.- De La Operación Nivel Piso Caverna :

Durante el tiempo que duren las etapas de construcción del arco - techo , se ejecutaran en paralelo otros desarrollos , al nivel del piso de la Caverna , Ver tabla N° 4.4

Tabla N° 4.4. Excavación Piso de la Caverna SAG

Túnel	Sección (m)	Radio (m)	Area (m ²)	Largo (m)
Galería Aux. Inferior (GAI)	5.5 X6.0	4.00	31.12	100.0
Desarrollo. Aux. Norte (DAN)	27.8 X 8		222.40	9.20
Túnel Acc. Correa 11 (TAC)	5.5 X 6.0	4.00	31.12	27.80
Túnel piloto Central (TPC)	5 X 5 a 10 X 11	6.00	10 X 11	147.50

Ver figura N° 4.8. Excavación en Paralelo Arco - Techo y Piso Caverna SAG.

Se desarrollara un Túnel Piloto Central (TPC), comenzando en una primera etapa con sección de 5 x 5 m. y luego desquinchar hasta lograr una sección 10 X 11 m. Esta labor se ubicara en el piso y siguiera el eje de la caverna, coincidiendo su caja Oeste con la caja teórica de los dados proyectados en la parte inferior de la pared Oeste de la Caverna.

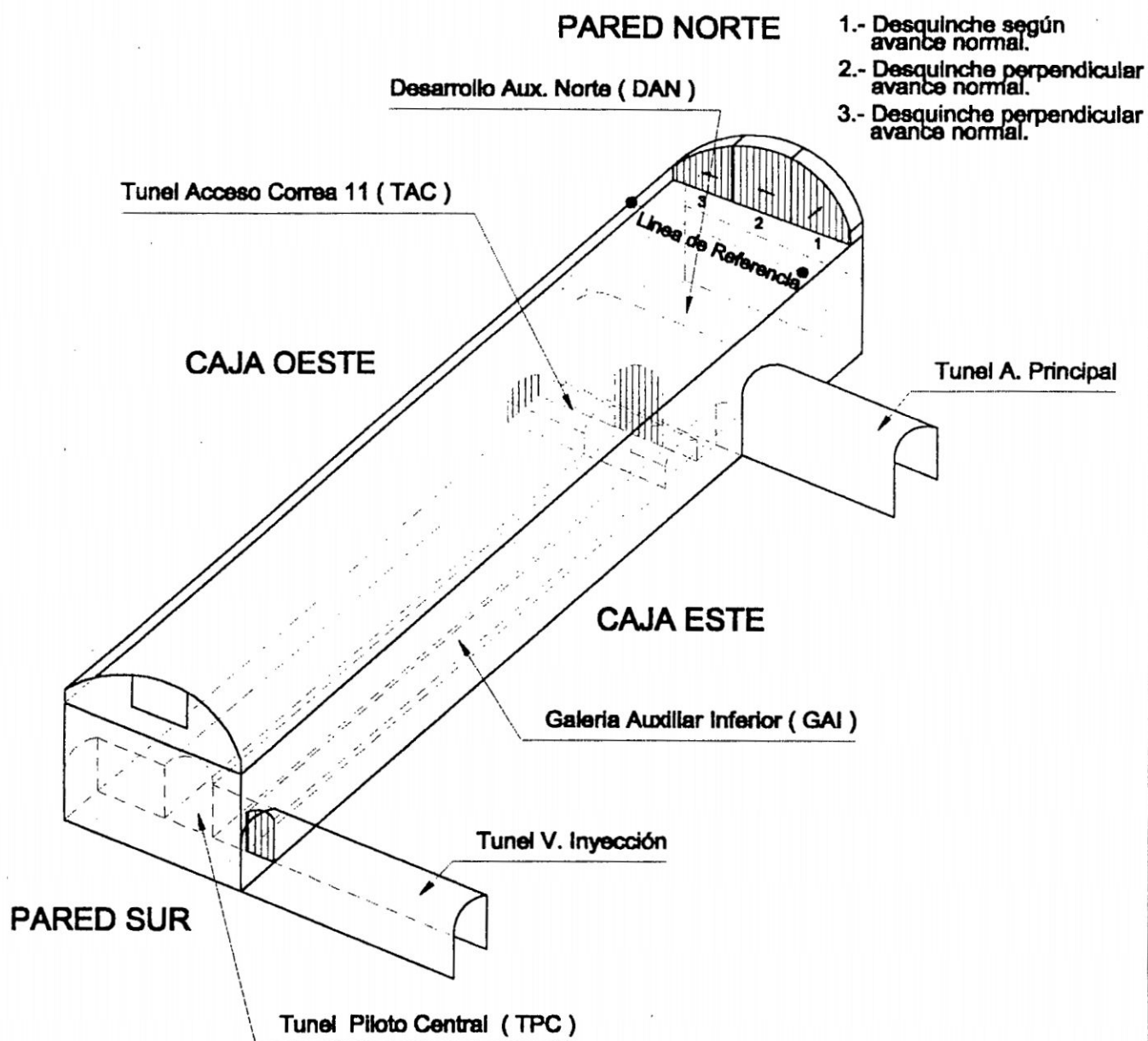


Figura N° 4.7 DESQUINCHE LIMITE TEORICO PARED NORTE

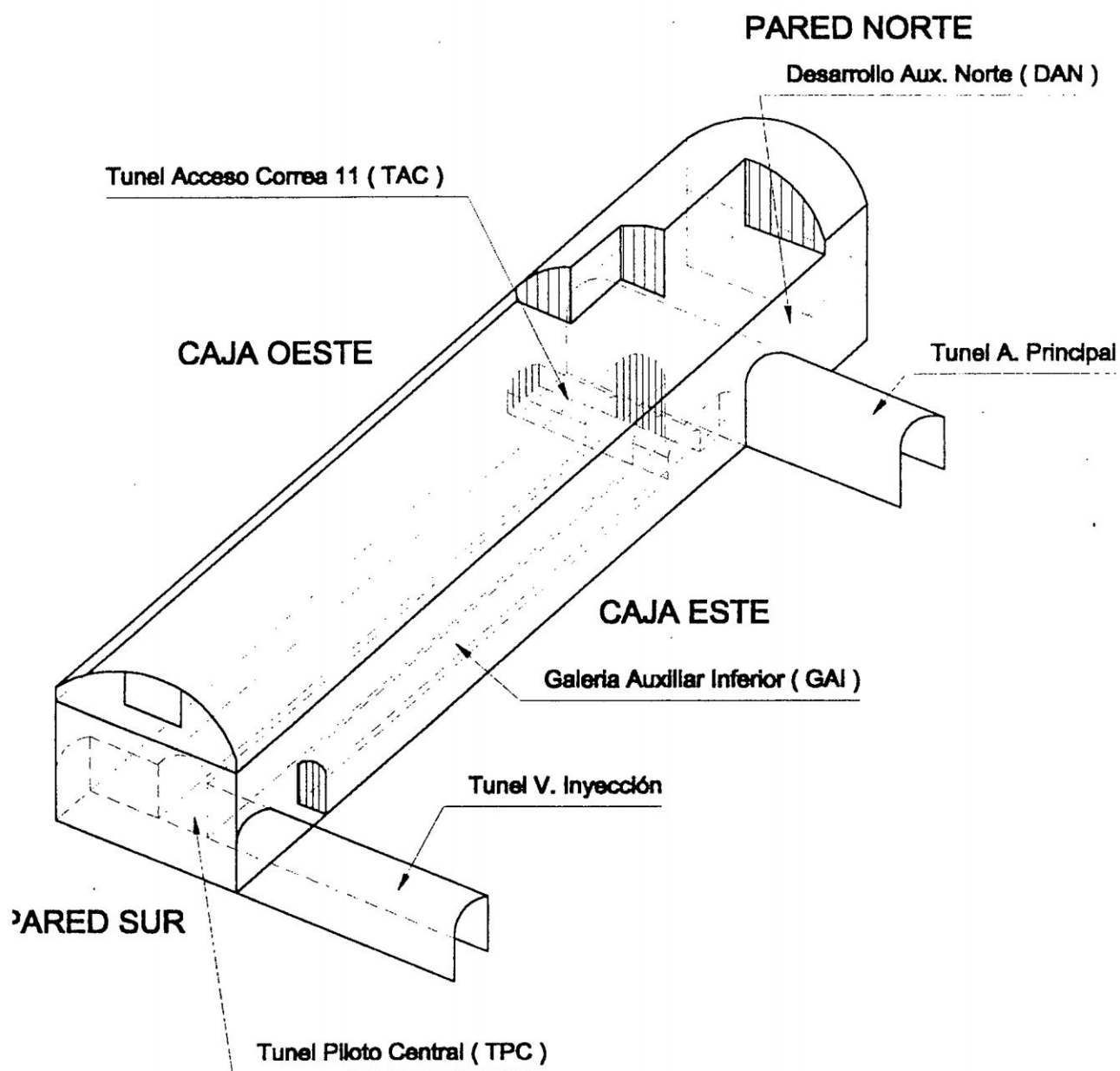


Figura N° 4.8 EXCAVACIÓN ARCO - TECHO Y PISO

El TPC se inició a partir de la pared Norte del túnel TVI, y se excavara en dirección Norte hasta una distancia aproximada de 30 m de la pared Norte del TAP, luego volviendo a desquincar en dirección Norte a Sur para lograr la sección requerida de 10 X 11 m.aprox..

Este desarrollo se efectuó con dos objetivos , 1) - ganar metros cúbicos, para cumplir con los ítos programados . 2) rotura de los tiros para la zanja central .

Paralelo a esta labor se construye la Galería Auxiliar Inferior (GAI) , iniciando la excavación con dirección sur , desde la pared sur del túnel acceso principal (TAP) , esta galería es de sección de 5.5 x 6.0 m. y coincide la caja Este con la caja teórica Este de la Caverna SAG.

Una vez finalizado GAI, se procede a la construcción del Túnel Acceso Correa 11 (TAC), con el objeto de construir en este sector el Pique Cara Libre (PCL) .

Ver figura Nº 4.9 Excavación Piso Caverna Sag. (Planta , muestra el desarrollo de TPC, GAI, TAC y DAN) .

Ver figura Nº 4.10 Desarrollo Arco - Techo , con sus Respectivos Cortes .

Ver figura Nº 4.11 Secciones A y B, Muestra ubicación de TPC, GAI, DAN y DADOS .

Ver figura Nº 4.12 Sección C, Muestra ubicación de TAP, TVI, TPC, TAC y DAN .

Es necesario construir a la mayor brevedad posible una chimenea de marina (CHM) , que serviría para ayudar a la ventilación y cumplir con la función de chimenea de descarga , que sirve en la etapa de construcción del arco - techo, La CH.M. estuvo ubicado en la parte Norte, sector Este de la Caverna, a la altura donde se construyeron los TAT. (se construye a partir de la galería auxiliar inferior (GAI)) .

A partir de la caja Norte del Túnel Principal (TAP) , se construirá el Desarrollo Auxiliar Norte (DAN), coincidiendo las cajas Este , Oeste y la pared Norte , con el límite teórico de la Caverna SAG. , el objetivo de este desarrollo, es la extracción de la marina producto de las quemadas de la zanja central y futuros banqueos . (cuya extracción se realiza por palas y camiones saliendo por el túnel de acceso principal TAP) .

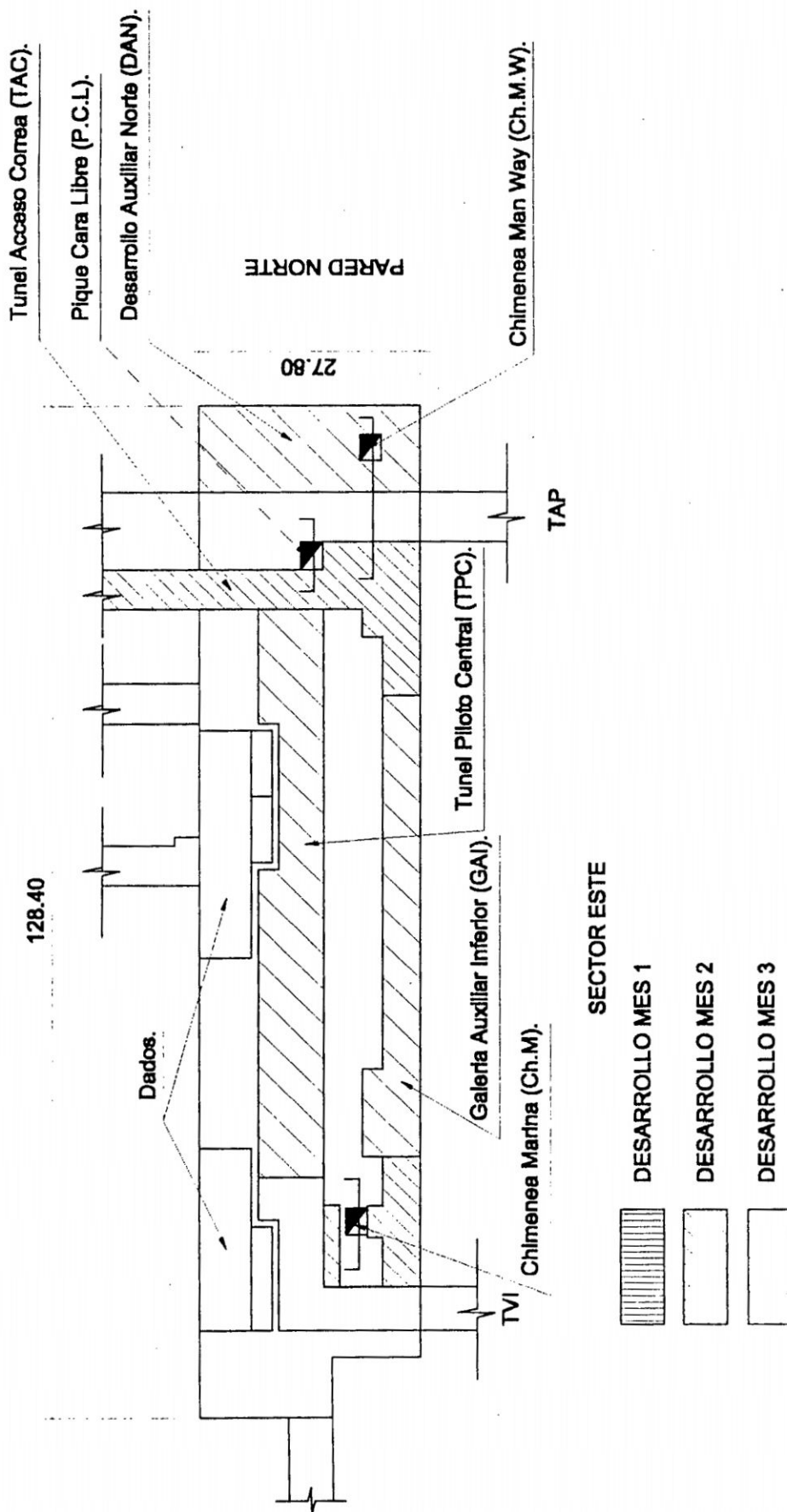


Figura N° 4.9 DESARROLLO NIVEL PISO (PLANTA)

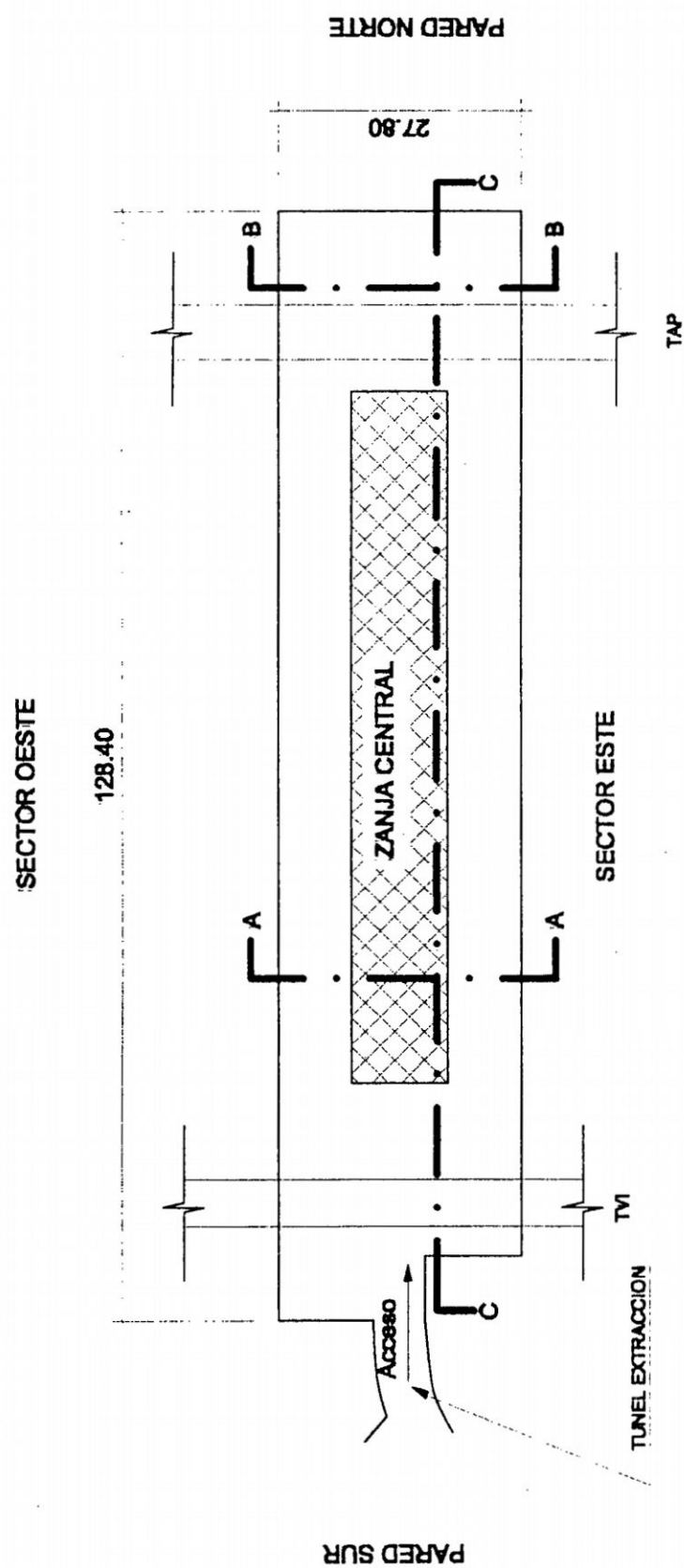
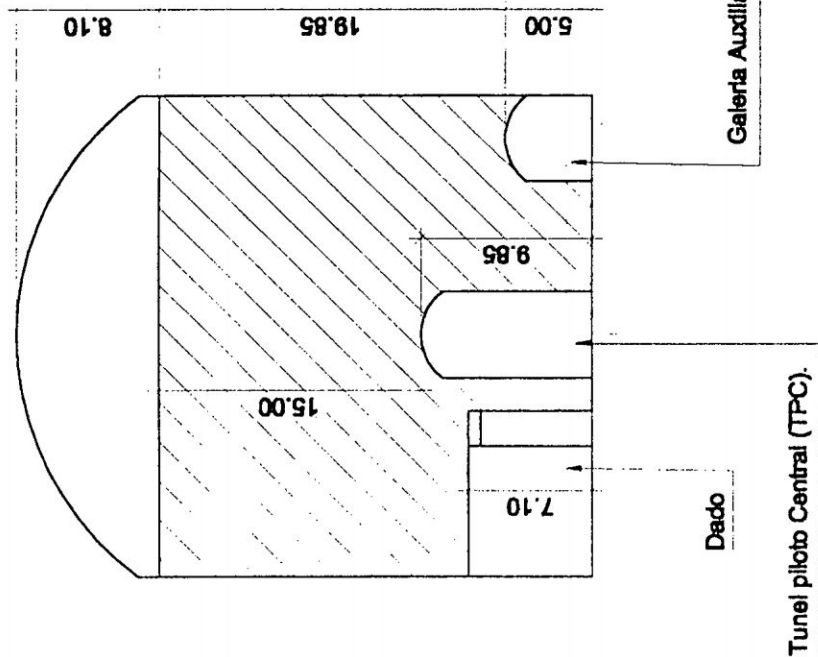


Figura N° 4.10 DESARROLLO ARCO - TECHO Y CORTES RESPECTIVOS.

SECCION A-A



SECCION B-B

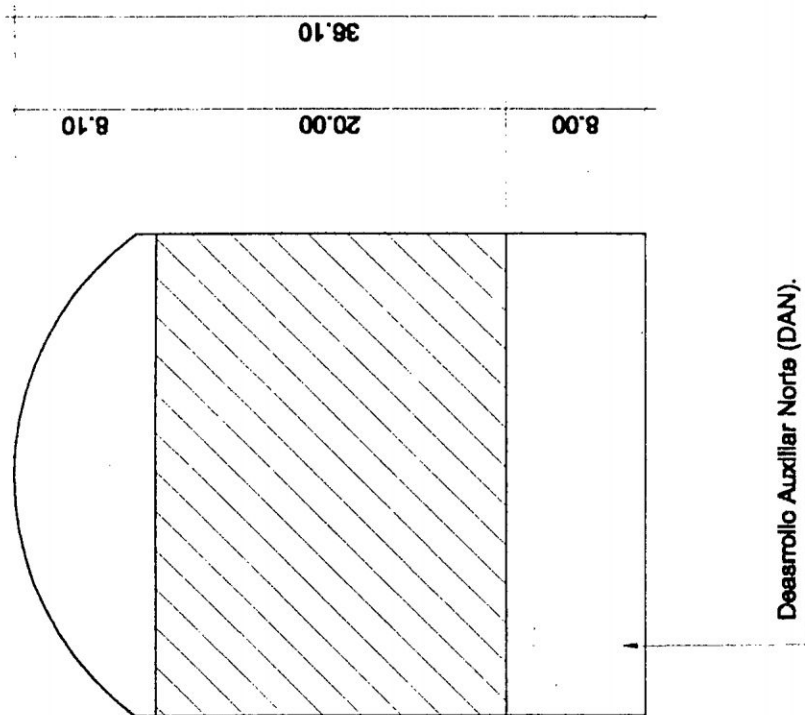


Figura N° 4.11 SECCIONES A Y B
MUESTRAN UBICACIÓN DE TPC, GAI, DADOS Y DAN.

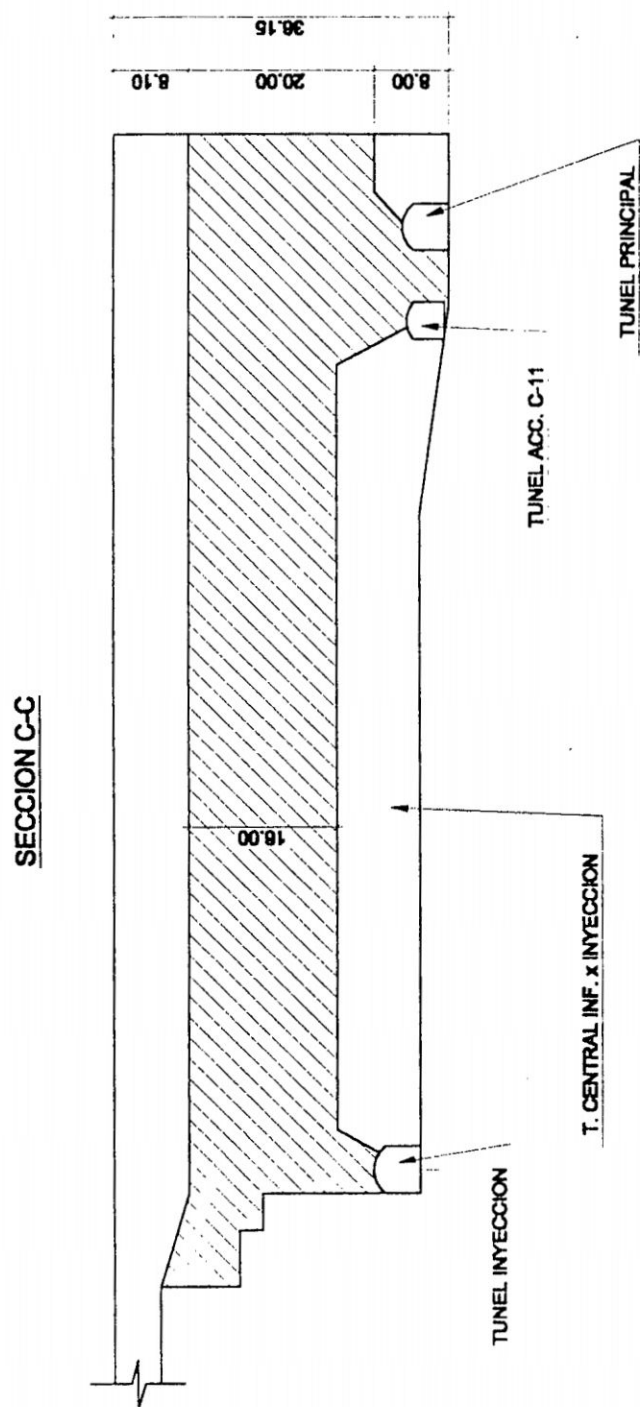


Figura N° 4.12 SECCION C-C MUESTRA UBICACIÓN DE TAP, TVI, TPC, TAC, DAN.

Una vez desarrollado esta labor se construirá una chimenea Man Way (Ch MW) , ubicada casi al limite de la pared Norte de la Caverna SAG., con el objeto de comunicar tanto el piso como el arco techo de la Caverna , esta se utilizara en el periodo , donde las condiciones climáticas no serán favorables, ya que el único acceso que existe para ingresar al arco techo es por la superficie e ingresar al Túnel de Ventilación Extracción (TVE).

Concluida la excavación del TAC y al comienzo de este túnel, se excavara una Chimenea Cara Libre (PCL), de sección 2.0 x 2.0 m y 19 m de alto , (el objetivo de esta chimenea era crear la cara libre , para la construcción de la zanja de corte) .

Ver figura N° 4.13 Desarrollo Nivel Piso, con las ubicaciones de las respectivas Chimeneas .

Ver figura N° 4.14 Sección A, ubicación Chimenea Marina (CH:M.)

Ver figura N° 4.15 Sección B, Ubicación Chimenea Man Way (CH.M.W.)

Ver figura N° 4.16 Sección C, Ubicación Pique Cara Libre (P:CL.) .

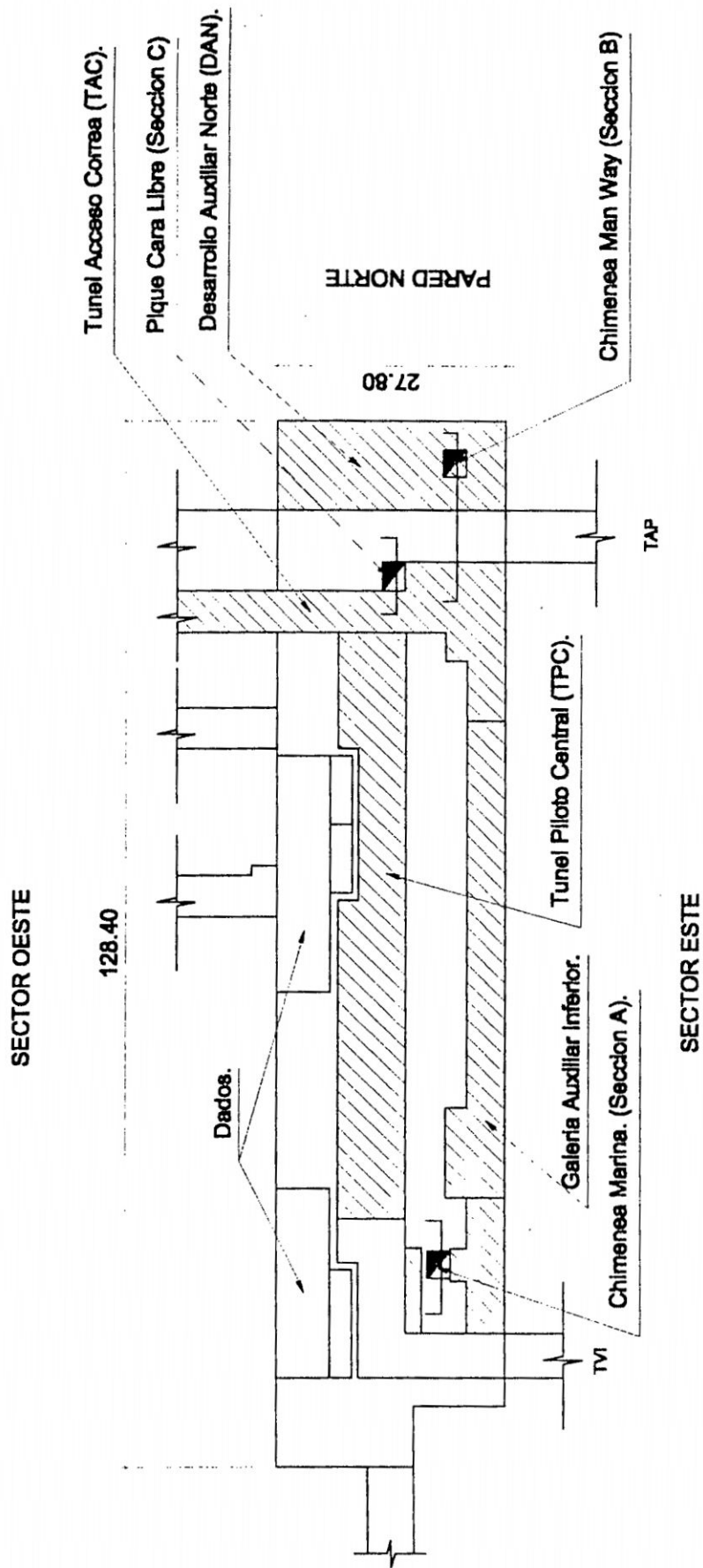


Figura N° 4.13 UBICACIÓN DE LAS CHIMENEAS NIVEL PISO (PLANTA)

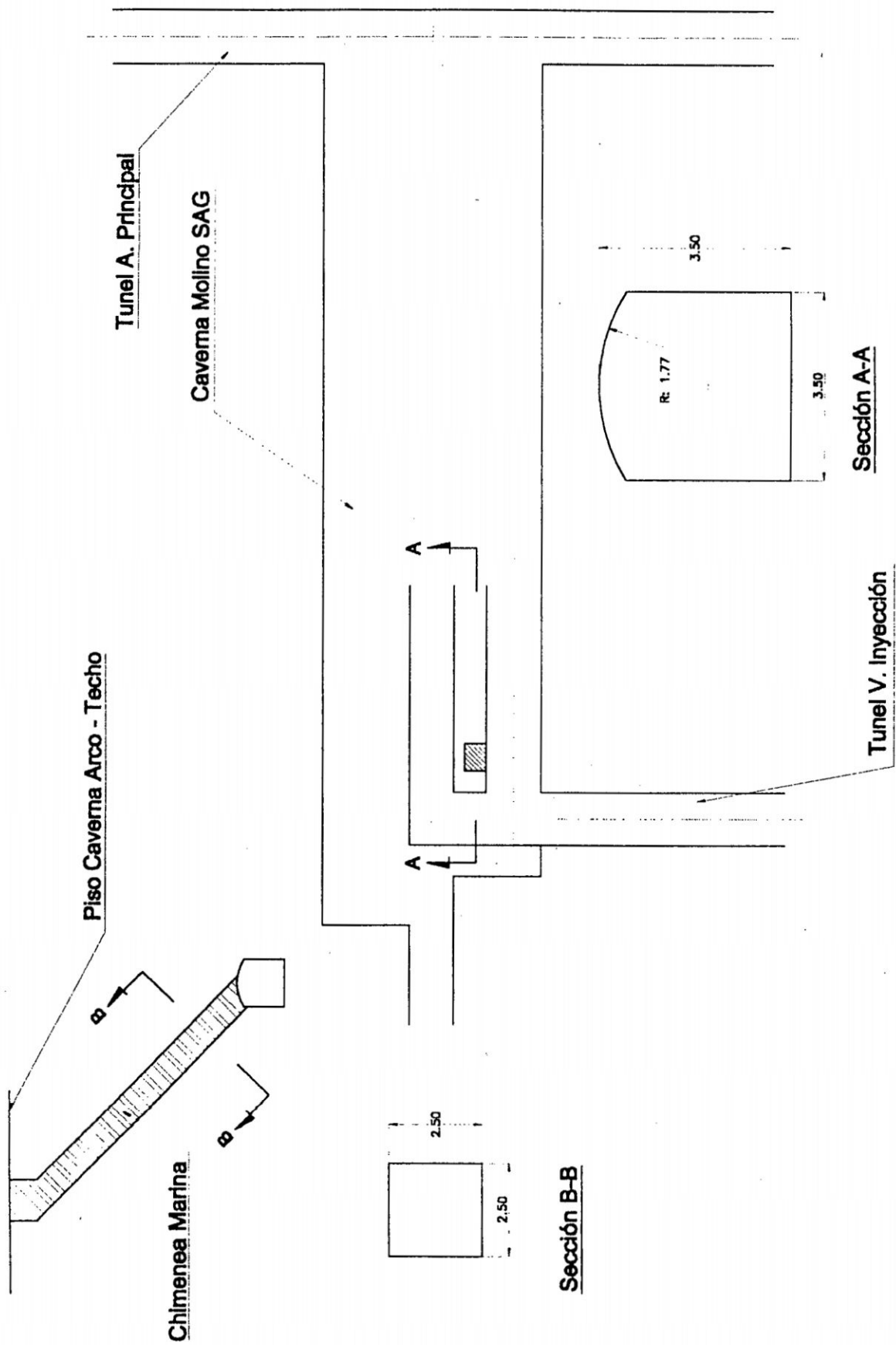


Figura N° 4.14 SECCION A, CHIMENEA MARINA.

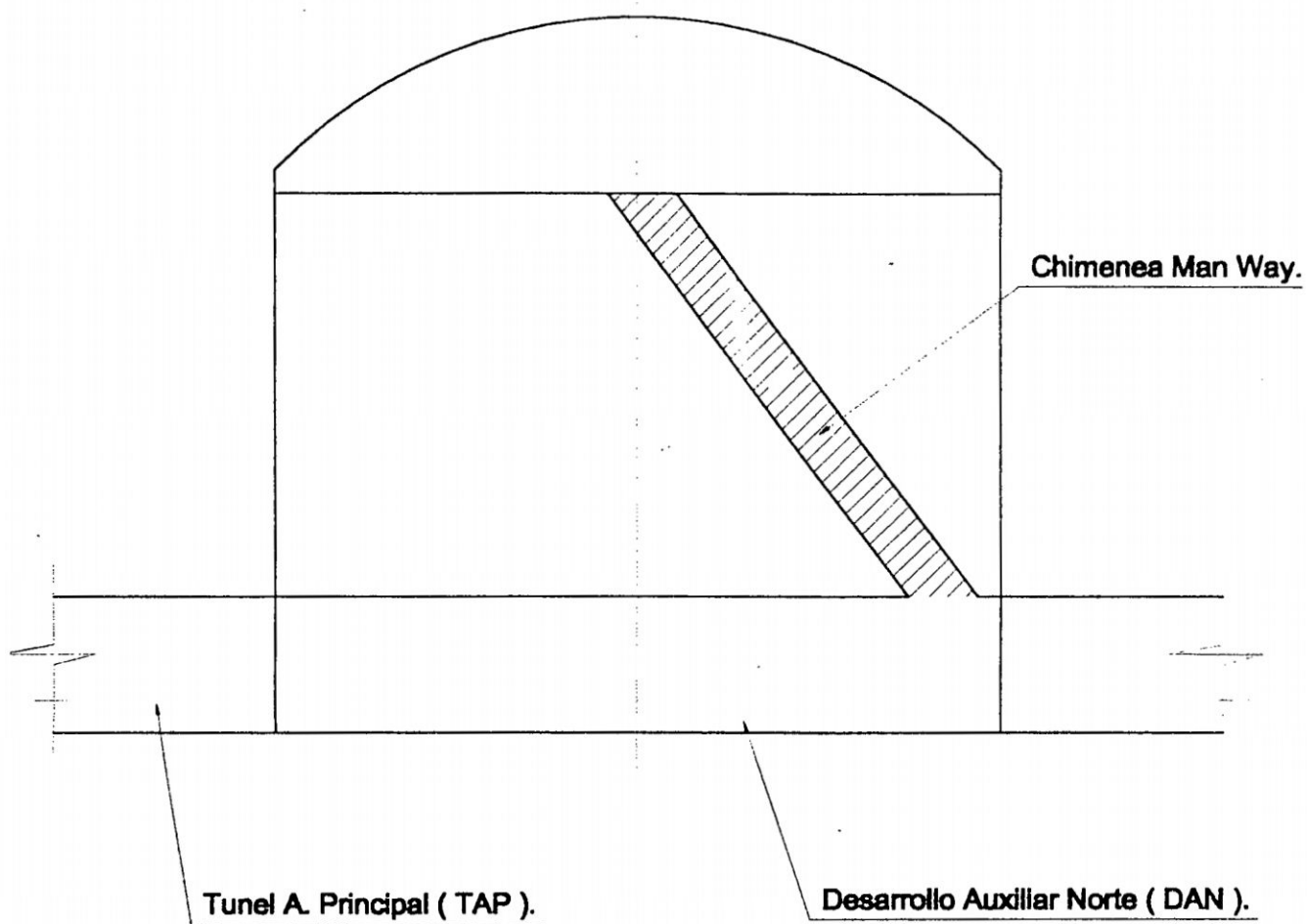


Figura N° 4.15 SECCION B, CHIMENEA MAN WAY.

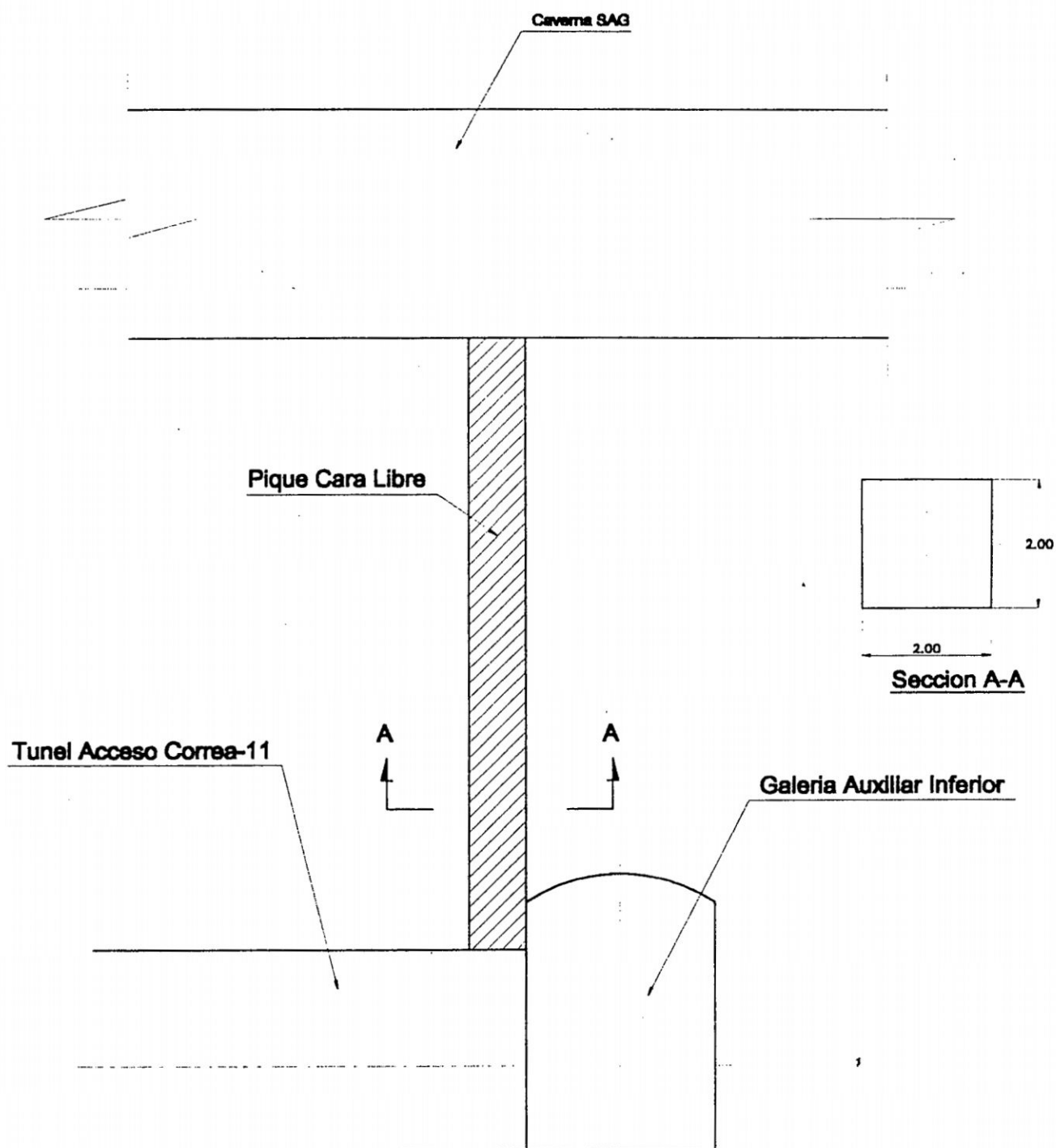


Figura N° 4.16 SECCION C, PIQUE CARA LIBRE.

4.4.- ETAPA N° 2 PERFORACIÓN Y HUNDIMIENTO DE LA ZANJA CENTRAL

(Cota: de 27 m. hasta 12 m. aprox.)

4.4.1.- Alcance :

Comprende la perforación y hundimiento de una zanja central (ZNC) , desde el piso de la etapa arco-techo (cota : 27.0) hasta el techo del túnel piloto central (TPC) (cota 12 aprox.) .

4.4.2.- Generalidades :

Las dimensiones de la ZNC son las siguientes :

- ancho : 11,0 m.
- alto : 15,0 m. (aprox.)
- largo : 80,0 m. (aprox.)

Las quemadas serán secuenciales, tronando tramos de 10 m. de largo cada vez (la longitud de 10 m. se basa en llevar el control de las vibraciones y de la voladura de la zanja) . Ver figura N° 4.17 Construcción Zanja de Corte .

Para la perforaciones se utilizaran (2) Truck Drill Diesel - Hidráulicas, las perforaciones se realizaran en forma vertical . La profundidad de perforación será de 15,0 m. aprox. , 62.5 mm. de diámetro .

Para la extracción de las marinas se utilizaran 2 (dos) cargadores frontales, marca caterpillar, modelo CAT 966-C y 950 E, cargando en el túnel ventilación inyección (TVI) y en desarrollo auxiliar norte (DAN) , directamente sobre camiones tolva de 12 m³ de capacidad.

4.4.3.- De La Operación

Una vez concluida la etapa de excavación del Arco - Techo, se procede a perforar la Zanja Central (en este sector ya estaba concluida la fortificación definitiva del arco techo) , utilizando (2) Truck Drill Diesel - Hidráulicos, las perforaciones se realizaron en forma vertical, de arriba hacia abajo. La profundidad de perforación fue de 15,0 m (aprox.) con una malla de perforación de 2,0 x 2,2 m y un diámetro de 2,5" (62,5 mm) .

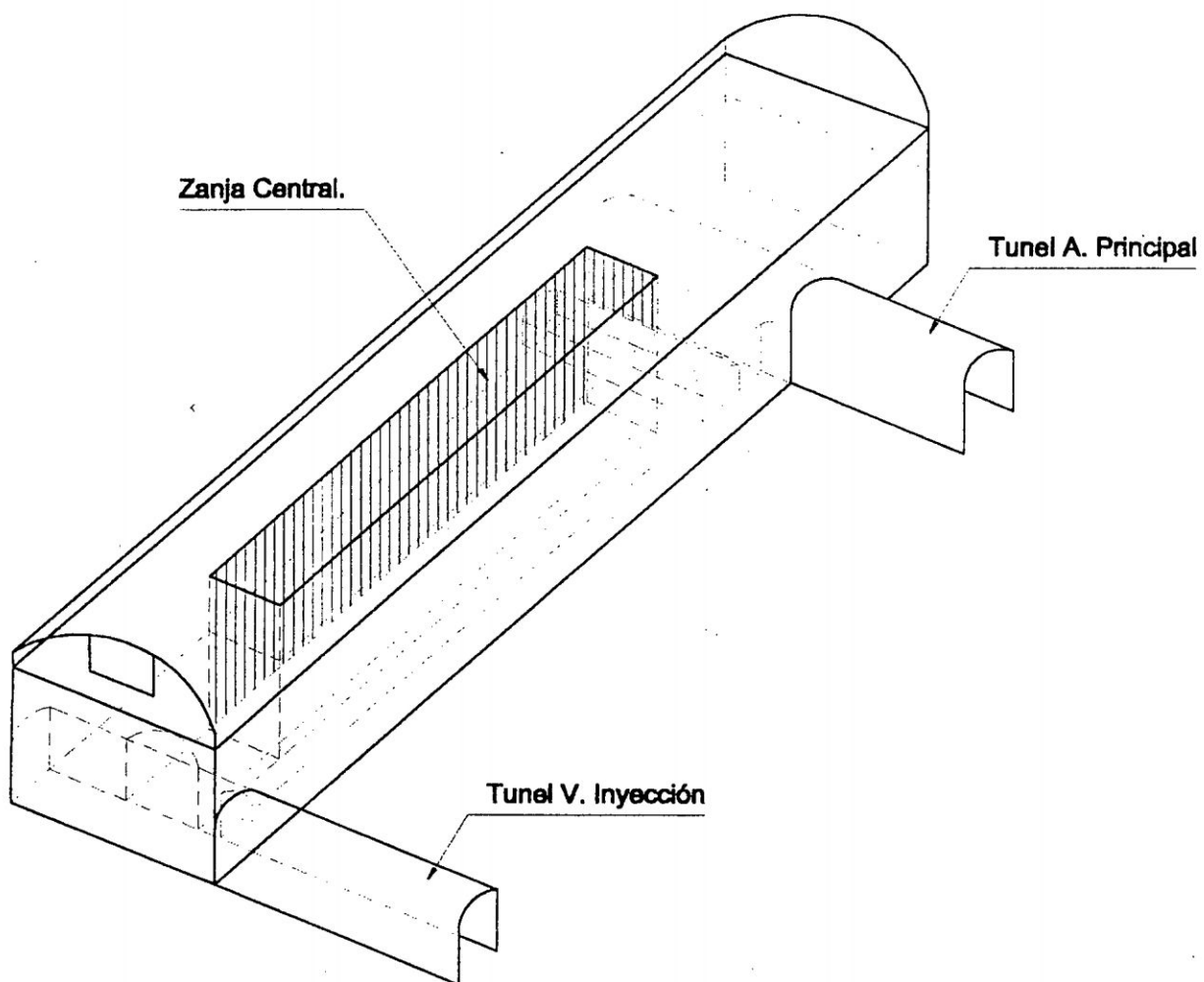


Figura N° 4.17 DESARROLLO ZANJA CENTRAL

Antes de iniciar las quemadas se ingresará a la Caverna un bulldozer, marca Caterpillar, modelo D8-H y un jumbo Boomer H - 282 los cuales permanecerán en el interior, al igual que los Truck de perforación, hasta que finalicen las etapas de la excavación de los banquetes (esta operación se realiza, ya que es posible que en algún momento no exista comunicación para el ingreso de equipos al interior de la Caverna) .

A partir de la Chimenea Cara Libre , ubicada entre el kilometro 104 y 102 m., se construye la cara libre de la zanja (zanja de corte) , esta se realiza utilizando los tiros verticales ya perforados, se avanza en dirección Oeste sobre estos mismos kilometrajes , con esto se parte de un limite (el que se encuentra la chimenea) al otro, del largo de la zanja (11 m .), hasta alcanzar una sección de 2 x 11 x 15 m.

Ver figura N° 4.18 Pique Cara Libre (PCL) y Construcción zanja de Corte

El Pique PCL cumplió la función importante de crear la cara libre, para la zanja de corte, y esta la cara libre para el hundimiento de la zanja central.

Ver figura N° 4.19 Construcción Zanja Central (ZNC) .

El objetivo de esta etapa fue la creación de una gran cara libre en el eje central de la Caverna, para lograr esto, se diseñó la Zanja Central (ZNC) desde el piso del Arco - Techo de la Caverna (Cota: 27m) llegando hasta el techo del TPC (Cota: 12 m).

La secuencia de hundimiento de la ZNC se procede a quemar en tramos de 10 m de largo como máximo, se inicia con la primera quemada a partir del tramo contiguo a la Zanja de Corte, avanzando con el hundimiento en dirección Norte - Sur.

A medida que se efectuaran los disparos, se retiraran y protegieran los equipos de las posibles proyecciones de roca triturada por la voladura, para esto se utilizaran protecciones construidas de goma, mallas de cables de acero y tablones de madera .

Realizada las primeras quemadas se retirara la marina en forma controlada, solo el esponjamiento producto de la tronadura de la Zanja Central .(la extracción de este esponjamiento se efectúa por el Túnel de Acceso Principal TAP) .

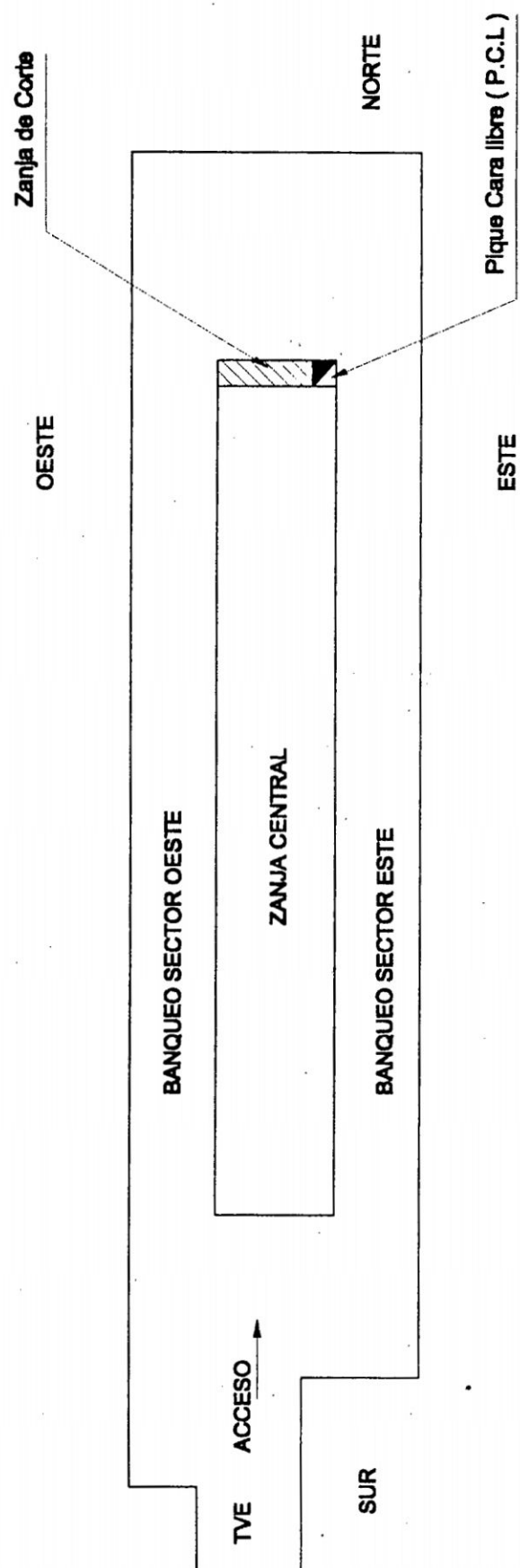


Figura N° 4.18 EXCAVACIÓN PIQUE CARA LIBRE
ZANJA DE CORTE (COTA 27 m).

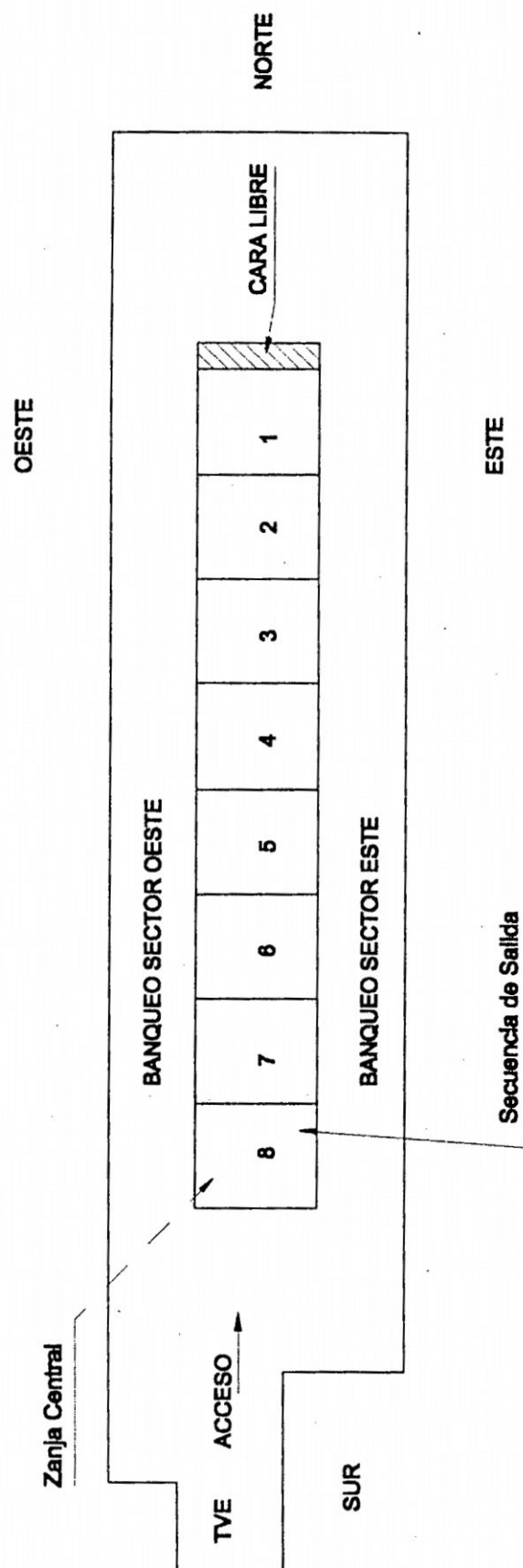


Figura N° 4.19 SECUENCIA EXCAVACIÓN
ZANJA CENTRAL (COTA 27 m).

Una vez terminadas las 8 quemadas se emparejara el material rocoso quebrado, mediante el Bulldozer, y se procede a retirar la marina por la parte inferior de la Caverna, utilizando el TVI (Túnel Ventilación Inyección) y el DAN (Desarrollo Auxiliar Norte), de tal forma de disminuir el volumen de roca quebrada en la parte superior de la ZNC, generando bancos de excavación, delimitados por la zanja Central, pegados a los costados Norte, Sur, Este y Oeste de la Caverna .

La segunda etapa de excavación se caracteriza por definir el método de construcción de la caverna, con la creación de esta gran cara libre central se da inicio a los desarrollos verticales, que en definitiva este tipo de desarrollo dominará la metodología de excavación de la Caverna, ajustándose así con la nuevas metodología de excavación de túneles de gran sección.

4.5.- ETAPA N°3 EXCAVACIÓN MEDIANTE BANQUEO DE H= 5,0 m .

(Cota: de 27 m. hasta 17 m.)

4.5.1.- Alcance :

Comprende la creación de Bancos de excavación, delimitados por la ZNC, pegados a los costados Norte, Sur, Este y Oeste de la Caverna . Los bancos tienen una altura de $h= 5$ m (BH5), desde el Arco - Techo de la Caverna (Cota: 27m.), hasta una altura intermedia de la Caverna (Cota: 17m.), es así que se tiene dos bancos en la vertical.

Ver figura N° 4.20 Banqueo Caja Este en términos Generales

Ver figura N° 4.21 Banqueo Caja Oeste en términos Generales

4.5.2.- Generalidades :

Las características de los bancos, para el lado Este y Oeste son iguales y se describen a continuación.

- Ancho : 8,4 m.
- Altura : 5,0 m.
- Largo : 128,0 m. (aprox.)

Las quemadas serán secuenciales de avance variable , siendo un promedio de 20 m. de largo cada una, contra la cara libre, que se generó con la Zanja Central, al retirar parte de la marina esponjada.

Para la perforación, se utilizarán dos equipos truck drill Diesel-Hidraulico , ambos bancos BH5 tendrán una malla de 2,0 x 2,2 m. con una altura de perforación de 5.5 m, y un diámetro de perforación de 2,5" (62,5 mm). Para el apernado se utilizara Jumbo electrohraulico, marca Atlas Copco , modelo Boomer H-282, mediante tiros de 6.0 m. y 48 mm de diámetro .

Para la extracción de las marinas utilizara un Bulldozer D8-H distribuyendo y emparejando hacia los extremos de la caverna, la marina resultante de las quemadas se retira con dos Cargadores CAT 966-C y 950 C, cargando simultáneamente en el TVI (Túnel Ventilación Inyección) y en DAN (Desarrollo Auxiliar Norte) directamente sobre camiones

CAJA OESTE

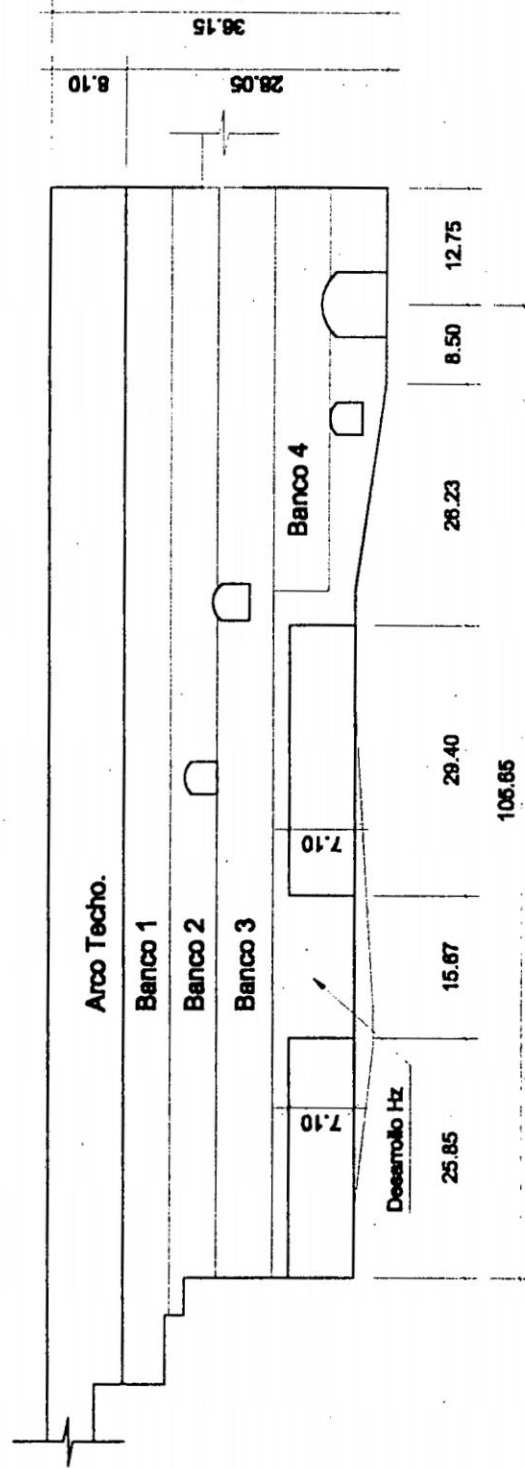


Figura N° 4.20 ESQUEMA GENERAL BANQUEO CAJA OESTE

CAJA ESTE

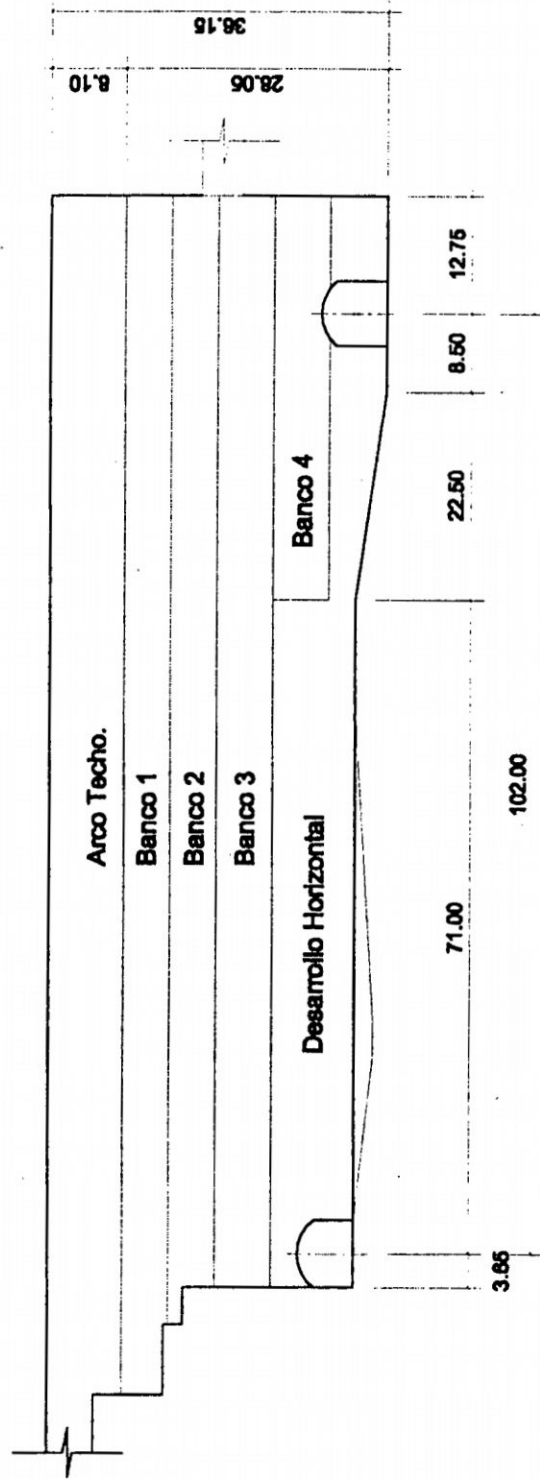


Figura N° 4.21 ESQUEMA GENERAL BANQUEO CAJA ESTE

Tolva de 12 m³ de capacidad . El vaciado del material se ejecutara en los botaderos asignados para el contrato .

4.5.3.- De La Operación :

Ambos bancos BH5 se perforarán mediante los Truck-Drill, en forma simultánea . Las perforaciones que van pegadas a las cajas de la caverna se tupirán cada 30 cm. de separación, de tal manera de ir controlando la sobreexcavacion y geometría de las cajas , esta operación se efectúa una vez quemado los bancos y realizándola con Jumbos electrohidraulicos (en forma desarrollo horizontal) .

Ver figura N° 4.22 Banqueo y Desquinche Lateral con Jumbo

En la medida que se fue terminando la perforación de los bancos BH5 parciales , se irán quemando y se tomaran todas las precauciones necesarias, para asegurar los equipos y materiales que se encuentran en el interior de la Caverna y todo el personal fue debidamente evacuado.

Una vez producido los primeros disparos, se retirara la marina con el Bulldozer D8-H , (arroja la marina hacia la zanja) , este mantendrá el piso parejo. Posteriormente se efectuara el desquinche lateral , cuyo objetivo es dar el limite teórico de las cajas de la Caverna .

A medida que se vayan quemando los bancos parciales y sus respectivos desquinses laterales, se irán fortificando de inmediato las cajas de acuerdo al proyecto respectivo, se perforaran y lecharan los pernos de fortificación de 6.0 m. de largo y 22 mm. de diámetro, se instalara malla inchalam 10010 .

Estas actividades se harán sobre Plataformas Fijas (camiones de levante hasta 7 m.) , ya que la altura de los bancos así lo permite , ingresando los materiales de fortificación a través de este vehículo .

La secuencia de excavación y fortificación anterior se mantendrá invariable hasta completar el primer y segundo banqueo de 5 m. cada uno .

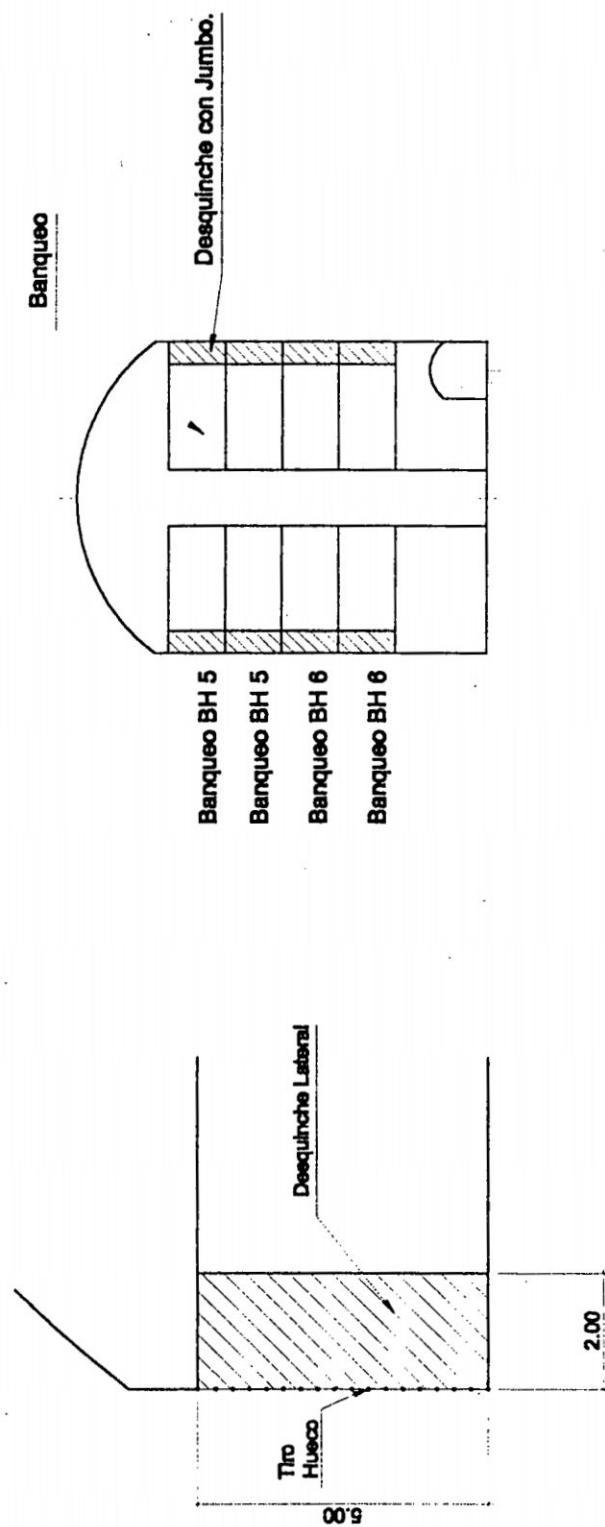


Figura N° 4.22 BANQUEO Y DESQUINCHE LATERAL

Cabe destacar que en todo momento se pondrá especial cuidado en el control de una adecuada acuñadura de las cajas .

Como punto característico de esta etapa, podemos manifestar que el banqueo al interior de la caverna no difiere en nada al banqueo que se realiza en superficie, salvo la condición de obtener una pared con un corte limpio, para corregir o lograr esta pared de corte liso se utilizan los métodos de desarrollo horizontal, logrando excavar los últimos 2 m. contiguos a la pared y obtener el límite teórico de la caja .

4.5.3.1.- Primer Banqueo BH5

Una vez creada la zanja central , se procedió a realizar el banqueo BH5 (cota 27 m. hasta cota 22 m.) , teniendo las siguientes consideraciones :

- Cabe destacar que todas las zonas donde se efectúa el banqueo , la fortificación definitiva debe estar completa .

1 - Empezar a banquear por caja Este, comenzando el banco E2 , con el objeto de retirar la marina por el sector inferior (Túnel Acceso Principal (TAP)) .

2 - Proseguir hacia el Sur , con los bancos E3 , E4 , E5, una vez banqueado el E5 se crea la rampa para acceso a este sector , con el fin de desquinchar los 2 m faltantes para lograr la pared teórica Este (este desquinche se realiza en forma desarrollo horizontal paralela a la caja) y realizar la fortificación acorde a especificaciones .

3 - Paralelo a esta actividad se trona el sector Oeste, con el banco O2 , prosiguiendo al Sur , con los bancos, O3 , O4 , O5 . una vez banqueado el O5 se crea la rampa para acceso a este sector , con el fin de desquinchar los 2 m faltantes para lograr la pared teórica Oeste y realizar la fortificación definitiva .

4 - A continuación se banquea todo el sector Norte que incluye los bancos N1, N2, N3, llegando hasta 1m antes de la pared teórica Norte de la Caverna SAG., este metro faltante se desquincha en forma horizontal , con las respectivas referencias topográficas . Una vez logrado el límite teórico de la pared se realizara la fortificación definitiva .

5- Solo queda por banquear el sector Sur de la Caverna , este no se realiza ya que la única vía de acceso o comunicación es el túnel de ventilación extracción (TVE), comunicación que se utiliza para el ingreso de materiales, explosivos etc..

Ver figura N° 4.23 Secuencia de salida Primer Banqueo BH5 Planta

Ver figura N° 4.24 Secuencia del Primer Banqueo BH5, Caja Oeste

Ver figura N° 4.25 Secuencia del Primer Banqueo BH5, Caja Este

4.5.3.2.- Segundo Banqueo BH5

6- Se procede a realizar el segundo banqueo BH5 (cota 22 m. hasta cota 17 m.), teniendo en consideración la vía de comunicación, para este fin se utilizara la labor denominada correa 15, ubicada en la caja Oeste de la Caverna, con igual cota que el segundo banqueo .

7- Con lo anunciado anteriormente se empieza a banquear por la caja Oeste, comenzando el banco O5 .

8- Proseguir hacia el Norte , con los bancos O4, O3, O2 . Una vez banqueado, desquinchar los 2 m. faltantes para lograr la pared teórica Oeste (este desquinche se realiza en forma desarrollo horizontal paralela a la caja) y realizar la fortificación acorde las especificaciones .

9- Efectuado la fortificación del segundo banqueo del lado Oeste y logrando la comunicación con la labor correa 15, se procede a tronar el sector Sur del primer banqueo (cota 27 m. a 22m.) pendiente . Según la forma de la caverna Sag en el sector Sur, presenta un escalón en el banqueo S2, este se efectúa controlando la longitud de perforación y luego se procede al perfilamiento de este escalón (realizado en forma manual) .

10- En forma paralela se procede a banquear el sector Este, comenzando con banco E2, prosiguiendo al Sur , con los bancos E3, E4, E5 . Una vez banqueado el E5 se crea la rampa para acceso a este sector , con el fin de desquinchar los 2 m faltantes para lograr la pared teórica Este y realizar la fortificación definitiva .

11- Proseguir con los bancos N1, N2, N3 .Efectuado el banqueo Norte y faltando 1m para lograr la pared teórica Norte de la Caverna Sag, se procede al desquinche de este metro,

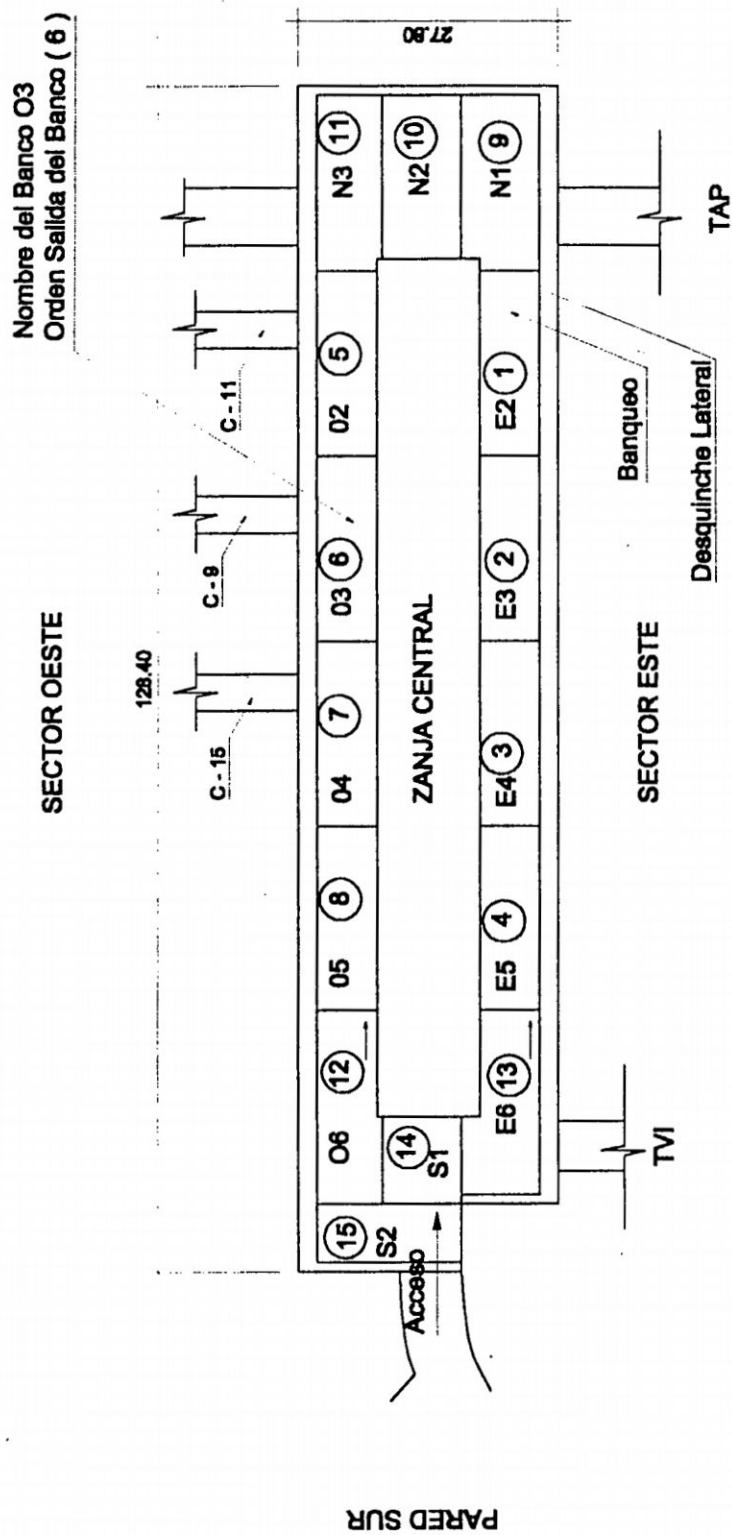


Figura N° 4.23 SECUENCIA SALIDA PRIMER BANQUEO BH5 (PLANTA).

CAJA OESTE

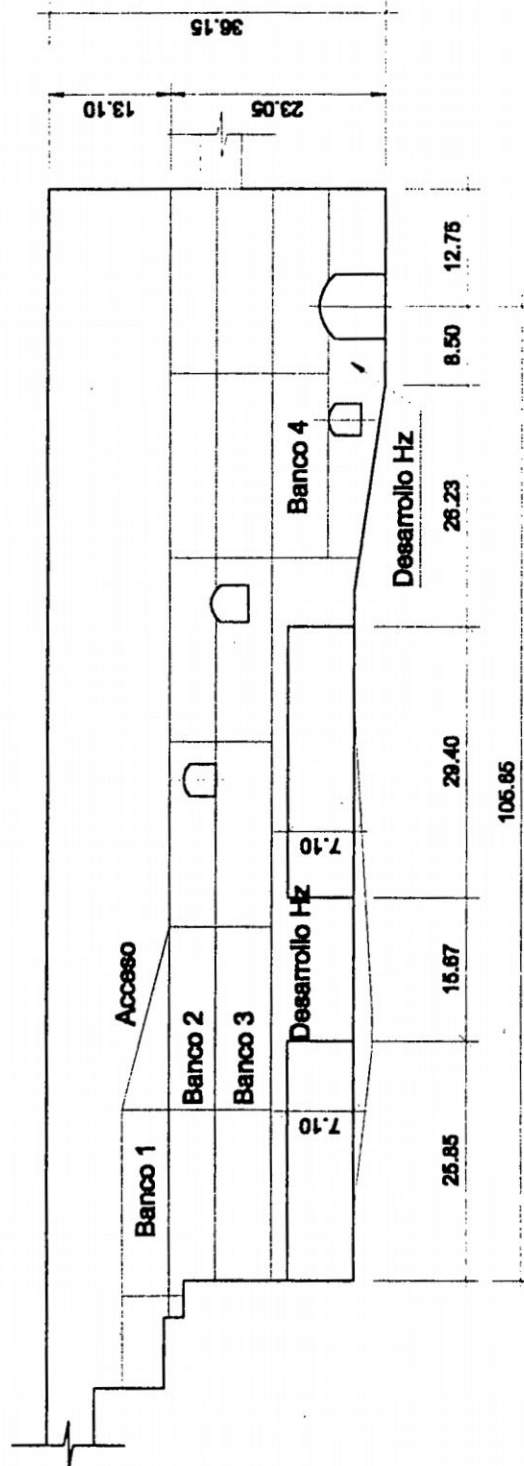


Figura N° 4.24 SECUENCIA DE EXCAVACIÓN
PRIMER BANQUEO CAJA OESTE BH5

CAJA ESTE

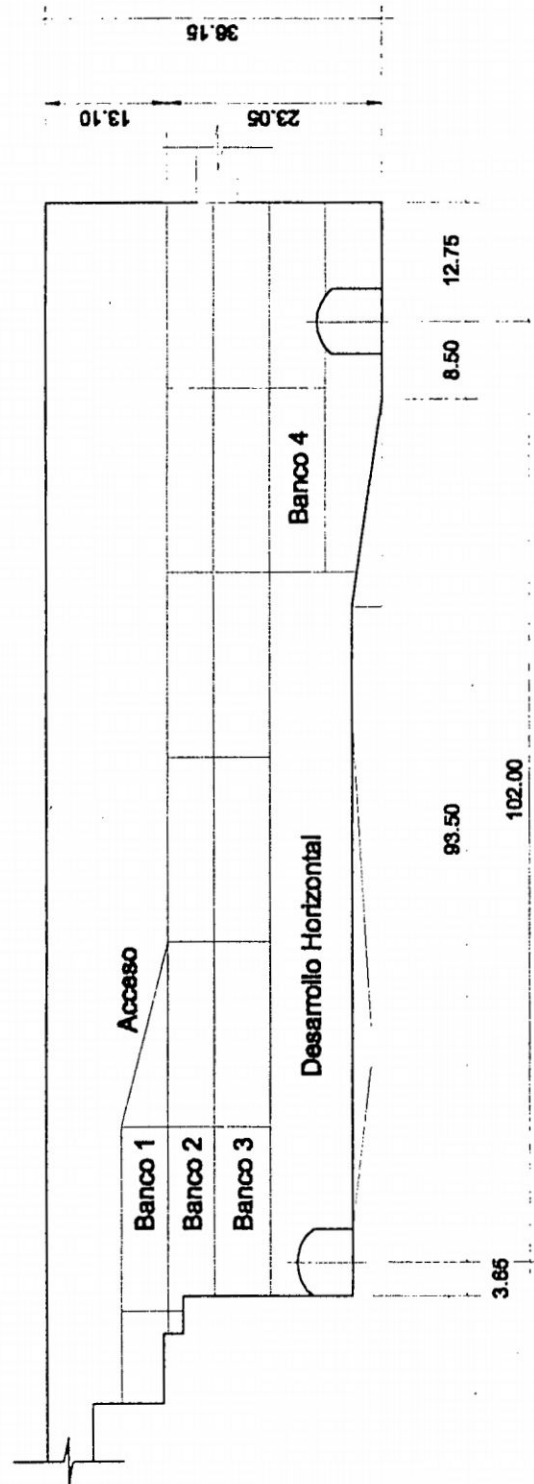


Figura N° 4.25 SECUENCIA DE EXCAVACIÓN
PRIMER BANQUEO CAJA ESTE BH5

realizándose en forma del avance horizontal, con las respectivas referencias topográficas .Una vez logrado el limite teórico de la pared se realiza la fortificación definitiva .

12- Finalizando el segundo banqueo con los bancos del Sur, siendo los bancos E6, S1 y O6

13- El perfilamiento de la pared sur se efectúa del mismo modo que el realizado a la pared norte, una vez adquirido este limite teórico se efectúa la fortificación definitiva de dicha pared.

Ver figura N° 4.26 Secuencia Salida Segundo Banqueo BH5

Ver figura N° 4.27 Secuencia del Segundo Banqueo BH5, Caja Oeste

Ver figura N° 4.28 Secuencia del Segundo Banqueo BH5, Caja Este

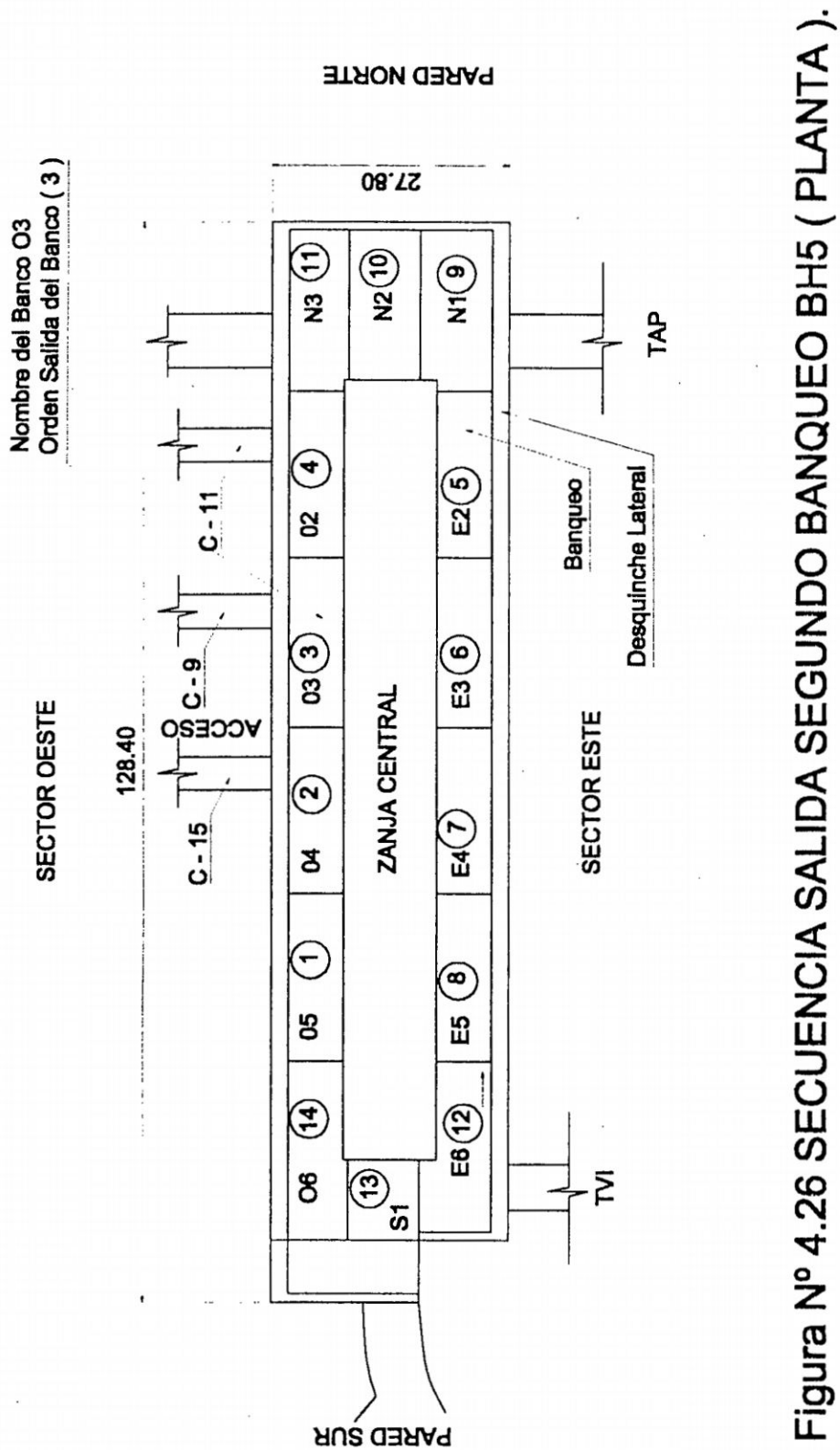


Figura N° 4.26 SECUENCIA SALIDA SEGUNDO BANQUEO BH5 (PLANTA).

CAJA OESTE

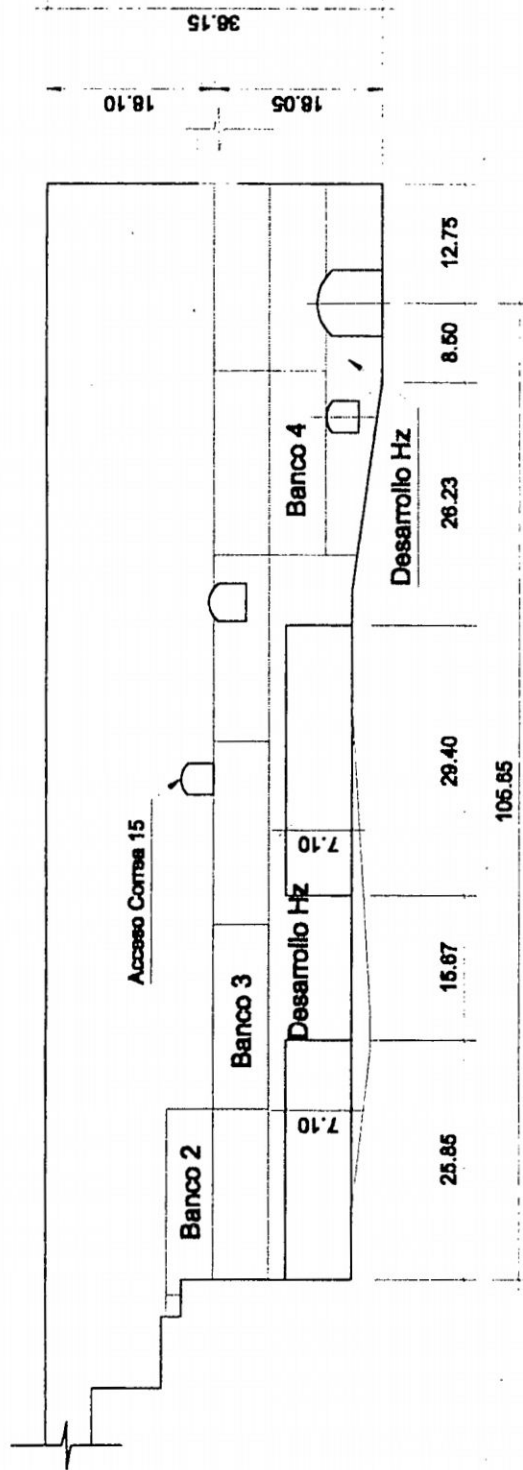


Figura N° 4.27 SECUENCIA DE EXCAVACIÓN
SEGUNDO BANQUEO CAJA OESTE BH5

CAJA ESTE

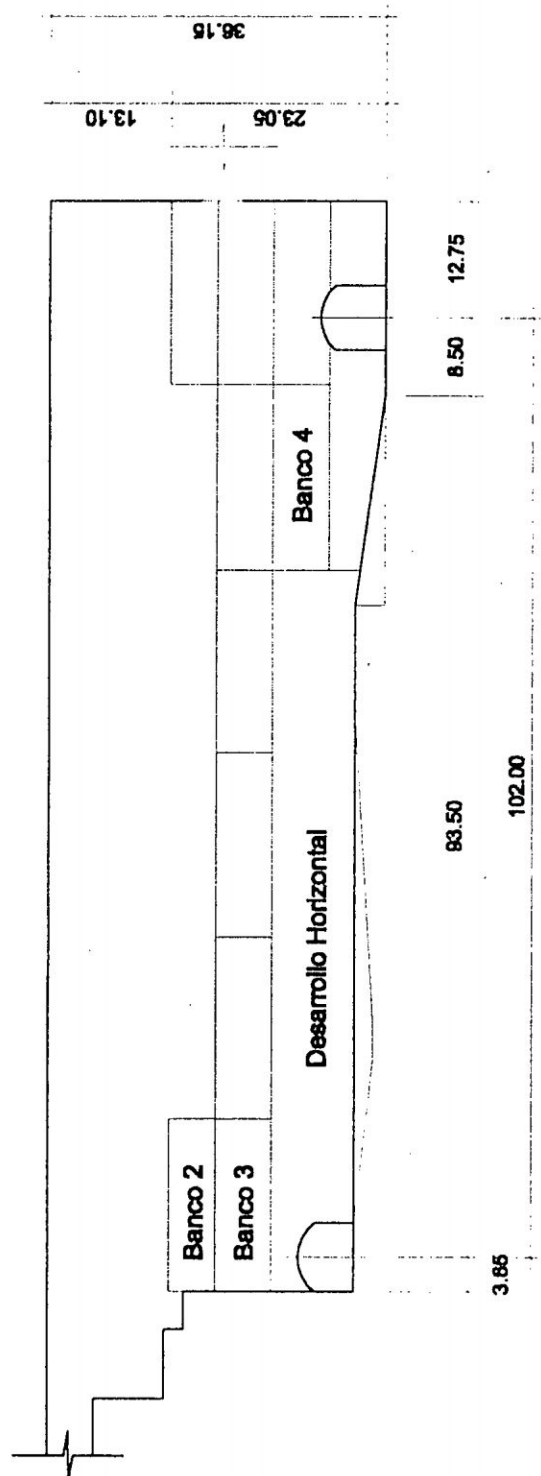


Figura N° 4.28 SECUENCIA DE EXCAVACIÓN
SEGUNDO BANQUEO CAJA ESTE BH5

4.6.- ETAPA N° 4 EXCAVACIÓN MEDIANTE BANQUEO DE H= 6.0 m.

4.6.1.- Alcance :

Comprende la creación de dos Bancos de excavación (BH6), . Los bancos tienen una altura de $h= 6\text{ m}$ (BH6), desde el piso de la etapa banqueo BH5 (Cota: 17m.), hasta una altura intermedia de la Caverna (Cota: 5 m.), teniendo dos bancos en la vertical .

Cabe mencionar que el tercer banqueo (cota 17 m. a cota 11 m.), se efectúa en forma completa, en cambio el cuarto banqueo se realiza en forma parcial , efectuándose solo desde la correa 9 a la pared Norte de la Caverna (km. 80 al km. 128.4), el resto de la excavación se realiza en forma de desarrollo horizontal, ya que en este sector la perforación horizontal no tendría inconveniente operacionales en efectuarlas (cota 11 a cota 5 m. aprox.) (se realiza esta operación solo por el diseño del sector Norte de la caverna) .

4.6.2.- Generalidades :

Las características de los bancos, para el lado Este y Oeste son iguales y se describen a continuación.

- Ancho : 8,4 m.
- Altura : 6,0 m.
- Largo : 112,0 m.

Se iniciará la etapa con el retiro importante de marina acumulada en la ZNC, ejecutándose por los túneles TAP y TVI, el mayor movimiento de marina se realizará a través del TAP, el ingreso del personal, materiales y equipos se efectuará por la correa 15 .

Las quemadas serán secuenciales de avance variable , siendo un promedio de 20 m. de largo cada una, contra la cara libre, que se generó con la zanja central, al retirar parte de la marina esponjada.

Para la perforación, se utilizarán dos equipos truck drill Diesel-Hidraulico , ambos bancos BH6 tendrán una malla de 2,0 x 2,2 m. con una altura de perforación de 6,5 m., y un diámetro de perforación de 2,5" (62,5 mm). Para el apernado se utilizará Jumbo

electrohidraulico, marca Atlas Copco , modelo Boomer H-282, mediante tiros de 6.0 m. y 48 mm de diámetro .

Para la extracción de las marinas utilizará un Bulldozer D8-H distribuyendo hacia los extremos de la caverna (se llevará a estos lugares para así retirar la marina por los túneles TAP y TVI), y emparejando el piso, la marina resultante de las quemadas se retira con dos Cargadores CAT 966 C y 950 E cargando simultáneamente en el TVI (Túnel Ventilación Inyección) y en DAN (Desarrollo Auxiliar Norte) directamente sobre camiones Tolva de 12 m³ de capacidad . El vaciado del material se ejecutará en los botaderos asignados para el contrato .

4.6.3.- De La Operación :

Ambos bancos BH6 se perforaran mediante los Truck-Drill, en forma simultánea . Las perforaciones que van pegadas a las cajas de la Caverna se tupirán cada 30 cm. de separación, de tal manera de ir controlando la sobreexcavacion y geometría de las cajas , esta operación se efectúa una vez quemado los bancos, la perforación se efectúa con Jumbos electrohidraulicos (en forma desarrollo horizontal) .

En la medida que se fue terminando la perforación de los bancos BH6 parciales , se irán quemando y se tomaran todas las precauciones necesarias, para asegurar los equipos y materiales y todo el personal fue debidamente evacuado.

Una vez producido los primeros disparos, se retirará la marina con el Bulldozer D8-H , (arroja la marina hacia la zanja) , este mantendrá el piso parejo. Posteriormente se efectuara el desquinche lateral , cuyo objetivo es dar el limite teórico de las cajas de la Caverna .

A medida que se vayan quemando los bancos parciales y sus respectivos desquinches laterales, se irán fortificando de inmediato las cajas de acuerdo al proyecto respectivo, se perforaran y lecharan los pernos de fortificación de 6.0 m. de largo y 22 mm. de diámetro, se colocara malla inchalam 10010 .

La secuencia de excavación y fortificación anterior se mantendrá invariable hasta completar el primer y segundo banqueo de 6 m. cada uno .

Cabe destacar que en todo momento se pondrá especial cuidado en el control de una adecuada acuñadura de las cajas .

4.6.3.1.- Tercer Banqueo BH6 :

Una vez efectuado el segundo banqueo , se procederá a realizar el tercer banqueo BH6 (cota 17 m. hasta cota 11 m.) , teniendo las siguientes consideraciones :

Cabe destacar que todas las zonas donde se efectúa el banqueo , la fortificación definitiva debe estar completa .

1 - Empezar a banquear por la pared Norte, con los bancos N2, N3, N1 teniendo en consideración la vía de comunicación , esta labor denominada túnel auxiliar norte, se ubica en la pared Norte, sector oeste de la Caverna, teniendo una cota mayor que el tercer banqueo, para su utilización se construye una pequeña rampa para el acceso y comunicación

Efectuado el banqueo Norte y faltando 1m para lograr la pared teórica Norte de la Caverna SAG, se procede al desquinche de este metro realizándose en forma horizontal , con las respectivas referencias topográficas , una vez logrado el limite teórico de la pared se realiza la fortificación definitiva .

2 - Proseguir hacia el Sur , con los bancos E2 , E3 , E4, E5 , para continuar con los desquiches faltantes en las cajas (los 2 m faltantes para lograr la pared teórica Este) y realizar la fortificación acorde a las especificaciones (este desquinche se realiza en forma desarrollo horizontal paralela a la caja) .

3 - Paralelo a esta actividad se trona el sector Oeste, comenzando con el banco O2 prosiguiendo al Sur , con los bancos O3, O4, O5 . para continuar con los desquiches faltantes en la caja (los 2 m faltantes para lograr la pared teórica Oeste) y realizar la

fortificación acorde a las especificaciones (este desquinche se realiza en forma desarrollo horizontal paralela a la caja) .

4 - A continuación se banquea todo el sector Sur que incluye los bancos E6, O6, y S1, llegando hasta 1m antes de la pared teórica Sur de la Caverna SAG., este metro faltante se desquincha en forma horizontal , con las respectivas referencias topográficas , una vez logrado el limite teórico de la pared se realiza la fortificación definitiva .

Ver figura N° 4.29 Secuencia del Tercer Banqueo BH6

Ver figura N° 4.30 Secuencia del Tercer Banqueo BH6, Caja Oeste

Ver figura N° 4.31 Secuencia del Tercer Banqueo BH6, Caja Este

4.6.3.2.- Cuarto Banqueo BH6 :

Una vez efectuado el tercer banqueo , se procedió a realizar el cuarto banqueo BH6 (cota 12 m. hasta cota 6 m. aprox) , en esta etapa solo se banquea desde los kilometrajes 80 al 128.4 , que corresponde desde el Túnel Correa 9 a la pared Norte de la Caverna . Este banqueo se efectúa en este sector Norte, debido a las características de diseño de la caverna , el resto de la excavación se realiza en forma de desarrollo horizontal, no teniendo inconveniente operacionales para efectuarlas .

Cabe destacar que todas las zonas donde se efectúa el banqueo , la fortificación definitiva debe estar completa .

- 1- Se utiliza el mismo acceso que el tercer banqueo, (Túnel Auxiliar Norte, como vía de comunicación) .
- 2- Empezar a banquear con los bancos E2,O2, prosiguiendo con los bancos N1, N2, y finalizando con la eliminación de la rampa de acceso y banquear N5
- 3- Prosigue el perfilamiento de las Cajas Este , Oeste y pared Norte y posterior fortificación definitiva .

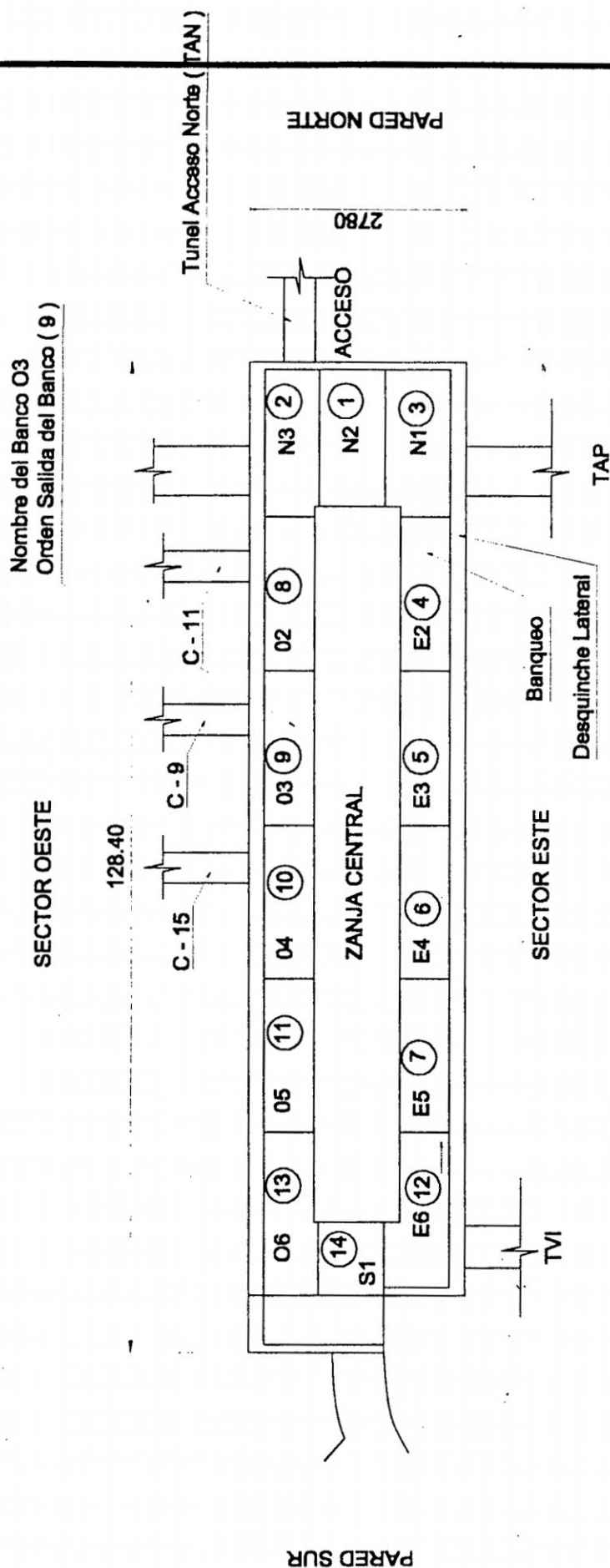


Figura N° 4.29 SECUENCIA SALIDA TERCER BANQUEO BH6 (PLANTA).

Technical drawing of a dam cross-section. The drawing includes the following labels and dimensions:

- Accesso Correa 15**: Located on the left side of the dam.
- Banco 3**: A section of the dam body.
- Desarrollo Hz**: A section of the dam body.
- Banco 4**: A section of the dam body.
- Desarrollo Hz**: A section of the dam body.
- Acceso**: A section of the dam body.
- Acceso Tunnel Aux. Norte**: Located on the right side of the dam.

Dimensions (in meters) are provided for various sections:

- 25.85
- 7.10
- 7.10
- 29.40
- 15.67
- 28.23
- 8.50
- 12.75
- 105.85
- 36.15
- 24.10
- 12.05

**Figura N° 4.30 SECUENCIA DE EXCAVACIÓN
TERCER BANQUEO CAJA OESTE BH6**

CAJA ESTE

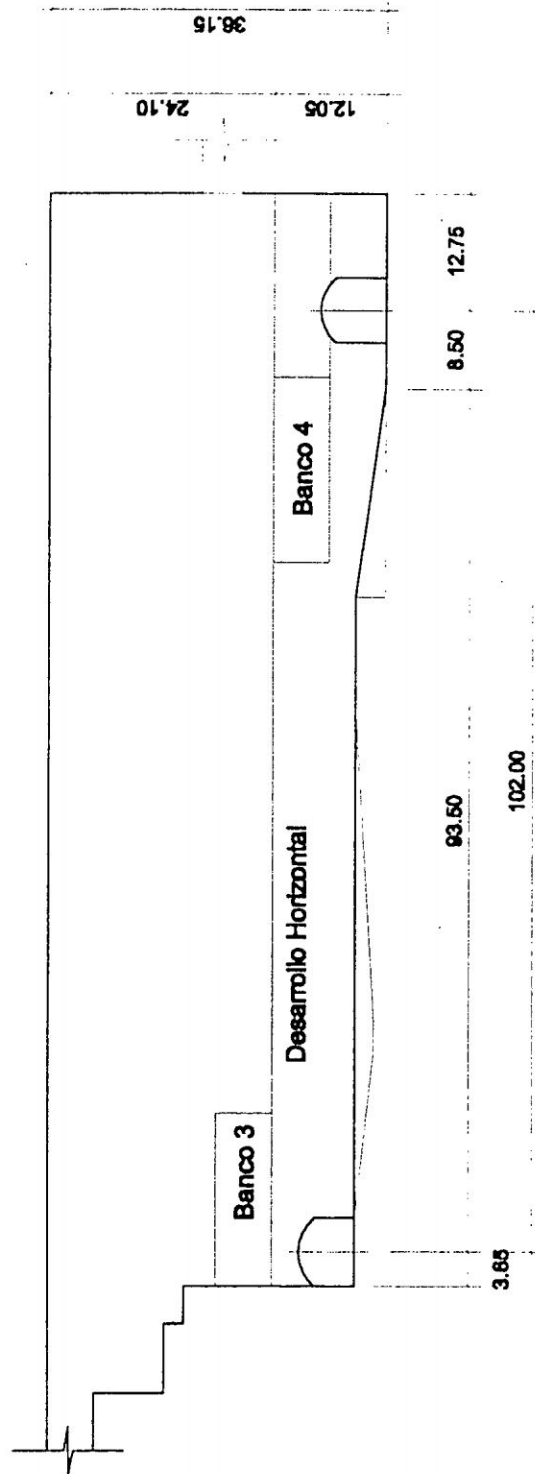


Figura N° 4.31 SECUENCIA DE EXCAVACIÓN
TERCER BANQUEO CAJA ESTE BH5

4- Finalizado el cuarto banqueo, se inició la siguiente etapa con un retiro importante de marina acumulada en el interior de la Caverna, efectuándose por los túneles TAP y TVI, el mayor movimiento de marina se realizó a través del TAP .

5- Este retiro de marina comenzó Preferencialmente de Norte A Sur con el objeto de ir rematando los pequeños desquiches faltantes en el sector Norte de la Caverna .

Ver figura N° 4.32 Secuencia del Cuarto Banqueo BH6

Ver figura N° 4.33 Secuencia del Cuarto Banqueo BH6, Caja Oeste

Ver figura N° 4.34 Secuencia del Cuarto Banqueo BH6, Caja Este

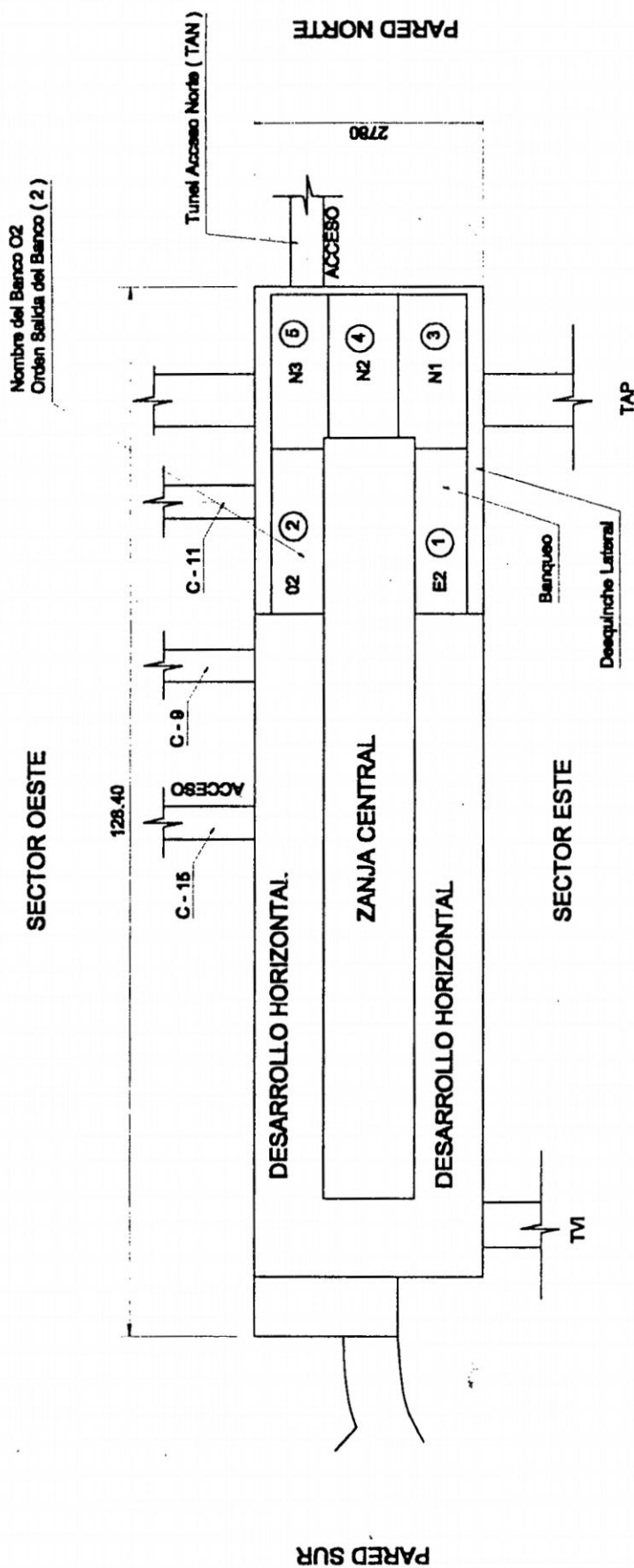


Figura N° 4.32 SECUENCIA SALIDA CUARTO BANQUEO BH6 (PLANTA).

CAJA OESTE

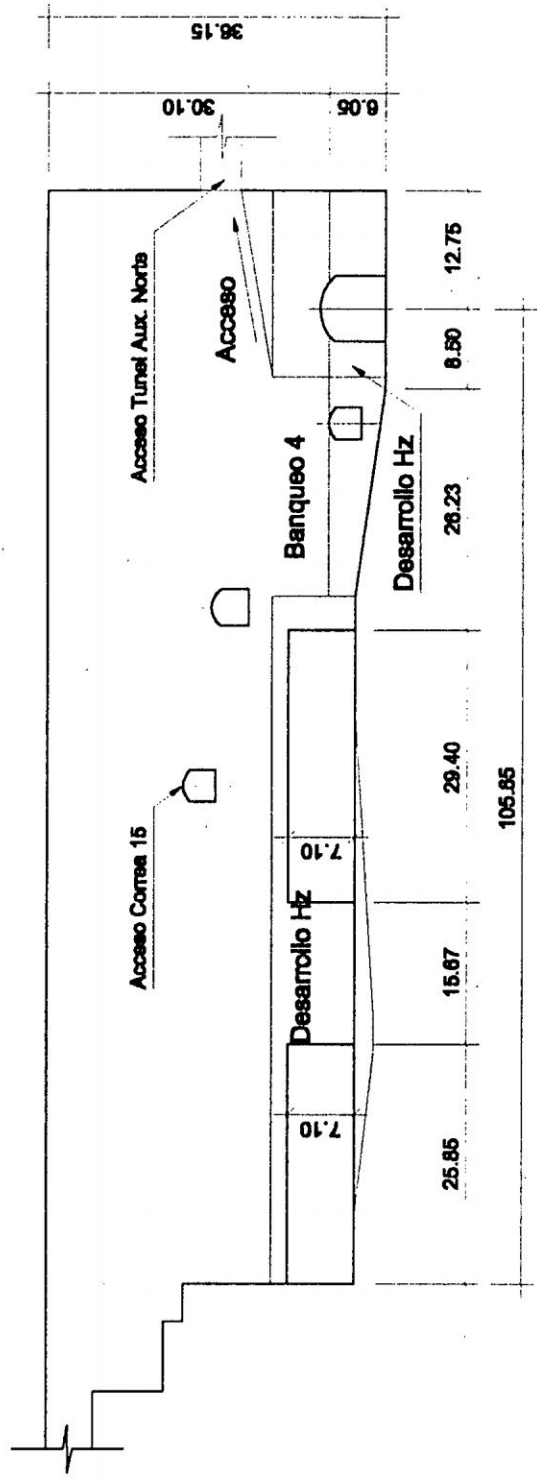


Figura N° 4.33 SECUENCIA DE EXCAVACIÓN
CUARTO BANQUEO CAJA OESTE BH6

CAJA ESTE

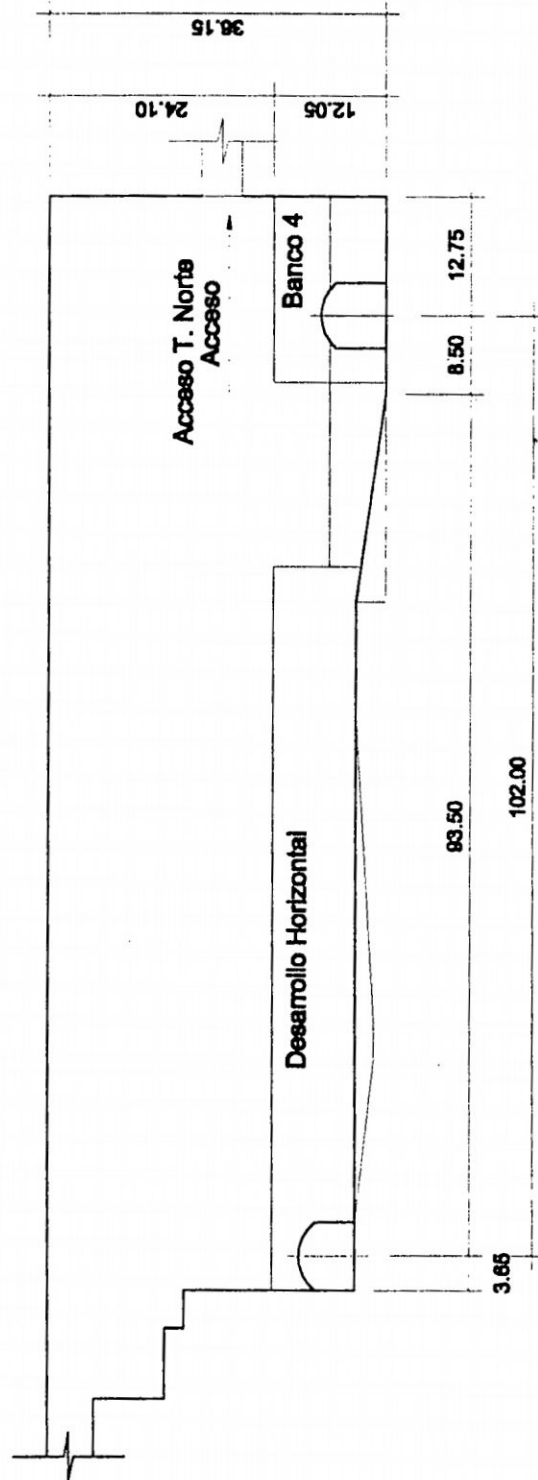


Figura N° 4.34 SECUENCIA DE EXCAVACIÓN
CUARTO BANQUEO CAJA ESTE BH5

4.7.- ETAPA N° 5 - DESQUINCHE DADOS Y PISO, TERMINACIONES

4.7.1.- Alcance :

Comprende los desquiches de los dados ubicado en la Caja Oeste y el Piso de la Caverna en el sector Norte .

4.7.2.- Generalidades :

Para la perforación de los desquiches de los dados, se utiliza un jumbo Electrohidraulico de variable longitud y en 45 mm de diámetro . Para los desquiches en el piso se efectúa con perforadoras manuales del tipo Puma BBC-16W con un diámetro de 39 mm. (para estas perforaciones se realizan con referencias topográficas , con el objeto del control de la perforación)

Para la extracción de las marinas se utilizan según la disponibilidad de dos Cargadores Frontales , cargando en el interior de la Caverna SAG, directamente sobre camiones Tolva, de 12 m³ de capacidad .

4.7.3.- De La Operación :

A partir del túnel de ventilación Inyección , (TVI) se utilizo de acceso para el desquince de los dados , cuyo objetivo es el montaje de equipos sobre estos (y no construirlos de hormigón armado) .

Para el caso de los desquiches en el piso de la Caverna se utilizo de acceso el túnel de acceso principal, (TAP), como se menciona anteriormente este piso no es parejo , cuyo objetivo es recuperar los posibles rebalse de la pulpa de los molinos, (colocando una bomba centrífuga estratégicamente, recoger el derrame y volver al circuito) .

Ver figura N° 4.35 Desquince de Dados y Pisos, Caja Oeste

Ver figura N° 4.36 Desquince de Dados y Pisos, Caja Este

CAJA OESTE

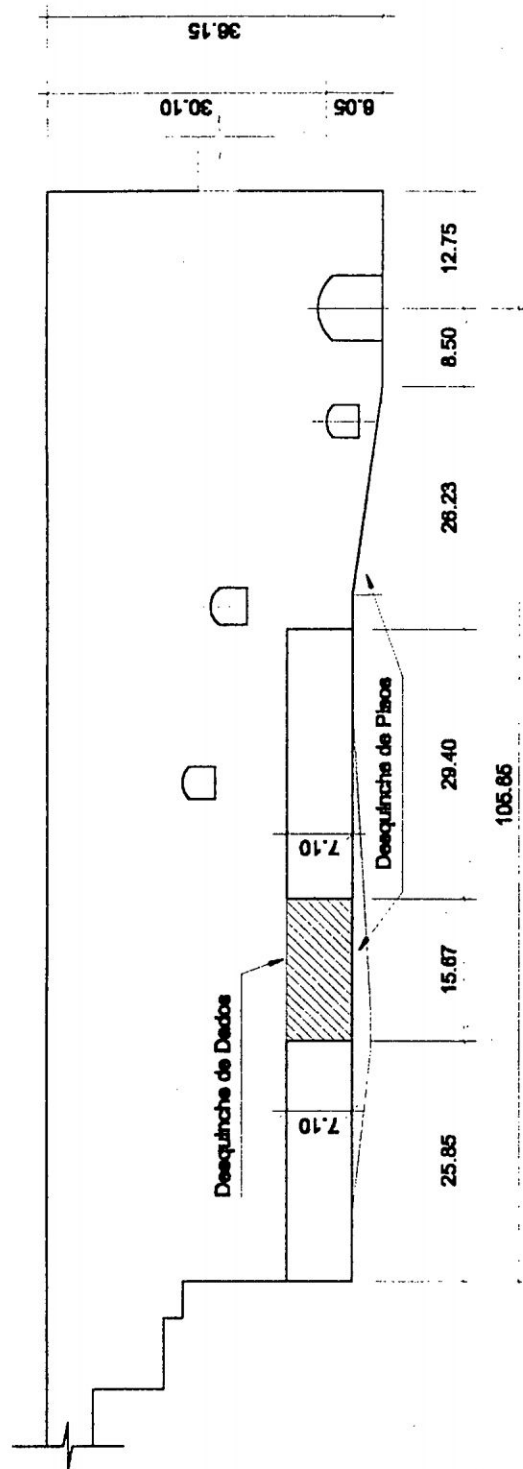


Figura N° 4.35 SECUENCIA DE EXCAVACIÓN
DESQUINCHE DADOS Y PISOS

CAJA ESTE

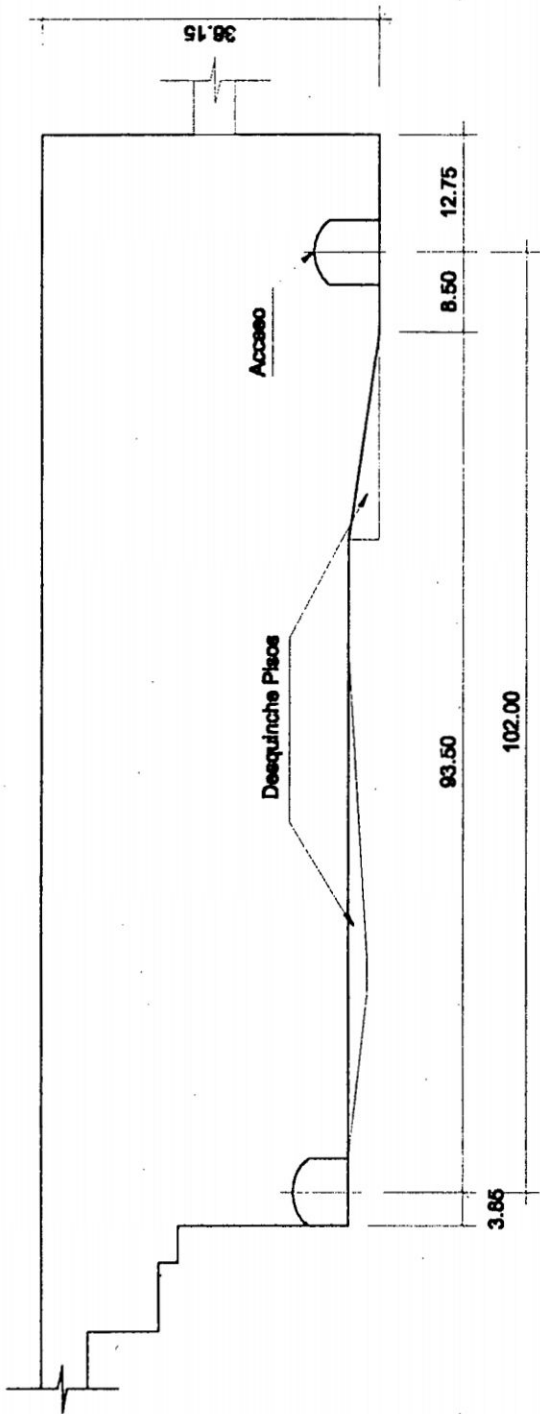


Figura N° 4.36 SECUENCIA DE EXCAVACIÓN
DESQUINCHE DADOS Y PISOS

ISEÑO B = 2 MT S = 2.2 MT
 ETARDO DE SUPERFICIE = 17 MS, 42 MS y 75 MS
 IEMPO DE ENCENDIDO = 500
 IEMPO ENTRE CARGAS 50 MS

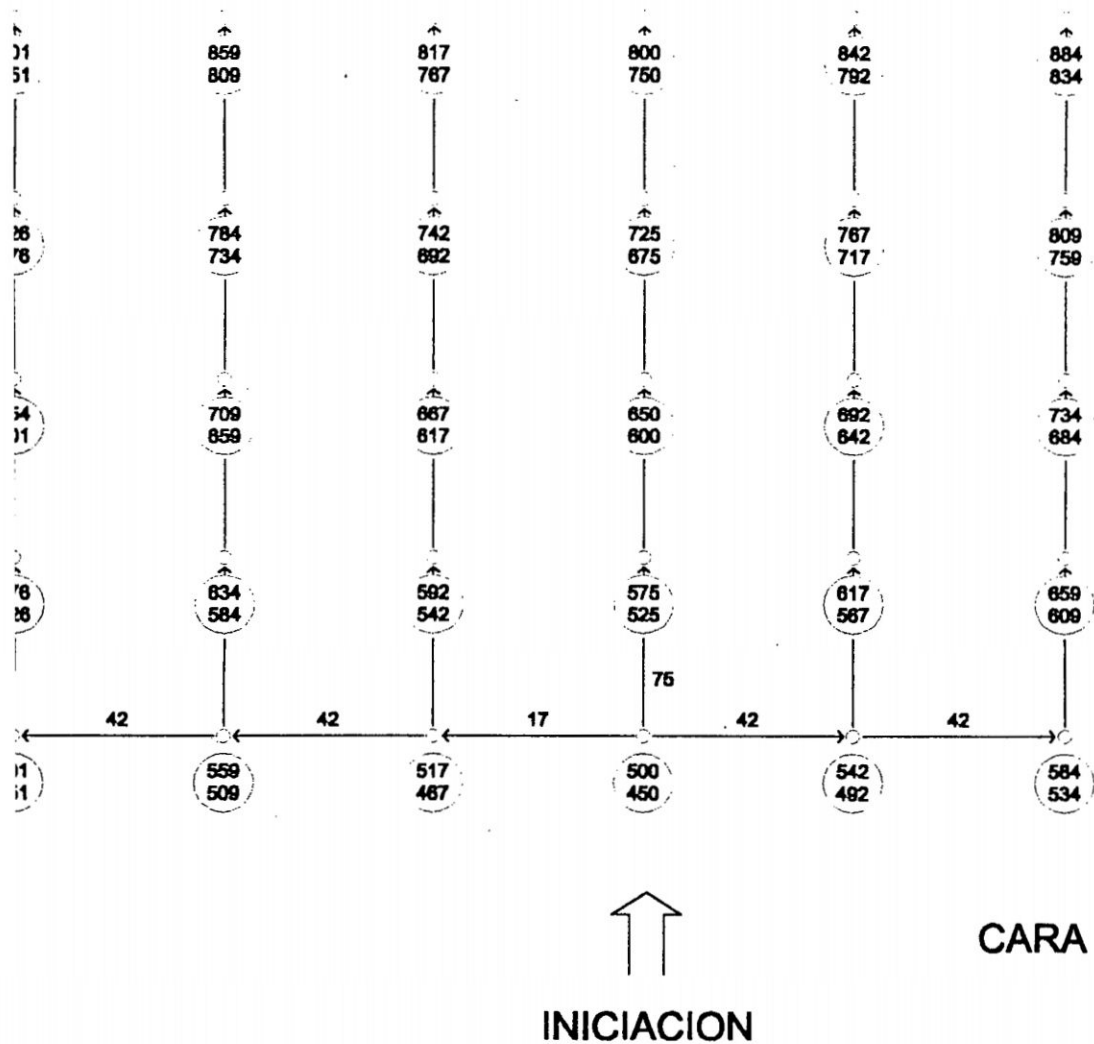
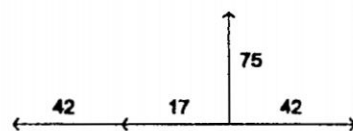


Figura N° 5.7 DIAGRAMA DE DISPARO SECUENCIA DE SALIDA ZANJA CENTRAL

4.8.- CONSIDERACIONES EN LA CONSTRUCCION

4.8.1.- Del Personal :

- El Personal , debe presentar en todo momento una excelente predisposición hacia el adecuado y permanente uso de sus elementos de protección personal y a las normas de seguridad .
- El personal ; deberá dar total cumplimiento a todas las instrucciones de seguridad y/o de operación que reciba del jefe directo .

4.8.2.- De Los Equipos :

Los equipos a utilizar en los trabajos deberán estar en perfectas condiciones mecánicas y eléctricas, para cual deberán ser sometidos periódicamente a mantenciones . Para ello se crea un programa de mantencion de equipos .

Todos los equipos deberán ser operados exclusivamente por personal autorizados .

Todos los equipos deberán contar con , al menos, el siguiente equipamiento :

- Catalizador tipo PTX
- Bocina de retroceso
- Luces generales delanteras/traseras
- Equipo automático de extinción de incendio
- Luces direccionales (verde/roja)

Todo equipo mecanizado a utilizar en la extracción de la marina , deberá cumplir con la restricción de año de fabricación .

4.8.3.- De Los Elementos de Protección Personal :

- a) Casco de seguridad con barbiquejo, portalámparas y huincha reflectante .
- b) Lentes de Seguridad
- c) Protectores auditivos, Tapones desechables
- d) Zapatos o Botas de seguridad

- e) Autorrescador
- f) Cinturón de seguridad de combinación; con cola
- g) Guantes de descarné puño corto y PVC puño largo
- h) Overol de trabajo
- i) Ropa de trabajo adecuada para las condiciones climáticas imperantes
- j) Chaleco reflectante de color verde

4.8.4.- Control de Riesgos :

En todo momento el personal debe usar sus elementos de protección personal .

Las áreas de trabajo deben permanecer siempre bien delimitadas, con barandas, letreros y loros de advertencia, ordenadas sin marina dispersa , con una adecuada iluminación, libres de presencia de agua, etc. .

Los pisos se excavarán y mantendrán parejos para facilitar el desplazamiento de los equipos y/o personal sobre ellos .

Controlar que permanentemente exista una adecuada iluminación, ventilación, aseo y orden de las áreas de trabajo .

Efectuar permanentes chequeos de gases .

Control que todos los equipos que operan en el interior de la caverna estén en buen estado mecánico general y tengan al día sus chequeos de gases, además con bocina de retroceso, catalizador PTX, sistema automático de extinción de incendios, sistema de luces principales y direccionales , estén operados por personal idóneo y autorizados .

Control del permanente instrucción del personal sobre los riesgos inherentes de la actividad que realicen .

El personal debe ser constantemente instruido sobre los peligros que encierran las operaciones con explosivos .

Capítulo 5 .- PERFORACIÓN Y VOLADURA

5.1.- INTRODUCCION

La perforación de las rocas dentro del campo de las voladuras, es la primera operación que se realiza y tiene como finalidad abrir los huecos, con la distribución y geometría adecuada dentro de los macizos, donde alojaran las cargas de explosivo y sus accesorios iniciadores, para provocar su fracturamiento y posterior extracción.

Actualmente se puede excavar con perforación y voladura secciones inferiores a los 100 m² a sección completa de un solo disparo. La excavación de una caverna se puede considerar como la excavación de un túnel de gran sección, es así que se divide en etapas de construcción, en donde se combinan desarrollos horizontales con verticales generalmente de grandes dimensiones.

Es un hecho que mientras menor sea la sobreexcavación y menor sea el daño superficial de la roca debido a los disparos, mas estable y seguro será la excavación . Esto cobra mayor importancia a medida que la calidad de la roca decrece; en este caso fundamental que la curvatura del contorno en especial de la bóveda, sea lo mas cercana posible a la teórica con el fin de que se aproveche al máximo la capacidad de autosoporte del arco de roca y el sostenimiento se reduzca al minimo necesario.

Por otra parte, una sobreexcavación excesiva es antieconómico pues se requiere un sostenimiento mas robusto y lento de colocar, la cantidad de material (marina) a extraer es mayor y posteriormente el volumen de revestimiento aumenta considerablemente. Por lo tanto es necesario un buen control de la perforación y tronadura y así reducir a un mínimo la sobreexcavación y el fracturamiento de la roca , mas allá de la línea de excavación.

5.2.- ANTECEDENTES

La secuencia de excavación se dividió en Cinco etapas principales, dividiéndose además en sub-etapas de construcción, las cuales de acuerdo a sus características emplearon variados métodos de perforación, fortificación y extracción de la marina.

5.2.1 Etapas Constructivas:

La construcción de la caverna Sag, debido a su gran envergadura , esta se dividió en cinco etapas constructivas , teniendo las siguientes características ;

- i). **Etapas arco - techo**, comprende el desarrollo del arco techo, labores inferiores a nivel del piso de la caverna y desarrollos verticales .
- ii). **Zanja Central**, comprende la perforación y hundimiento de una zanja central, desde el piso del arco - techo, hasta el techo del túnel piloto central (TPC) .
- iii). **Banqueo de 5.0 m. de altura BH5 (dos etapas)**, comprende la creación de Bancos de excavación, delimitados por la Zanja Central, pegados a los costados Norte, Sur, Este y Oeste de la Caverna. Los bancos tienen una altura de $h = 5$ m (BH5), desde el Arco - Techo de la Caverna , es así que se tiene dos bancos en la vertical.
- iv). **Banqueo de 6.0 m. de altura BH6 (dos etapas)**, comprende la creación de Bancos de excavación (BH6), delimitados por la Zanja Central, pegados a los costados Norte, Sur, Este y Oeste de la Caverna . Los bancos tienen una altura de $h = 6$ m (BH6), desde el piso de la etapa banco BH5, teniendo dos bancos en la vertical .

Cabe mencionar que el primer banco, se efectúa en forma completa, en cambio el segundo banco se realiza en forma parcial, se realiza esta operación solo por el diseño del sector Norte de la Caverna .

- v). **Desquinche Dados y Piso, Terminaciones** , comprende los desquiches de los dados ubicado en la pared oeste y el piso de la Caverna .

5.3.- ETAPA N° 1 PERFORACION Y TRONADURA ARCO -TECHO

(Cota: de 35 m. hasta 27 m.)

Esta etapa se inicia a partir del acceso del arco - techo, Túnel Extracción Ventilación (TVE), siendo lo primero en construir el arco - techo, cuya área es de 180 m² aproximado y una luz de 27,8 m., por tal efecto se dividió en partes , generando tres frentes de desarrollo Túnel Caja Este (TCC), Túnel Central (TEC) y Túnel Caja Oeste (TCO), contando con una altura máxima de 8 m. .

Según las características de los tres frentes de desarrollo y la fortificación del proyecto, la maquinaria seleccionada para la perforación de la frente y apernado, serán jumbos Electrohidraulicos, Atlas Copco del tipo Boomer H-352 y H-282 , de dos brazos, montados sobre neumáticos de fácil desplazamiento y ubicación en los diferentes frentes de trabajo .

5.3.1 Diagrama de Perforación y Tronadura Arco - Techo

Para el diseño de la Perforación y Voladura del Arco - Techo (tres frentes TCC, TCO, TEC.) de la Caverna Sag., se tomaron en cuenta el tipo de roca (Granodiorita competente), antecedentes prácticos de desarrollos anteriores como : Túnel de Acceso Principal (TAP), Túnel Ventilación Inyección (TVI) y Túnel Ventilación Extracción (TVE) y teóricos . Concluyendo :

- En el cuele, se utilizan tres barrenos centrales de 102 mm de diámetro .
- Diámetro de Perforación 45 mm para la frente
- Espaciamiento entre tiros que fluctúa entre 0.7 - 0.9 m .
- Espaciamiento en las perforaciones de contorno 0.3 m. .

En Anexo N° 2, se presenta los explosivos y accesorios utilizados en la construcción de la Caverna SAG.

En anexo 3 Se presenta el cálculo teórico de los Diagramas de Disparo para voladuras en túneles tomando como ejemplo el Túnel Acceso (TAP) .

En Anexo N° 4 se presenta el diagrama de tiros, la cantidad de explosivo y recomendaciones para el desarrollo de las chimeneas.

Ver Figura N° 5.1. Diagrama de Disparo Túnel Caja Este (TCC), con sus respectivas tablas de distribución de retardos y consumo de explosivo.

Ver Figura N° 5.2. Diagrama de Disparo Túnel Caja Oeste (TCO), con sus respectivas tablas de distribución de retardos y consumo de explosivo.

Ver Figura N° 5.3. Diagrama de Disparo Túnel Eje Central (TEC), con sus respectivas tablas de distribución de retardos y consumo de explosivo.

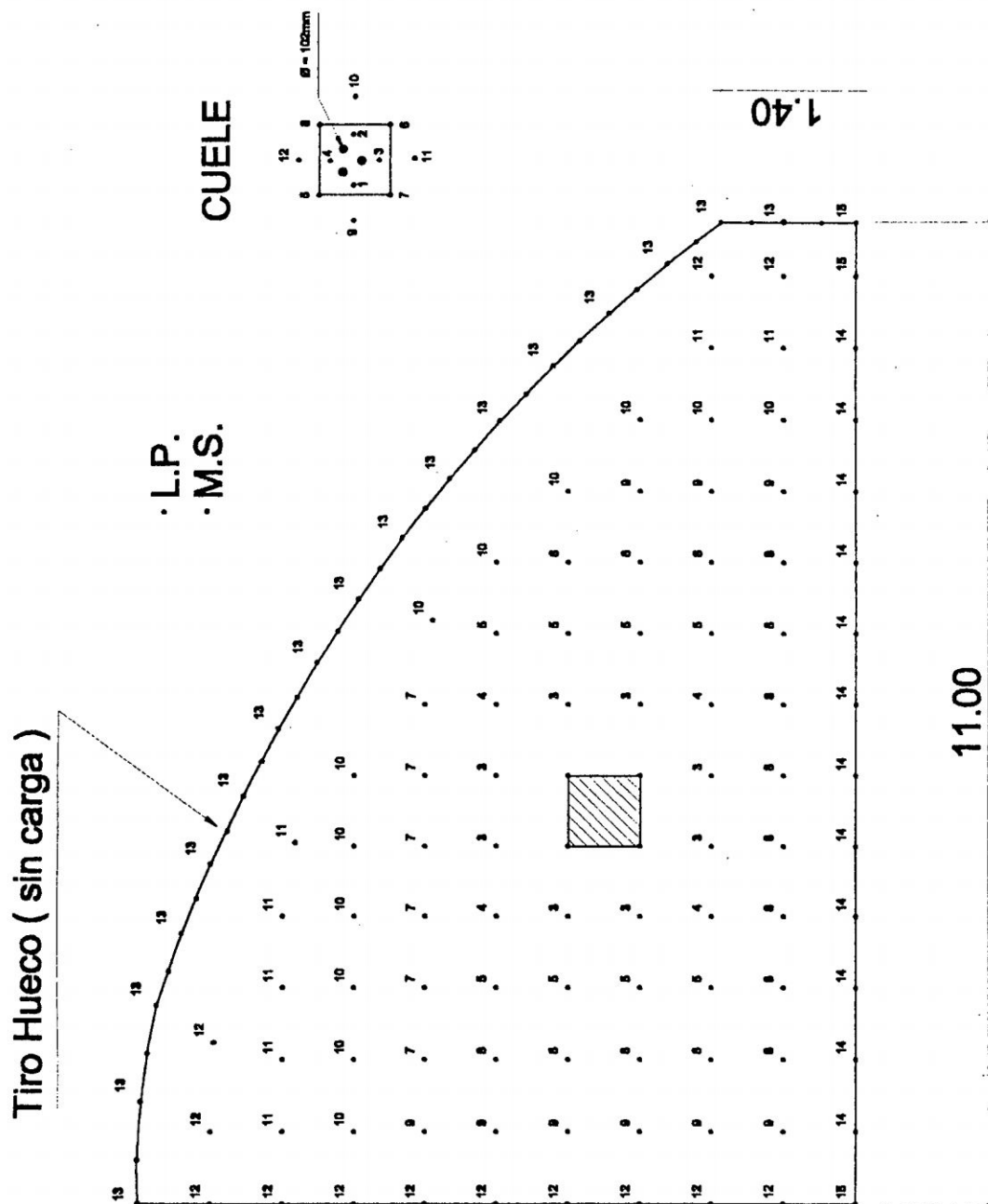


Figura Nº 5.1 DIAGRAMA DE DISPARO TUNEL CUELE CAJA ESTE (TCC)

CALCULO DE CARGA TUNEL CAJA OESTE (TCO)

Diámetro de Perforación	45 mm
Sección Teórica	46.152 m ²
Longitud de perforación	3.9 m
Volumen	180.0 m ³
Factor de Carga	1.57 Kg/m ³

Descripción	Cantidad De tiros	CANTIDAD DE EXPLOSIVOS						
		TRONEX 11/4""*8"		SOFTRON 11/16*20"		ANFO		ANFO
		Por Tiro	Total	Por Tiro	Total	Por Tiro	Total	
Cuele	0	0	0					
Descarga	11	2	22			3.866	42.53	
Aux. Descarga	26	2	52			3.466	90.12	
Aux. Zapateras	10	2	20			3.866	38.66	
Aux. Cajas	0	0	0					
Aux. Corona	8	2	16			3.466	27.73	
Cajas	1	2	2	7	7			
Coronas	14	2	28	7	98			
Zapateras	12	18	216					
Total	82		356		105		199	282.60

Cantidad de Explosivos por Retardo NONEL MS										
N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8	N° 10	N° 11	N° 12
21.2		17.9				20.4				

Cantidad de Explosivos por Retardo NONEL LP												
N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9	N°10	N°11	N°12	N°13	N°14	N°15
15.4	16.7	15.4	16.7	19.2	12.8	15.4	14.1	25.7	26.1	18.8	14.1	10.8

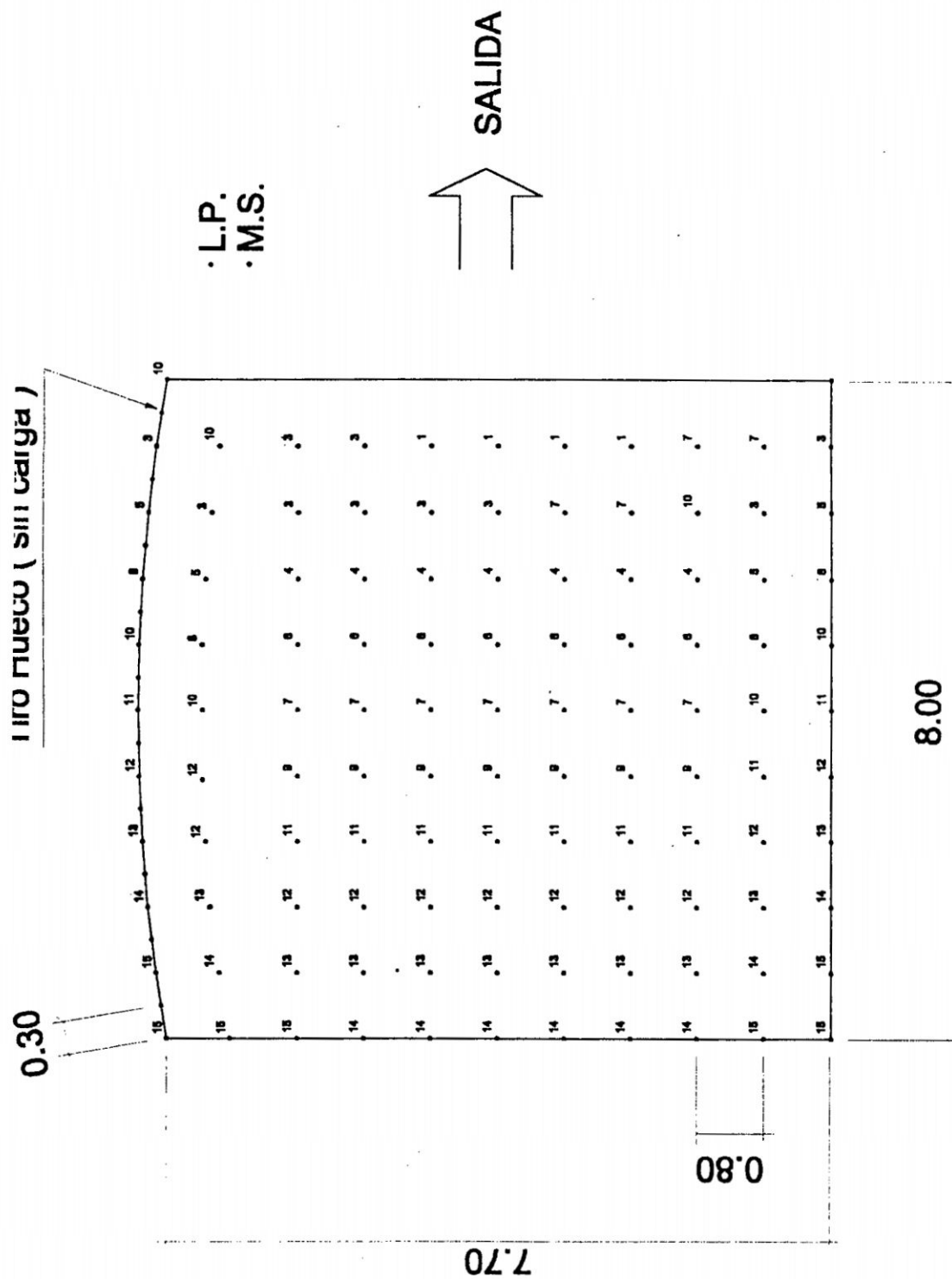


Figura N° 5.2 DIAGRAMA DE DISPARO TUNEL EJE CENTRAL (TEC)

CALCULO DE CARGA TUNEL EJE CENTRAL (TEC)

Diámetro de Perforación	45 mm.
Sección Teórica	64.668 m ²
Longitud de perforación	3.9 m
Volumen	252.2 m ³
Factor de Carga	1.59 Kg/m ³

Descripción	Cantidad De tiros	CANTIDAD DE EXPLOSIVOS					
		TRONEX 11/4"*8"		SOFTRON 11/16*20"		ANFO	
		Por Tiro	Total	Por Tiro	Total	Por Tiro	Total
Cuele	0	0	0				
Descarga	0	0	0				
Aux. Descarga	56	2	112			3.866	216.50
Aux. Zapateras	9	2	18			3.866	34.794
Aux. Cajas	7	2	14			3.866	24.26
Aux. Corona	9	2	18			3.466	31.194
Cajas	9	2	18	7	63		
Coronas	11	2	22	7	77		
Zapateras	11	18	198				
Total	112		400		140		306.746
							404.00

Cantidad de Explosivos por Retardo en Kg. Anfo NONEL MS										
Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	Nº 10	Nº 11	Nº 12
17.0		17.0				17.0		12.8		

Cantidad de Explosivos por Retardo en Kg. Anfo NONEL LP												
Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	Nº 9	Nº10	Nº11	Nº12	Nº13	Nº14	Nº15
21.3	25.5	17.5	25.5	25.5	17.5	25.5	17.5	43.01	43.01	40.2	24.6	13.4

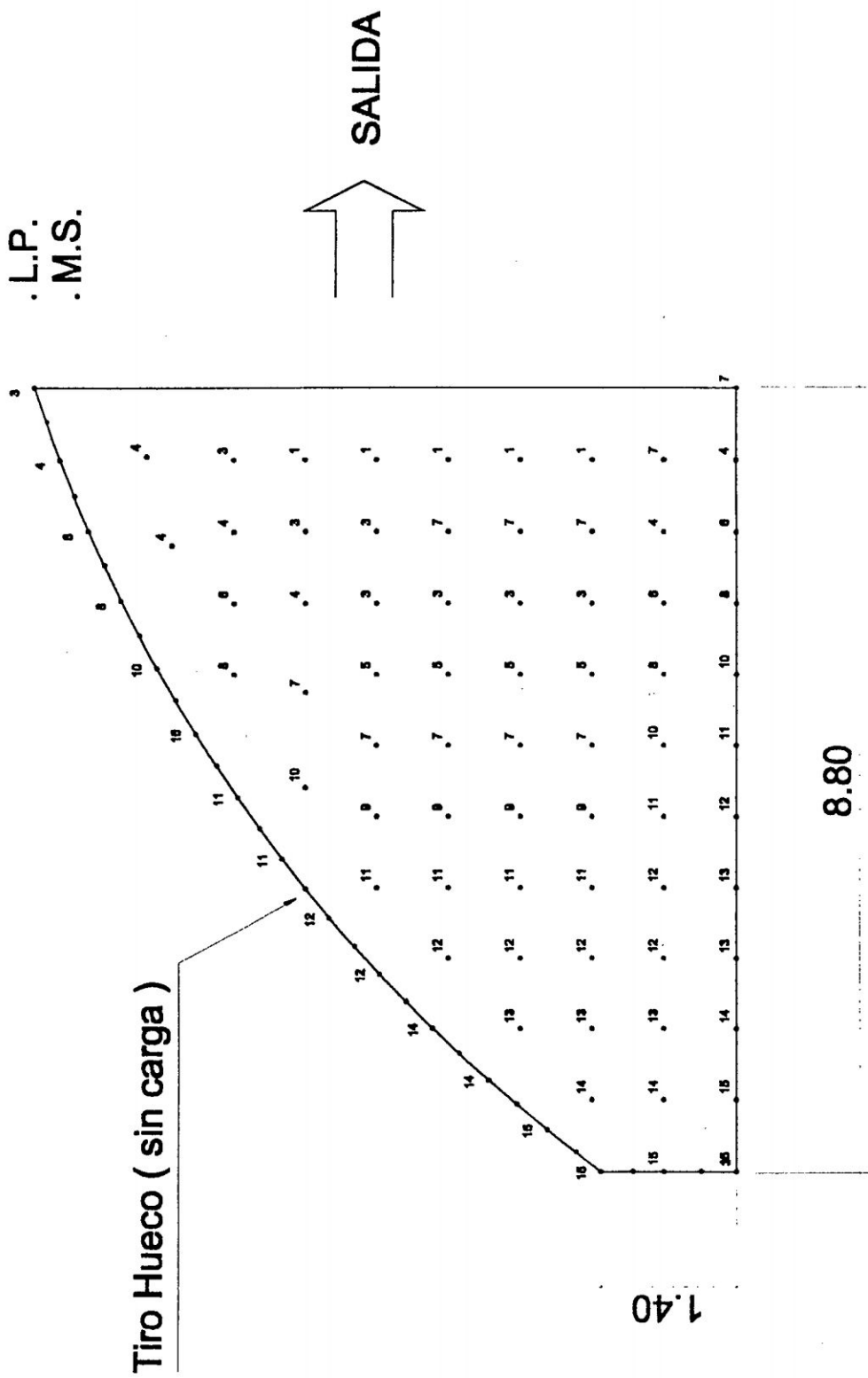


Figura N° 5.3 DIAGRAMA DE DISPARO TUNEL CAJA OESTE (TCO)

CALCULO DE CARGA TUNEL CAJA OESTE (TCO)

Diámetro de Perforación	45 mm
Sección Teórica	46.152 m ²
Longitud de perforación	3.9 m
Volumen	180.0 m ³
Factor de Carga	1.57 Kg/m ³

Descripción	Cantidad De tiros	CANTIDAD DE EXPLOSIVOS						
		TRONEX 11/4"*8"		SOFTRON 11/16*20"		ANFO		ANFO
		Por Tiro	Total	Por Tiro	Total	Por Tiro	Total	
Cuele	0	0	0					
Descarga	11	2	22			3.866	42.53	
Aux. Descarga	26	2	52			3.466	90.12	
Aux. Zapateras	10	2	20			3.866	38.66	
Aux. Cajas	0	0	0					
Aux. Corona	8	2	16			3.466	27.73	
Cajas	1	2	2	7	7			
Coronas	14	2	28	7	98			
Zapateras	12	18	216					
Total	82		356		105		199	282.60

Cantidad de Explosivos por Retardo NONEL MS										
Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	Nº 10	Nº 11	Nº 12
21.2		17.9				20.4				

Cantidad de Explosivos por Retardo NONEL LP												
Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	Nº 9	Nº10	Nº11	Nº12	Nº13	Nº14	Nº15
15.4	16.7	15.4	16.7	19.2	12.8	15.4	14.1	25.7	26.1	18.8	14.1	10.8

5.3.2.Consideraciones en la Perforación

- Se perforara en todo momento y en cualquier circunstancia según diagrama de disparo(DD) aprobado .
- El DD a utilizar será marcado en la frente por el supervisor a cargo y personal de topografía
- Los DD son diseñados a partir del cálculo teórico de los Diagramas de Disparo e información de desarrollos antiguos (excavaciones de los accesos Piso y Techo de la Caverna SAG . (Túneles de ventilación TVE, TVI , TAP)), teniendo en cuenta todas las técnicas existentes para evitar sobreexcavaciones , exceso de vibraciones , sobrecuantia de explosivos , sobretamaño de la marina, etc..
- Durante la perforación, se mantendrá una estricta supervisión a los perforistas (jumberos) para que se rijan 100 % al DD diseñado .
- Cada vez que se inicie una nueva frente se perforaran los primeros disparos, con el mismo DD definitivo, pero a una profundidad menor, de tal manera de ir paulatinamente aumentando el largo de la perforación hasta llegar al definitivo. Esto con el fin de ajustar el DD, optimizando el numero de tiros y la carga de cada uno de ellos .
- Para los tiros de la periferia (cajas y Techo) se utilizara la técnicas de Voladura de Contorno y Precortes

La voladura de contorno controlado implica la perforación de una serie de barrenos paralelos de poco espaciamiento a lo largo de la superficie de excavación final.

En las voladuras de contorno controlado, el espaciamiento entre los barrenos es generalmente de 15 a 16 veces su diámetro.

1

(a). Smooth blasting.- En este método las cajas y coronas principalmente salen al último, persiguiendo que se desprendan por gravedad, por esto hay que regular la carga que sale desde el cuele, con una gran precisión, de manera tal que las vibraciones no lleguen a las cajas y coronas o sean cercanas a cero (0).

(b). Precorte.- Se detonan las perforaciones de la periferia cajas y coronas, a las que se pueden intercalar perforaciones vacías para mejorar el resultado: Las perforaciones se cargan aproximadamente hasta un 55% de la profundidad total.

Svanholm proporciona las siguientes indicaciones para voladuras de contorno controlado en las excavaciones subterráneas

Tabla N° 5.1

Diámetro del Barreno mm.	Diámetro de la Carga en mm	Concentración de Carga KG ANFO/m	Espesor de Roca delante del barreno	Espaciamiento
25 – 32	11	0.08	0.30 - 0.45	0.25 - 0.35
25 – 48	17	0.20	0.70 - 0.90	0.50 - 0.70
51 – 64	22	0.44	1.00 - 1.10	0.80 - 0.90

Seguridad

- NO SE PERMITIRA PERFORAR SOBRE “CULOS” Y/O “ TIROS SOPLADOS” DE DISPAROS ANTERIORES .

5.3.3 Consideraciones del Carguio

- Para efectuar el carguio de la frente, se utilizará SOLO PERSONAL CON SU LICENCIA DE MANIPULADOR DE EXPLOSIVOS AL DIA

- Durante la carga de la frente, debe estar presente el supervisor a cargo de la misma.

- Se preparan los “ cebos o primas” solo quince minutos antes de iniciar la carga. Durante esta operación se usaran preferentemente herramientas de madera y/o cobre/bronce.

- Previo al momento del disparo, TODO EL PERSONAL, salvo el supervisor y el minero que iniciaran el disparo, se retirara de la frente hasta lugares pre-definidos de evacuación. Durante esta operación se retiraran todos los elementos utilizados en las etapas anteriores del ciclo .

Seguridad

- NO SE PERMITIRA CARGAR CULOS NI TIROS QUEDADOS DE DISPAROS ANTERIORES .

- NO SE PERMITIRA CARGAR EL DISPARO Y REALIZAR SIMULTANEAMENTE OTRA ACTIVIDAD QUE NO SEA RELACIONADA .

- DURANTE EL TIEMPO QUE DURE LA OPERACIÓN DE LA CARGA, SE MANTENDRA AISLADA LA FRENTE A TODO PERSONAL AJENO A LA OPERACIÓN MEDIANTE, UN “LORO METALICO” CON LA LEYENDA “ NO PASAR FRENTE EN CARGA” .

5.3.4.- OPERACIONES INVOLUCRADAS EN UNA TRONADURA

5.3.4.1.- Revisión de Tiros

Inmediatamente antes de cargar el explosivo se comprueba la profundidad de los tiros , informando al supervisor encargado de la tronadura, quien decidirá las medida que deben tomarse en el caso que hayan diferencias con respecto al diseño original (tiros cortos , tiros con sobre perforación , tiros tapados , etc.)

5.3.4.2.- Cierre del Area a Tronar

Se llevará a las frentes de trabajo solo la cantidad de explosivo indicada en el diagrama de disparo y vale de explosivo, luego el supervisor encargado de la tronada, con la cartilla de carguio en mano y el apoyo del minero, procede a cerrar el área afectada con Loros Informativos : Area Restringida " Carguio de Frente " o carteles indicativos conforme a la reglamentación vigente. Acto seguido se procede a distribuir los iniciadores en cada uno de los tiros .

5.3.4.3.- Preparación y Ubicación de primas

Se preparan las primas (detonador nonel mas cartucho de dinamita) y son insertados en las perforaciones respectivas, para luego deslizarlos al interior de los tiros , ubicándolos en el fondo del tiro, dejando en la parte superior los amarres del sistema nonel afuera .

5.3.4.4.- Carguio

Se utilizaran cargadores neumáticos para el ANFO y será manual para los explosivos encartuchados (Dinamitas y Softron), se cargara los tiros de acuerdo a la cartilla entregada por el supervisor .

5.3.4.5.- Amarre

El cordón detonante se van uniendo con los conectores de cada uno de los noneles ,haciendo el amarre final ,con el detonador a fuego o eléctrico.

Una vez amarrada la tronadura, el Supervisor procede a revisarla tiro a tiro .

5.3.4.6.- Coordinación para efectuar la tronadura

Se procederá de acuerdo con la carta de evacuación. El jefe de turno debe tener en conocimiento :

- Areas a Evacuar (la Evacuación y Aislación del área a evacuar es responsabilidad del Supervisor o Jefe de Turno)
- Colocación de Loros, tanto Loros Personas Definitivos, Loros Personas Provisorios y Letreros No Pasar
- Horarios de Tronaduras

El Jefe de Turno coordina con Inspección y esta con Andina para la evacuación y quemada de la frente.

Andina autoriza la evacuación y aislacion de las áreas amagadas por la tronadura e indica a inspección, y esta autoriza a proceder al jefe de turno .

5.3.4.7.- Quemada

Una vez evacuadas y aisladas las áreas amagadas por el disparo, el Supervisor responsable, se dirige a la frente y ordena al minero que resguarda la frente conectar y encender la guía, después de lo cual se retiran de inmediato a un lugar seguro fuera del arrea evacuada.

Detonado el disparo, el jefe de turno entrega la quemada a Inspección y esta a Andina procediendo al retiro de los loros. Se debe esperar a lo menos 30 minutos después de efectuada la quemada antes de ingresar a chequear gases y solo se permitirá el ingreso una vez que las condiciones ambientales (CAMP) sean favorables (CO menor o igual a 26 PPM - NO menor o igual a 1.6 PPM), medidas por el Supervisor con instrumento (chequeador de gases) en buenas condiciones .

5.3.4.8.- Revisión

Inmediatamente después de realizada la tronadura y previa dilucion de los gases, se procede a revisar el material tronado, en la búsqueda de posibles restos de explosivos o de tiros quedados, para tomar las medidas estipuladas en los reglamentos de seguridad, o en caso contrario proseguir con el ciclo (acuñadura) .

5.4.- ETAPA Nº 2 PERFORACION Y TRONADURA ZANJA CENTRAL

(Cota: de 27 m. hasta 12 m. aprox.)

5.4.1.- Antecedentes

La zanja Central , ubicada en el eje de la Caverna entre los kilometrajes 30 y 104 m., siendo su largo de 80 m. aprox., un ancho de 11 m. y una altura aproximada de 15 m.. Esta etapa comprende la perforación y hundimiento de la zanja central, desde el piso del arco - techo, hasta el techo del túnel piloto central . (TPC) .

5.4.2.- Perforación Zanja Central

Para la perforación se utilizan (2) Truck Drill Diesel - Hidráulicas, montado sobre orugas y un jumbo Boomer H - 282, montado sobre neumáticos (este equipo se utilizara de apoyo a la perforación) .

5.4.2.1.-Determinación del Diámetro de Perforación

En labores subterráneas el aumento del diámetro de los barrenos ha sido limitado y considerando que en las voladuras en banco para excavaciones de cavernas lo normal son diámetros de 62.5 a 90 mm.

Para la elección del diámetro , se baso en las siguientes consideraciones :

- Al utilizar diámetros grandes, lo serán los esquemas de perforación, la granulometria que se obtendrá en las voladuras podrá llegar a ser inaceptable si la familia de diaclasas y discontinuidades presentan un espacio amplio y conforman bloques
- La longitud del Taco, aumenta con el diámetro de perforación , pudiendo llegar a constituir la parte alta del barreno una fuente potencial de formación de bloques .
- El aumento del diámetro de la perforación es negativo, la cantidad de explosivo por barreno es proporcional a su diámetro.
- En el análisis de vibraciones, para minimizar los niveles de vibración es reducir el diámetro de perforación .

- Concluyendo la utilización de diámetros de 62.5 mm de perforación, tanto para la zanja central como los banqueos de BH5 y BH6 .

Las perforaciones se realizarán en forma vertical descendentes, de arriba hacia abajo. La profundidad de perforación será de 15,0 m. aprox. , y un diámetro de 62.5 mm.

Ver tabla Nº 5.2 y 5.3 Diagrama de Perforación Zanja Central .

5.4.2.2.-Diseño de la Tronadura Zanja Central

Para su diseño original se consideró las metodologías :

a) **Ash**, que establece :

Relación de Burden (**Kb**)

$$Kb = \frac{B}{De * 0,0254}$$

B = Burden o Botada m.

De = Diámetro, pulg.

Kb , depende del tipo de Explosivo usado y el tipo de Roca determinándose por la siguiente expresión :

$Kb = 0.1573 * (de/dr)^{1/2} * (Ve)^{2/3}$, donde :

de = Densidad del Explosivo (ANFO) = 0.78 gr./ cc.

dr = Densidad de la Roca = 2.68 gr./ cc.

Ve = Velocidad de Detonación del explosivo en mt/seg = 3900m/seg

Obteniendo :

Kb = 21.0

Botada según Ash = 1.34 m.

b) **Langerfors**

El cual propone la siguiente expresión $B_{max} = (De / 33) * ((\delta * PRP) / (c * f * (E / B)))^{1/2}$

B_{máx} = piedra máxima. (m)

De = Diametro de Perforacion 0.0635 (m.)

δ = Densidad de carga, que corresponde a la relacion entre la cantidad de explosivo y el volumen a remover, en una primera aproximacion, usar una cantidad de carga adecuada para el tipo de roca, fluctuante en rangos que varían entre 250 - 750 gr7 m³ . Como valor razonable 0.45 gr / cc .

PRP = potencia relativa en peso (ANFO) 1,0 adimensional

c = constante de la roca. (kg/cu. m.) 0,45 rocas duras

c₁ = c + 0,005 x B_{máx} (si la altura del banco está entre 1,4 y 15 m.)

f = grado de desviación. (1,0 para barrenos verticales)

E/B = razón de espaciamiento / botada (1,1)

H = altura del banco 15 m.

B_{max} = 1.84 m

B = B_{max} - Error de Perforación

Error de Perforación

Er = De/1000 + 0,03 x H

Er = 62,5/1000 +0,003 x 15

Er = 0,10 m

B = 1.84 - 0.10 = 1.75 m.

Botada según Langerfors= 1.75 m.

c) Según Tabla 5.4

RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE (Mpa)

Variable de Diseño				
	Blanda < 70	Media 70 – 120	Dura 120 - 180	Muy Dura > 180
Botada	39 De	37 De	35 De	33 De
Espaciamiento	51 De	47 De	43 De	38 De

La roca donde se emplazara la caverna Sag, tiene una resistencia a la compresión simple de 220 Mpa . Determinando una Botada = 33 De = 2.1 m. Espaciamiento (E) = 38 De = 2.4 m.

d) Existen numerosas formulas de calculo de la botada que tiene en cuenta uno o varios parámetros, pero todas proporcionan valores que se sitúan en el rango de 25 a 40 De, dependiendo fundamentalmente de las propiedades del macizo rocoso .

Con todos los antecedentes anteriores, el rango de fluctuaciones de la botada varia desde 1.35 m - 2.3 m., determinando un valor promedio de 2 m..

e.- Determinación del Espaciamiento

Su valor se calcula en función de la botada, del tiempo de retardo entre barrenos y de la secuencia de encendido .

En las voladuras de banco, generalmente los esquemas utilizados son cuadrados o rectángulos, debido a la facilidad de replanteo de los puntos de emboquille no obstante, los esquemas mas efectivos son los denominados en triángulos (equiláteros) ya que es el que proporciona la mejor distribución de la energía del explosivo en la roca y permite obtener una mayor flexibilidad de salida de la voladura . Este esquema produce la mejor fragmentación un espaciamiento (E) que vale $E = 1,15 B$ para barrenos verticales, por lo anterior se considera $E = 1,1 B$

La tabla 5.5 presenta el resumen de los parámetros de la tronadura de la Zanja Central.

Tabla N° 5.2 DIAGRAMA DE TIROS PERFORADOS ZANJA CENTRAL

0		2.2	4.4		6.6		8.8	11	
A		B	C		D		E	F	KM
14.40		14.00	16.00	roto	15.25	Roto	14.30	14.40	30.0
14.00		14.00	15.50	roto	14.75	Roto	14.00	14.10	32.0
14.00		13.00	16.30	roto	15.00	Roto	14.00	14.00	34.0
14.00		14.00	14.80	roto	14.00		10.50	14.00	36.0
13.0	Grieta	14.00	15.50	roto	15.25	Roto	14.00	14.00	38.0
	a								
14.00		14.00	14.60	roto	14.40	Roto	14.00	14.00	40.0
14.00		14.00	14.30	roto	14.50	Roto	14.00	14.00	42.0
14.00		14.00	14.50	roto	14.50	Roto	14.00	14.00	44.0
14.00		14.00	14.50	roto	14.30	Roto	14.00	14.30	46.0
14.00		14.00	14.00	grieta	14.50	Roto	14.00	14.00	48.0
14.00		14.00	13.00	grieta	14.50	Roto	14.00	14.00	50.0
14.00		14.00	14.70	roto	14.50	Roto	14.00	14.00	52.0
14.00		14.00	14.75	roto	14.50	Roto	14.00	14.00	54.0
14.00		14.00	14.80	roto	14.50	Roto	14.00	14.00 roto	56.0
14.00		14.00	14.60	roto	14.60	Roto	14.00	14.00 roto	58.0
14.00		14.00	14.80	roto	14.50	Roto	14.00	roto	60.0
14.00		14.00	14.80	roto	14.00	Roto	14.00		62.0
14.00		14.00	14.00	roto	13.50	Roto	13.80	roto	64.0
14.00		14.00	14.30	roto	13.50	Roto	14.00		66.0
14.00		14.00	14.50	roto	13.50	Roto	14.00		68.0
14.00		14.00	15.00	roto	13.80	Roto	14.00	roto	70.0
14.00		14.00	15.00	roto	13.50	Roto	14.00		72.0
14.00		14.00	15.30	roto	14.00	Roto	14.00		74.0
14.00		14.00	14.30	roto	13.50	Roto	14.00		76.0
14.00		14.00	14.20	roto	13.50	Roto	14.00		78.0
14.00		14.00	14.50	roto	14.00	Roto	14.00		80.0

Tabla N° 5.3 **DIAGRAMA DE TIROS PERFORADOS ZANJA CENTRAL**

0	2.2	4.4		6.6		8.8	11	
A	B	C		D		E	F	KM
14.00	14.00	14.50	roto	14.00	Roto	14.00	14.00	82.0
14.00	14.00	15.00	roto	14.30	Roto	14.00	14.00	84.0
14.00	14.00	16.80	roto	16.10	Roto	14.00	14.00	86.0
14.00	14.00	17.00	roto	15.50	Roto	14.00	14.00	88.0
14.00	14.00	13.50	roto	17.50	Roto	14.00	14.00	90.0
14.00	14.00	19.10	roto	18.00	Roto	14.00	14.00	92.0
14.00	14.00	19.40	roto	18.50	Roto	14.00	14.00	94.0
14.00	14.00	19.70	roto	19.50	Roto	14.00	14.00	96.0
14.00	14.00	20.00	roto	20.00	Roto	14.00	14.00	98.0
14.00	14.00	21.00	roto	22.00	Roto	14.00	14.00	100.0
14.00	14.00	21.30	roto	21.00	Roto	14.00	14.00	102.0
14.00	14.00	21.80	roto	18.50	Roto	14.00	14.00	104.0

Dimensión de la Zanja :Longitud = 80.0 m.

Ancho = 11.0 m.

Altura = 15 .0 m.

Tabla N° 5.5 PARÁMETROS DE LA TRONADURA DE LA ZANJA CENTRAL

Diámetro Perforación	De	pulg.	2.5
Altura Banco	H	m.	15
Longitud Perforación	L	m.	15
Taco Superior	T	m.	1.5
Taco Intermedio	Tm	m.	1.0
Burden	B	m.	2.0
Espaciamiento	E	m.	2.2
Razón E/B			1.1
Carga de Fondo	Qf	Kg.	18.52
Longitud Carga de Fondo	Hf	m.	7.5
Carga de Columna	Qc	Kg.	12.35
Longitud carga de Columna	Hc	m.	5.0
Total Explosivo / Perforación		Kg.	30.87
Total explosivo / Disparo		Kg.	926.10
Material a remover / Perforación		M ³	68.20
Material a remover / Disparo		M ³	2046.00
Factor de Carga		Kg / M ³	0.45
Nº Perforaciones / Disparo		c/u	30
Nº de Disparos		c/u	7.5

5.4.3.- TRONADURA

5.4.3.1 Determinación de la Carga Explosiva para realizar la Excavación de la Zanja Central . (análisis por vibraciones)

A.- Introducción

Las vibraciones generadas en las voladuras se transmiten a través de los materiales como ondas sísmicas cuyo frente se desplaza radialmente a partir del punto de detonación.

El paso de una onda sísmica por un medio rocoso produce en cada punto de éste un movimiento que se conoce como vibración.

Una simplificación para el estudio de las vibraciones generadas por las voladuras consiste en considerar éstas como ondas de tipo sinusoidal

Donde :

Amplitud (A): Desplazamiento máximo de un punto desde su posición de reposo.

Velocidad de partícula (v): Velocidad a la que se desplaza el punto

Aceleración de partícula (a): Ritmo de cambio de velocidad de la partícula

Frecuencia (f): Número completo de oscilaciones o ciclos por segundo

B.- Desarrollo

Debido a la cercanía que existía entre el Molino Unitario Sag. y la zona de disparos, se debían tomar las consideraciones necesarias para controlar los riesgos de daños a su estructura. Además, tenía incorporados sensores de interrupción de seguridad (tipo Rope Switch), estos muy sensible a las vibraciones, por lo cual debía ser necesario realizar un cálculo de carga de explosivos a utilizar, para mantener bajo control dichas vibraciones (cálculos de aceleración y velocidad de la partícula producto de las tronaduras).

Los sensores, Rope Switch, ubicados en el Molino Unitario, resisten una aceleración de la partícula de 3 a 4 G. Por lo tanto sobre los cuales se efectúa el cálculo de vibraciones

provocadas por los disparos. Luego, para realizar el cálculo, se tomó como referencia la resistencia de los Rope Switch = 3G

C.- Cálculo de la aceleración provocada por la tronadora:

Según la ecuación de movimiento armónico simple:

$$v = 2 \pi f \sqrt{A - x}$$

donde:

v = Velocidad (m/seg.)

f = Frecuencia (Hz)

A = Amplitud de la onda (m)

x = Desviación de la partícula respecto a la posición de equilibrio

La velocidad es máxima cuando x corresponde al punto de equilibrio, es decir $x = 0$

$$V_{\text{máx.}} = 2 \pi f A$$

De la tabla 5.4.3.2, la máxima velocidad de la partícula estimada es de 34.21 mm/seg., a una distancia de 50 m. de la tronadura.

Por lo tanto:

$$A = V_{\text{máx.}} / 2 \pi f \qquad f = 16.7 \text{ Hz (dada por personal técnico Div. Andina)}$$

$$A = 3.24 \text{ mm} \qquad (\text{dada por Andina 3mm de amplitud})$$

Ahora bien, la máxima aceleración de las partículas en vibración corresponde a la máxima elongación, es decir $x = A$.

$$a = 4 \pi f x$$

$$a_{\text{máx.}} = 4 \pi f A$$

TABLA 5432 CALCULO VELOCIDAD DE PARTICULA ESTIMADA CAVERNA SAG.

FRENTE: ZANJA CENTRAL

Distancia		D. Escalar	Explosivo por retardo		Cte. K	Cte. -m	Veloc. Particula	
mts	pies		Kgs	Lbs			pulg/seg	mm/seg
50,00	165,00	19,95	31,00	68,42	120	1,5	1,35	34,21
55,00	181,50	21,94	31,00	68,42	120	1,5	1,17	29,65
60,00	198,00	23,94	31,00	68,42	120	1,5	1,02	26,02
65,00	214,50	25,93	31,00	68,42	120	1,5	0,91	23,08
70,00	231,00	27,93	31,00	68,42	120	1,5	0,81	20,65
75,00	247,50	29,92	31,00	68,42	120	1,5	0,73	18,62

Distancia Escalar: $DS = D/(W)^{0.5}$

Velocidad de Particula: $V = K \cdot DS^{(-m)}$

- W = 31,0 Kg por Retardo
- K = 120 (Cte. Roca)
- m = 1,5 (Cte. Roca)
- D = Distancia al Punto de Control
- Largo de perforación: 15,0 metros

$$a_{\text{máx.}} = 4 \pi 16.7 \times 3.24\text{E-}3 = 29.8 \text{ m/seg}^2 = 2.98 \text{ G}$$

Luego, utilizando una carga de 31.0 kg. de explosivo por retardo, para la máxima velocidad de las partículas, la aceleración está bajo el límite de operación de los sensores ($a = 3\text{G}$) y por lo tanto no hay riesgo de daños por vibración a los sensores

D.- Consideraciones

La secuencia de hundimiento de la ZNC se procede a quemar en tramos de 10 m de largo como máximo, se inicia con la primera quemada a partir del tramo contiguo a la Zanja de Corte, avanzando con el hundimiento en dirección Norte - Sur.

Las quemadas serán secuenciales, tronando tramos de 10 m. de largo cada vez (la longitud de 10 m. se basa en llevar el control de las vibraciones y la voladura de la zanja) .

E.- Recomendaciones para Reducir los Niveles de Vibración del Terreno y Onda Aérea .

Aunque cada caso debe ser objeto de un análisis particular, se enumeran a continuación las principales medidas que pueden tomarse para maniobrar las vibraciones generadas por las voladuras, la importancia de estas variables se presentan en la tabla 5.4

- Minimizar la carga de explosivo por unidad de microrretardo .
 - * Reduciendo el diámetro y longitud de perforación.
 - * Seccionando las cargas dentro de los barrenos e iniciándolas en tiempos distintos.
 - * Utilizando el mayor número de detonadores o tiempos de retardo posible, con explosores secuenciales o relés de microrretardo si se supera la serie comercial de detonadores.
- Reducir el número de barrenos con detonadores instantáneos, ya que estos presentan menor dispersión que los números más altos de la serie. También es necesario conservar el burden y espaciamiento del diseño original-

- Elegir un tiempo de retardo entre barrenos y filas efectivas que evite una fuerte superposición de ondas y permite un buen desplazamiento de la roca, esto involucra una buena secuencia de iniciación.
- Disponer pantallas con materiales amortiguadores, lonas, mallas metálicas etc, entre las voladuras y los equipos que se encuentren cercanos a la frente.

Ver tabla N° 5.4.3.3

5.4.4. - OPERACIONES INVOLUCRADAS EN LA TRONADURA ZANJA CENTRAL

5.4.4.1.- Limpieza de tiros

Se procede a limpiar manualmente el lugar de trabajo, cuidando que la boca de los tiros no quede bloqueado por una piedra que pueda caer durante la operación

5.4.4. 2.- Revisión de pozos

Inmediatamente antes de cargar el explosivo se comprueba la profundidad de los tiros , informando al supervisor encargado de la tronadora, quien decidirá las medida que deben tomarse en el caso que hayan diferencias con respecto al diseño original (tiros cortos , tiros con sobre perforación , tiros tapados , etc.) .

En caso de tiros tapados se procede de la siguiente forma :

Lanzar una pata minera, amarrada con una piola a través del tiro, para golpear en la zona donde se ha producido el trancamiento del tiro .

Tabla N° 5.4.3.3 Velocidad de Partícula como Criterio de Daño.-

Los criterios de la relación Velocidad de partícula con los Daños al entorno que puede causar, se resumen en las siguientes tablas:

1971 U.S. Bureau of Mine

Velocidad de Partícula mm/seg	Daño Definido
< 51	no hay daño
51 – 102	agrietamiento en estuco
102 – 178	daño menor
>178	daño mayor en estructura

1977. Canmet, Bauer,y Calder, establecieron daños para equipos y estructuras

TIPOS DE ESTRUCTURAS	TIPO DE DAÑO	VELOCIDAD PARTÍCULA
Casas	Agrietamiento estuco	51 mm/seg
Bloques de concreto en casa nueva	Agrietamiento en bloque	203 mm/seg
Perforaciones recubiertas	Desalineamiento horizontal	381 mm/seg
Equipos mecánicos. bombas compresores	Desalineamiento de eje	1016 mm/seg
Construcciones de metal, prefabricados sobre relleno de concreto	Agrietamiento de concreto, torsión y quebrantamiento de la construcción	1524 mm/seg

Si esta operación no resulta, se procederá a meter una manguera para inyectar aire a presión, forzando al material que tranca el tiro a salir expulsado.

La medida de los tiros se realiza con una huincha plástica que se introduce en el tiro con un coligue amarrado en el extremo . Una vez que se llega al fondo del tiro, el coligue se atraviesa en la boca del tiro permitiendo la medida . A continuación, se baja la huincha permitiendo que el coligue adopte una posición vertical, y se sube.

Ver figura N° 5.4 - Medida de Tiros.

5.4.4.3.- Cierre del Area a Tronar

Se llevará a las frentes de trabajo solo la cantidad de explosivo indicada en el diagrama de disparo y vale de explosivo, luego el supervisor encargado de la tronada, con la cartilla de Carguio en mano y el apoyo del minero, procede a cerrar el área afectada con Loros Informativos : Area Restringida " Carguio de Frente " o carteles indicativos conforme a la reglamentación vigente . Acto seguido se procede a distribuir los iniciadores en cada uno de los tiros .

5.4.4.4.- Preparación y Ubicación de primas

Los detonadores noneles son insertados en las perforaciones respectivas de los iniciadores (nonel mas APD 250 grs.), para luego en una segunda etapa, deslizarlos al interior de los tiros, dejando en la parte superior los amarres del sistema nonel afuera, para la conexión con los detonadores superficiales, cordón detonante y guía a fuego .

5.4.4.5.- Carguio

La primera operación que se efectúa es la colocación del taco inferior, el cual consiste en un taco de retención cuyo objetivo será el máximo confinamiento a los gases explosivos .

El taco inferior consiste en un trozo de madera, el cual en el centro lleva una argolla , la que permite que pase una lienza de nylon de 4 mm. de diámetro, para luego bajarlo y ubicarlo en el punto deseado y finalmente sostener la columna de material y explosivo, una vez en

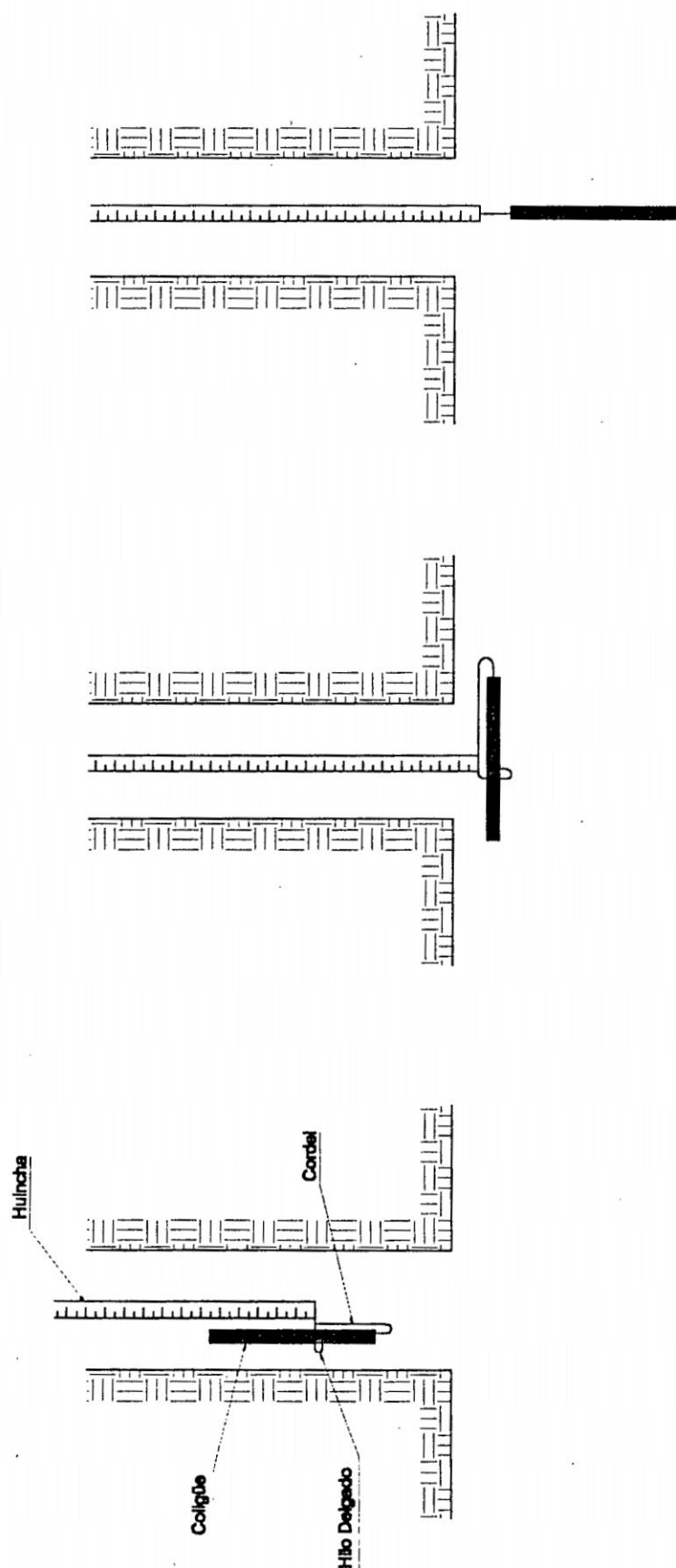


Figura N° 5.4 MEDICION DE TIROS ZANJA CENTRAL

esta posición se procede a sellar con gravilla o marina fina, hasta una distancia determinada (1 m. de taco inferior), formando una cuña con la parte del taco .

Ver figura N° 5.5 Colocación de Taco Inferior

Luego se carga el tiro con el explosivo (ANFO), hasta una distancia de 1m. , y se desliza hacia dentro del tiro la prima o cebo determinado e ingresa el resto de explosivo hasta conseguir la altura de carga deseada .

Una vez completado la altura de carga determinada , se procede a la colocación del taco intermedio de igual longitud que el inferior (taco intermedio que consiste en gravilla) , efectuando el carguio con explosivo de 1 m e ingresando al interior del tiro la segunda prima o cebo e ingresa el resto de explosivo hasta conseguir la altura de carga deseada .

Para finalizar con el taco superior de mayor longitud (1.5 m.) para prevenir el soplado del tiro, El tapado del tiro se efectúa cuidadosamente para no provocar que piedras sean introducidas al tiro y provocar dañar e incluso cortar los tubos del detonante , ya que una vez que se introduce el taco superior será imposible recuperar el explosivo .

Es necesario indicar que en la operación de carguio, en todo momento se ira midiendo la longitud de los tacos y la altura de carga, con el objeto de cerciorarse que las cantidades de explosivos en los tiros corresponde al determinado por el análisis de vibraciones .

Ver Figura N° 5.6 Carguio de tiros Zanja Central.

5.4.4.6.- Amarre

La conexión se realiza uniendo todas las líneas que salen de los tiros (2) , con los respectivos conectores superficiales de cada tiro, se desenrolla cordón detonante y se van uniendo con los conectores superficiales , amarrando todo el sistema , que a su vez se une con la guía compuesta (guía mecha lenta) .

Una vez amarrada la tronadura, el Supervisor procede a revisarla tiro a tiro .

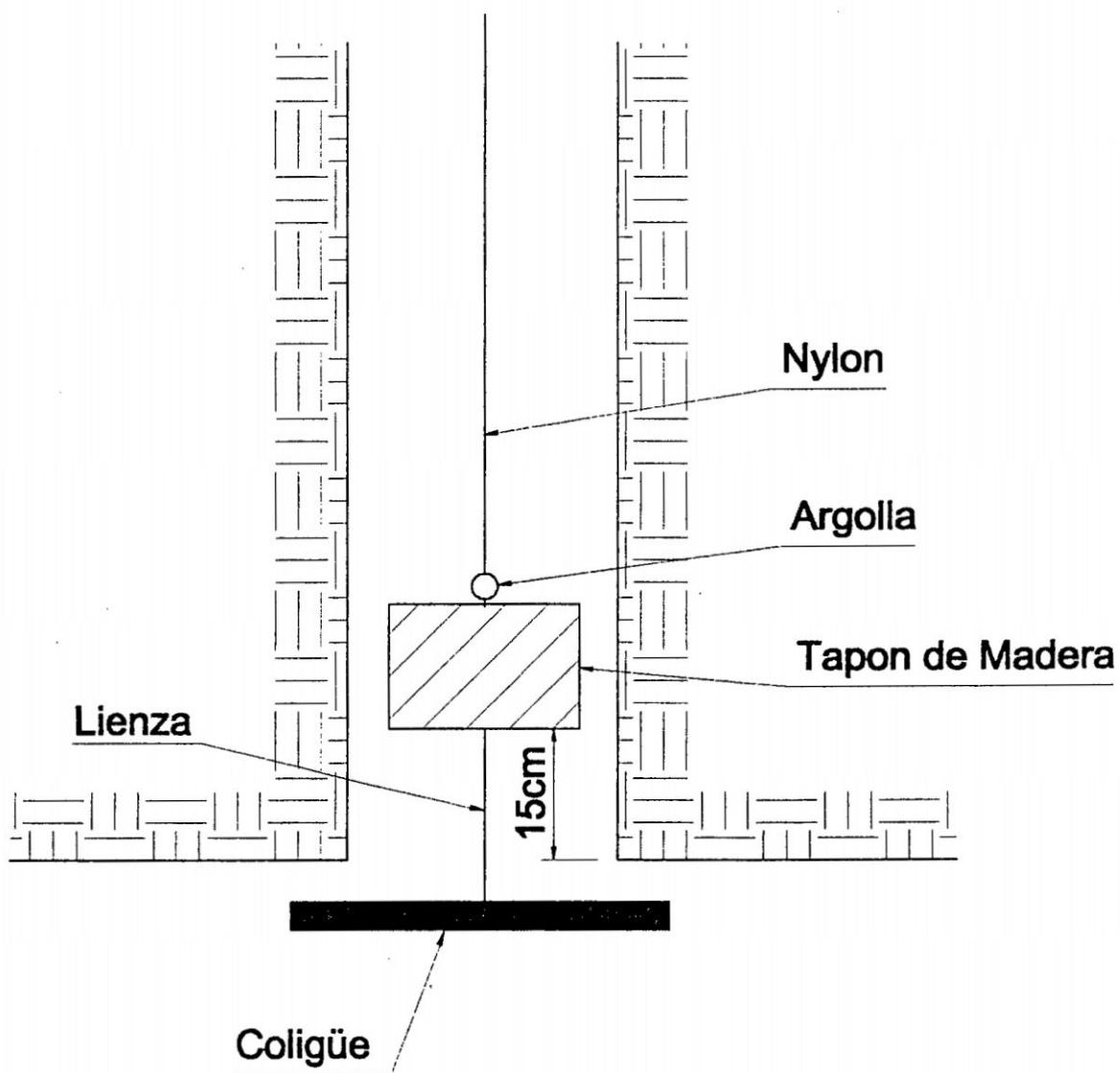


Figura N° 5.5 COLOCACIÓN DE TACO INFERIOR

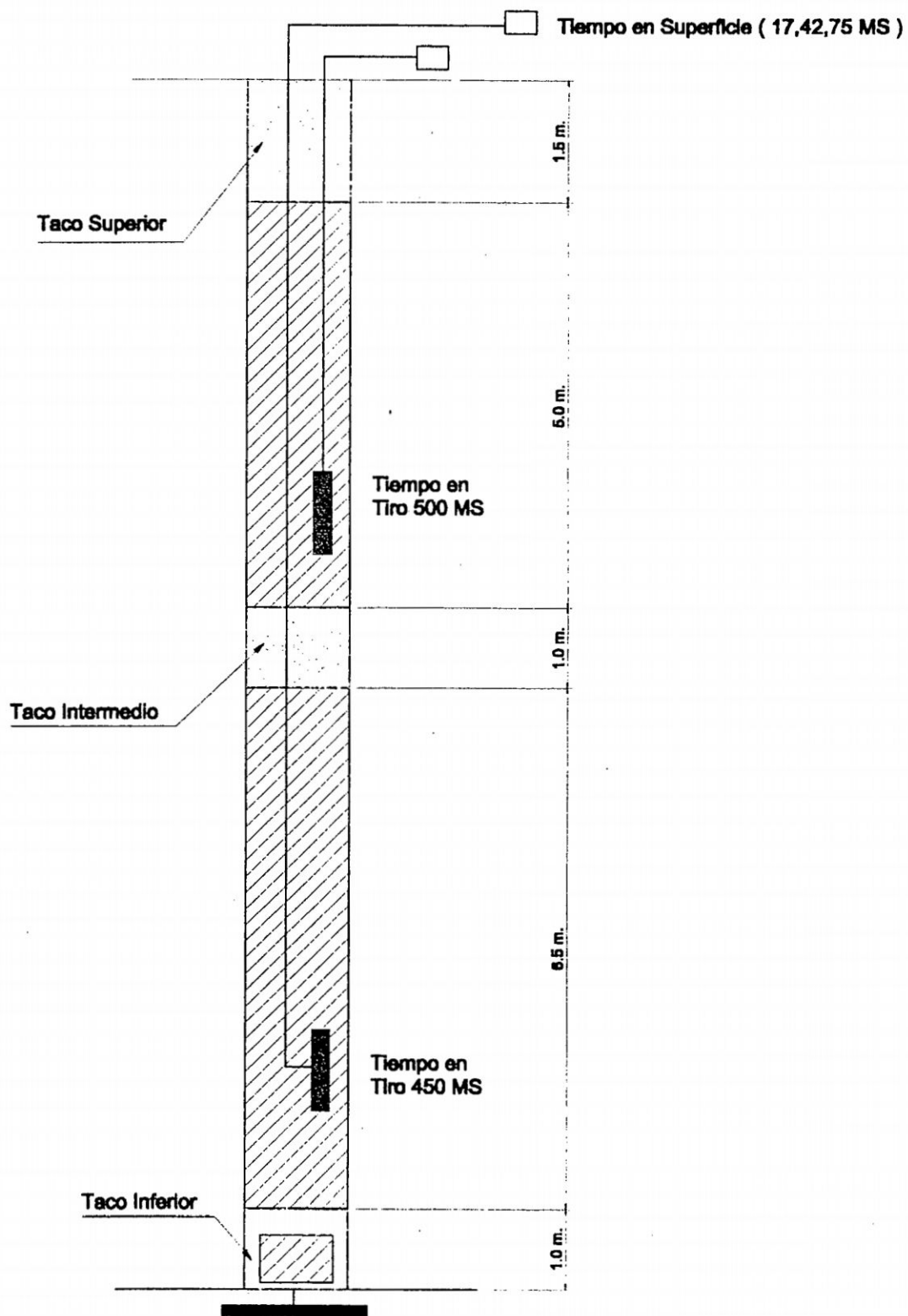


Figura N° 5.6 CARGUIO TIROS ZANJA CENTRAL

5.5.- ETAPA N° 3 y 4 PERFORACION Y VOLADURA BANQUEO BH5 y BH6

(Cota: de 27 m. hasta 5 m.)

5.5.1.- Antecedentes :

Al desarrollar la zanja central, genera la creación bancos de excavación, pegados a los costados Norte, Sur, Este y Oeste de la Caverna . Los bancos tienen una altura de $h = 5$ m (BH5), y de $h = 6$ m. (BH 6) , desde el Arco - Techo de la Caverna (Cota: 27m.), hasta el piso de la Caverna (Cota: 5 m.), es así que se tiene dos BH5 y dos BH6 contando con cuatro bancos en la vertical .

Las quemadas serán secuenciales de avance variable , siendo un promedio de 20 m. de largo cada una, contra la cara libre, que se generó con la Zanja Central .,

5.5.2.- Perforación de los bancos BH5 y BH6

Para la perforaciones se utilizan (2) Truck Drill Diesel - Hidráulicas, montado sobre orugas y un Jumbo Boomer H - 282, montado sobre neumáticos (este equipo se utilizara de apoyo a la perforación) .

5.5.3.- Determinación de la Altura de los Bancos

Los bancos en Cavernas generalmente tienen una altura 4 - 6 metros o incluso menos, siendo definidos por el equipo a utilizar en la construcción y los accesos con que se cuenta , determinando la altura mas conveniente de estos, es así que se definieron bancos de 5 m. en la primera etapa de banqueo (labor de acceso Correa 15) y en segunda etapa bancos de 6 m. (labor de acceso túnel auxiliar norte) .

5.5.3.- Determinación de la Pasadura (J)

La Pasadura , es la longitud del barreno por debajo del nivel del piso que se necesita para romper la roca a la altura del banco y lograr una fragmentación y desplazamiento adecuado que permita el equipo de carga alcanzar la cota de excavación prevista .

Según ASH considera rangos de 0.2 a 0.4 B, normalmente se utiliza el valor de 0.3 B, pudiendo alcanzar valores mas altos, lo cual dependerá de la presencia de patas

que pudieran aparecer en los bancos después de la tronadura , según tabla N° 5.4 indica 12 * De . En base a estas consideraciones se logran valores de 0.4 a 0.8 m , para el caso de la Caverna se determina un valor de 0.5 m., considerando que no va existir alto transito para tener el piso parejo y este banco será momentáneo. en caso que queden ripies la longitud de perforación en ese lugar será mayor (las perforaciones verticales de los bancos se efectúa con el permanente control topográfico) .En tabla N° 5.6 se indica los parámetros de la Tronadura para Bancos BH5 y BH6 .

Dimensión de los Bancos : Longitud = 112.0 m.

Ancho = 8.4 m.

Altura = 5.0 y 6.0 m.

Tabla N° 5.6 **PARÁMETROS DE LA TRONADURA DE LOS BANQUEOS**

Banco			BH5	BH6
Diámetro Perforación	De	pulg.	2.5	2.5
Altura Banco	H	m.	5	6
Pasadura	J	m.	0.5	0.5
Longitud Perforación	L	m.	5.5	6.5
Taco	T	m.	1.5	1.5
Burden	B	m.	2.0	2.0
Espaciamiento	E	m.	2.2	2.2
Razón E/B			1.1	1.1
Carga de Fondo	Qf	Kg.	12.35	9.88
Longitud Carga	Hf	m.	5.0	4.0
Total Explosivo / Perforación		Kg.	9.88	12.38
Total explosivo / Disparo		Kg.	197.6	247.6
Material a remover / Tiro		M ³	22.0	26.4
Material a remover / Disparo		M ³	440.0	528.0
Factor de Carga		Kg / M ³	0.45	0.46
N° Perforaciones / Disparo		c/u	20	20

5.5.5.- Operaciones Involucradas en la Tronadura Banqueo BH5 y BH6

5.5.5.1.-- Limpieza de tiros

Se procede a limpiar manualmente el lugar de trabajo, cuidando que la boca de los tiros no quede bloqueado por una piedra que pueda caer durante la operación

5.5.5.2.-- Revisión de pozos

Inmediatamente antes de cargar el explosivo se comprueba la profundidad de los tiros , informando al supervisor encargado de la tronadora, quien decidirá las medida que deben tomarse en el caso que hayan diferencias con respecto al diseño original (tiros cortos , tiros con sobre perforación , tiros tapados , etc.) .

La medida de los tiros se realiza con una huincha plástica que se introduce en el tiro con un peso amarrado en el extremo . Una vez que se llega al fondo del tiro, se toma dicha medida .

5.5.5.3.-- Cierre del Area a Tronar

Se llevará a las frentes de trabajo solo la cantidad de explosivo indicada en el diagrama de disparo y vale de explosivo, luego el supervisor encargado de la tronada, con la cartilla de carguio en mano y el apoyo del minero, procede a cerrar el área afectada con Loros Informativos: Area Restringida " Carguio de Frente " o carteles indicativos conforme a la reglamentación vigente. Acto seguido se procede a distribuir los iniciadores en cada uno de los tiros.

5.5.5.4.-- Preparación y Ubicación de primas

Los detonadores noneles son insertados en las perforaciones respectivas de los iniciadores (nonel - retardo dentro del tiro) mas APD 225 grs.), para luego en una segunda etapa, deslizarlos al interior de los tiros, dejando en la parte superior los amarres del sistema nonel afuera, para la conexión con los detonadores superficiales, cordón detonante y guía a fuego . Las primas deben prepararse cerca de la frente a tronar, en un lugar seguro, seco y ventilado. Su uso debe ser de inmediato

5.5.5.5.-- Carguio

Se carga el tiro con el explosivo (ANFO), hasta una distancia de 1m. , y se desliza hacia dentro del tiro la prima o cebo determinado e ingresa el resto de explosivo hasta conseguir la altura de carga deseada .

Una vez completado la altura de carga determinada , se procede a la colocación del taco superior de mayor longitud (1.5 m.) para prevenir el soplado del tiro, El tapado del tiro se efectúa cuidadosamente para no provocar que piedras sean introducidas al tiro y provocar dañar e incluso cortar los tubos del detonante , ya que una vez que se introduce el taco superior será imposible recuperar el explosivo .

Es necesario indicar que en la operación de Carguio, en todo momento se ira midiendo la longitud de los tacos y la altura de carga, con el objeto de cerciorarse que las cantidades de explosivos en los tiros corresponde al determinado por el análisis de vibraciones .

Ver Figura N° 5.8 Carguio de Tiros Bancos BH5 y BH6 .

5.5.5.6.-- Amarre

La conexión se realiza uniendo todas los noneles que salen de los tiros (retardadores dentro del tiro), con los respectivos conectores superficiales de cada tiro, se desenrolla cordón detonante y se van uniendo con los conectores superficiales , amarrando todo el sistema , que a su vez se une con la guía compuesta (guía mecha lenta) .

Una vez amarrada la tronadora, el Supervisor procede a revisarla tiro a tiro .

Ver Figura N° 5.9 Secuencia de salida tiros Banqueos BH5 y BH6

Ver Figura N° 5.10 Conexión en superficie Banqueos BH5 y BH6

Ver Figura N° 5.11 Secuencia de salida de tiros Banqueos BH5 y BH6

5.5.5.7.-- Coordinación para efectuar la tronadora

Se efectúa de igual forma que el desarrollo del arco - techo .

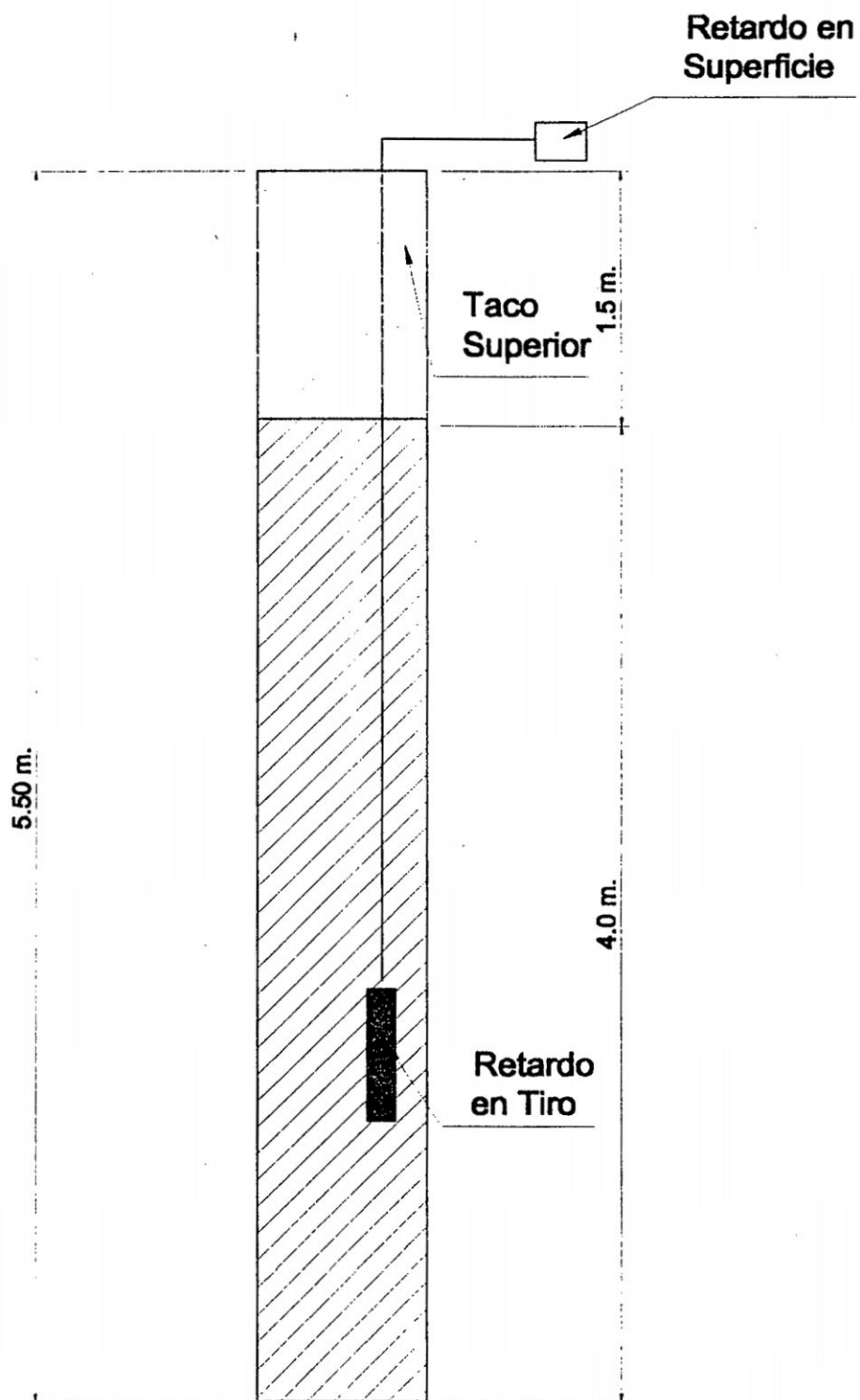


Figura N° 5.8 CARGUIO TIROS BANCO H = 5m (BH5)

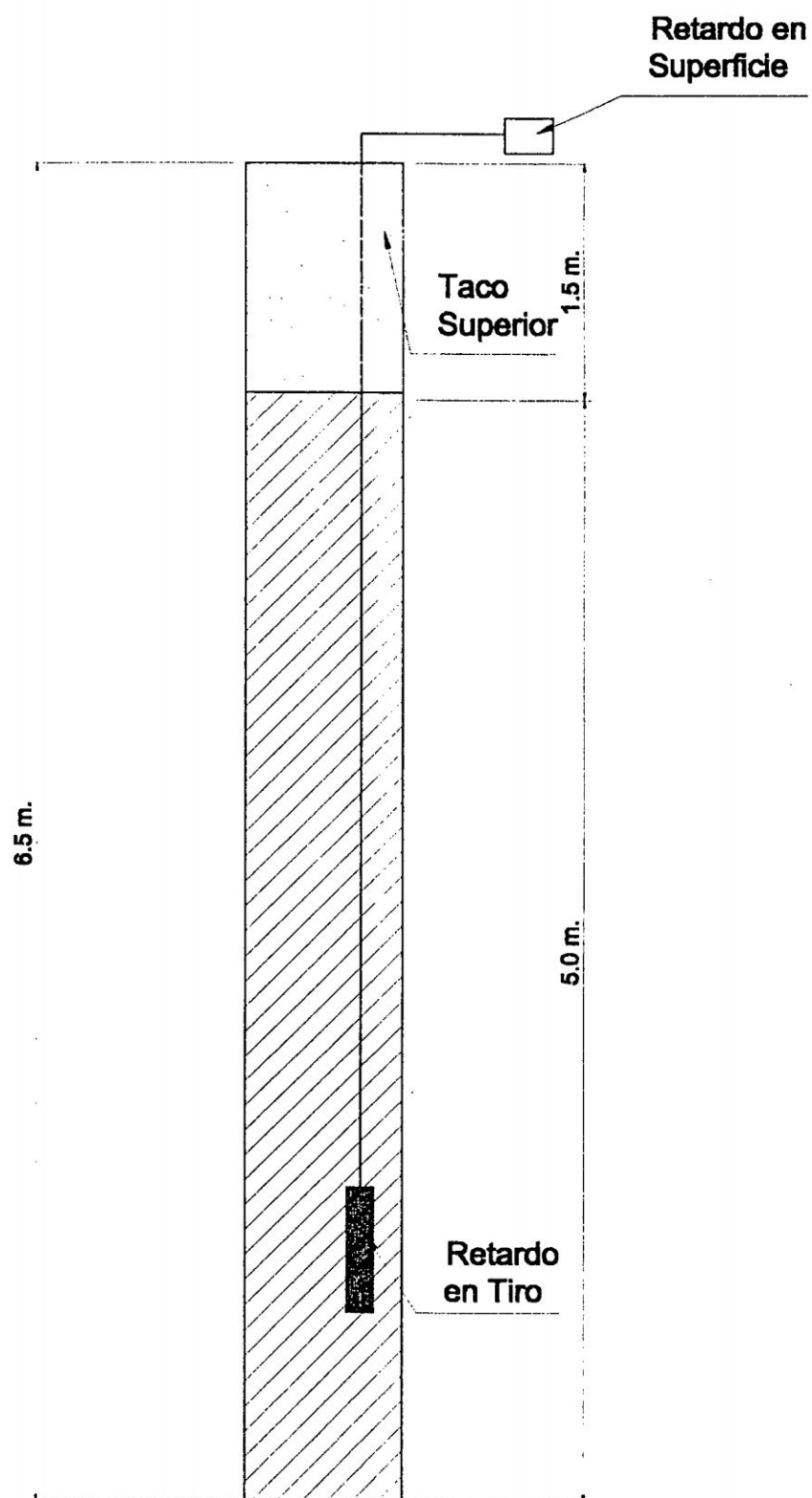


Figura N° 5.9 CARGUIO TIROS BANCO H = 6m (BH6)

The diagram consists of a grid of points connected by horizontal and vertical lines. The grid is composed of several rows and columns. The values 75 and 25 are placed at various points along the grid lines. A large 'L' shape is formed by the grid lines, with the vertical part on the left and the horizontal part at the top. The values 75 and 25 are placed at the corners and along the arms of the 'L' shape. The grid is composed of several rows and columns, with the values 75 and 25 placed at various points along the grid lines.

1

CARA LIBRE

1125	1050	975	900	825	750	675	600	525	500
1217	1142	1067	992	917	842	767	692	617	542
1259	1184	1109	1034	959	884	809	734	659	542

Figura N° 5.11 SECUENCIA DE SALIDA
PARA BANCOS BH5 Y BH6

5.5.5.8.-- Quemada

Una vez evacuadas y aisladas las áreas amagadas por el disparo, el Supervisor responsable, se dirige a la frente y ordena al minero que resguarda la frente conectar y encender la guía, después de lo cual se retiran de inmediato a un lugar seguro fuera del área evacuada.

Detonado el disparo, el jefe de turno entrega la quemada a Inspección y esta a Andina procediendo al retiro de los loros. Se debe esperar a lo menos 30 minutos después de efectuada la quemada antes de ingresar a chequear gases y solo se permitirá el ingreso una vez que las condiciones ambientales (CAMP) sean favorables (CO menor o igual a 26 PPM - NO menor o igual a 1.6 PPM), medidas por el Supervisor con instrumento (chequeador de gases) en buenas condiciones .

5.5.5.9.-- Revisión

Inmediatamente después de realizada la tronadura y previa dilución de los gases, se procede a revisar el material tronado, en la búsqueda de posibles restos de explosivos o de tiros quedados, para tomar las medidas estipuladas en los reglamentos de seguridad, o en caso contrario proseguir con el ciclo (extracción de marina) .

5.6.- COORDINACIÓN PARA EFECTUAR LA TRONADURA

De acuerdo con la carta de evacuación El jefe de turno debe tener en conocimiento :

- Areas a Evacuar (la Evacuación y Aislación del área a evacuar es responsabilidad del Supervisor o Jefe de Turno)
- Colocación de Loros, tanto Loros Personas Definitivos, Loros Personas Provisorios y Letreros No Pasar
- Horarios de Tronaduras

El Jefe de Turno coordina con Inspección y esta con Andina para la evacuación y quemada de la frente.

Andina autoriza la evacuación y aislacion de las áreas amagadas por la tronadora e indica a inspección, y esta autoriza a proceder al jefe de turno .

5.6.1.- Quemada

Una vez evacuadas y aisladas las áreas amagadas por el disparo, el Supervisor responsable, se dirige a la frente y ordena al minero que resguarda la frente conectar y encender la guía, después de lo cual se retiran de inmediato a un lugar seguro fuera del área evacuada.

Detonado el disparo, el jefe de turno entrega la quemada a Inspección y esta a Andina procediendo al retiro de los loros. Se debe esperar a lo menos 30 minutos después de efectuada la quemada antes de ingresar a chequear gases y solo se permitirá el ingreso una vez que las condiciones ambientales (CAMP) sean favorables (CO menor o igual a 26 PPM - NO menor o igual a 1.6 PPM), medidas por el Supervisor con instrumento (chequeador de gases) en buenas condiciones .

5.6.2. - Revisión

Inmediatamente después de realizada la tronadura y previa dilucion de los gases, se procede a revisar el material tronado, en la búsqueda de posibles restos de explosivos o de tiros quedados, para tomar las medidas estipuladas en los reglamentos de seguridad, o en caso contrario proseguir con el ciclo (extracción de marina) .

5.7. EVACUACION DEL PERSONAL Y AISLACION DEL AREA PARA REALIZAR LAS TRONADURAS

5.7.1.- Coordinaciones y Responsabilidades

Un procedimiento de evacuación y aislación por tronadora (PEQ: Procedimiento de evacuación por quemada), tiene como finalidad dar máxima protección al personal, las instalaciones y los equipos comprometidos en el área a quemar durante el desarrollo de las excavaciones.

Para realizar las tronaduras, la supervisión responsable tiene diferentes responsabilidades:

El Jefe de Turno, es responsable de:

Coordinar las quemadas con la Inspección Técnica de Obras (ITO), quien a su vez debía coordinarlas con División Andina y con todas las demás empresas comprometidas en el área de evacuación. Luego, dichas quemadas debían realizarse solamente cuando el ITO de Turno daba la autorización al supervisor responsable de la quemada.

Hacer respetar las disposiciones legales relacionadas con el transporte, almacenamiento y manejo de explosivos (Ley 17.798 y Decreto 72).

Todas las acciones que pudieran adoptarse para actuar en forma segura.

Una vez realizada la quemada, entregar la información al ITO de Turno, quien a su vez la entregaría al Supervisor de Operaciones de Desarrollo y Supervisor de Operaciones de Producción Andina y a las empresas involucradas para el retiro de los loros de sus respectivas áreas.

5.7.2. Generalidades

Las distancias mínimas desde la frente a quemar a considerar para realizar la evacuación debe ser:

- Vertical 60 mts. proyectados en una esfera sólida.

En acceso directo 150 mts. en dirección del disparo, siempre y cuando existan refugios o estocadas que permitan la protección del personal; de no existir en esta distancia, se debe evacuar hasta donde el personal quede protegido. (En ningún caso el personal debe quedar expuesto en línea recta al disparo, independiente de la distancia).

Los Horarios de quemada debían ser coordinados con el ITO de Turno al inicio de cada turno de División Andina.

La Nomenclatura usada en la colocación de loros es la siguiente:

-De acuerdo al reglamento de loros vigente de División Andina, existen dos tipos de loros a usar en quemadas de galerías mineras, los cuales son; **Loro persona, Loro No Pasar.**

LP	=	Loro persona
LNP	=	Loro "No Pasar"

En el caso de quemar en forma conjunta con otras labores, se utilizaría el o los PEQ que consideraren la mayor amplitud de evacuación y aislación.

- La carga máxima de explosivo por retardo estará dada en función al cálculo de velocidad de velocidad de partículas que se adjunta.

- El disparo sería iniciado con 2 fulminantes a fuego o eléctricos.

5.8. MEDIDAS DE CONTROL DE RIESGOS CONSIDERADAS EN LA OPERACIÓN

Los Jefes de Turno y Capataces responsables de las operaciones debían ser los responsables de instruir a su personal y luego controlar la aplicación de todos los procedimientos de trabajo inherentes a la operación, dejando un registro escrito de dicha instrucción.

Los temas más relevantes sobre los cuales los Capataces expondrían en sus charlas de riesgos típicos serían los siguientes:

- a.- Elementos de protección personal.
- b.- Acuñadura
- c.- Millkeeping (Orden y Aseo)
- e.- Manejo de materiales
- f.- Aire Comprimido, sus riesgos y medidas de control
- g.- Superficies de trabajo
- h.- Proyección de partículas
- i.- Gases tóxicos en la minería
- j.- Ventilación de galerías.
- k.- Actuación en caso de emergencia
- l.- Control del fuego.
- m.- Manipulación de Explosivos

El personal debe usar en todo momento todos sus elementos de protección personal y respetar las normas de seguridad que emanasen del Departamento de Prevención de Riesgos, de sus Supervisores, de División Andina y además, de las que la ITO estimase conveniente para hacer mas seguro los trabajos.

Los elementos de protección personal requeridos para los trabajo a realizar, eran los siguientes:

- Casco de seguridad de acuerdo a las norma vigentes c/ barbiquejo.
- Lentes de Seguridad : Policarbonato y/o Malla según corresponda.-
- Protectores Auditivos
- Cinturón de Seguridad de Combinación.
- Guantes.
- Overol de mezclilla con cinta reflectante
- Protectores respiratorios 2 vías para polvo.
- Autorrescatador.
- Cola de Seguridad.
- Traje PVC.
- Zapatos de seguridad y/o botas.

Todos estos elementos deben estar en condiciones óptimas de uso, debiendo ser cambiados ante cualquier anomalía o deterioro.

Todos los accesos al Sector de trabajo deben estar loreados con Loros: "Área Restringida, Solicite Autorización de Ingreso"

Todos los equipos y/o materiales deben estar en perfectas condiciones de uso, debiendo ser cambiados o reparados por el personal especializado ante toda falla o deterioro que se detectase.

El área o espacio físico en donde se desarrollasen los trabajos deben estar; iluminada (focos halógenos), limpia, ordenada y ventilada.

Debería mantenerse una acañadura permanente de las cajas y techo del área de trabajo (antes, durante y después de realizarse los trabajos).

Las maquinas perforadoras, equipos de perforación electrohidráulicos, de carguío y el resto del equipo y herramientas siempre se debía retirar del área de trabajo, dejándolo ordenado en un lugar protegido, previo a quemar

Para la manipulación de explosivos, deberá haber un estricto cumplimiento del Decreto 72 y de la Ley 17.798, de Control de Armas y Explosivos, y todo el personal debía contar con su Licencia de Manipulador de explosivoactualizado.

Capítulo 6 .- PLANIFICACION DE LOS TRABAJOS

6.1.- INTRODUCCION

En la actualidad existen variadas técnicas de planificación dentro de las cuales cabe destacar: CPM., Malla Pert y Gantt, apoyados por software de Programación de diferentes envergaduras tales como Harvard project, Manager Projects y Primavera Projects, estos permiten el manejo de Proyectos de gran tamaño al nivel de detalles importantes del orden de 600 a 5000 ítems o actividades.

El Contrato " Construcción de Túneles y Excavaciones Subterráneas Area SAG.", utilizo el Software "Primavera", este presenta una gran versatilidad en la Programación y Control de Proyectos Integrales, además permite el manejo de un gran volumen de información de manera ágil y eficiente, optimizando el seguimiento continuo del Avance de las Obras en la etapa de ejecución del proyecto.

La principal ventaja de aplicación de la computación como herramienta de programación de proyectos, es la Simulación de situaciones, de acuerdo a la conjugación de todas las variables posibles que constituye el proyecto, dirigidas a obtener una programación óptima.

Por otra parte, todo proyecto es de naturaleza dinámica cuya evaluación sobrepasa a cualquier modelo, estos hace necesario una reprogramación, si se adopta la decisión de hacerlo, debe completarse en el menor tiempo posible.

5.9

VENTILACION

Para definir las alternativas más convenientes de sistemas de ventilación, se hace necesario conocer, el método de construcción de la caverna, la dotación del principal de equipo utilizado en las frentes de trabajo, sus lugares y alternativas de empleo, el personal de labores y la cuantía de explosivos con que se propone ejecutar los avances.

5.9.1. Condiciones de Diseño

TABLA 5.9

VENTILACION CAVERNA S.A.G.

SISTEMA	UNIDAD	CAVERNA DE MOLIENDA S.A.G.	
		ARCO TECHO	TUNEL PILOTO
Labor	-		
Altitud s.n.m.	M	2900	2900
Largo	M	128	118
Area de sección T.C.E.	M ²	64	25
Largo (túnel acceso)	M	110	152
Area (túnel acceso)	M ²	25	49
Personas trabajando	UND.	10	05
Densidad en altitud	KG/M ³	0.84	0.84
Manga corrugada	-		
Longitud de manga	M	260	280
Diámetro de manga	M	1.00	1.00
Volumen de aire p/persona	M ³ /MIN	5.00	5.00
Gases desprendidos	M ³ /KGanfo	0.05	0.05
Tiempo de ventilación	MINUTOS	60.00	60.00
Tasa de consumo equipo	M ³ /HP	2.00	2.00
Perdidas en ducto	%	5.00	5.00
Factor de fricción ducto	-	10X10 ⁻¹⁰	10X10 ⁻¹⁰
Longitud perforación	M	3.90	3.9

5.9.2. Descripción de las Obras

Como se tiene conocimiento, el completo SAG es un conjunto de labores subterráneas de todo tipo, con trazados predominantemente rectos, salvo algunos tramos de túnel que se describen curvas de amplio radio; con longitudes pendientes y secciones diversas.

Corresponden en su totalidad a labores subterráneas que se ubican cerca de la superficie, a partir de los siguientes túneles existentes:

Túnel de Acceso Principal

Túnel de ventilación Inyección

Túnel de Ventilación Inyección

Túnel de ventilación (Extracción)

Todos estos túneles comunican directamente a la superficie, razón por la cual serán utilizados para conducir aire fresco y/o de evacuación de aire viciado.

5.9.3. Determinación de los Caudales

5.9.3.1 Arco techo

El circuito a analizar corresponde al clásico desarrollo ciego, donde al aire limpio ingresa a través de una manga y es impulsado por un ventilador auxiliar, para entrar en contacto con gases de tronadura, combustión y polvo.

A. Requerimiento de aire

A1.- Aire para personal

$$Q1 = 5 \text{ m}^3 / \text{min} \times \text{persona} \times 10 \text{ personas} = 50 \text{ m}^3 / \text{min}$$

A2.- Aire necesario para eliminar gases del disparo.

Considerando la frente de mayor sección.

Tonelaje removido 624 Tn.

Factor de carga 0.711 Kg/Tn.

Kilos de explosivo 444 Kg.

$$5000 \times g \times b$$

$$\text{Luego } Q2 = \frac{\text{-----}}{T}$$

T

Donde Q2 = Caudal necesario para disipar gases

g = Cantidad de explosivo utilizado

b = Cantidad de gases desprendidos

t = Tiempo de ventilación

$$Q2 = 1850 \text{ m}^3/\text{min}.$$

A3.- Aire requerido para maquinaria diesel

Equipos a utilizar

01 Scoop de $6\text{y}^3 = 230 \text{ HP}$.

02 Camiones de 12 Tn = 200 HP c/u

Asumiendo una escala de consumo, más la tasa de $2\text{m}^3/\text{HP}$, tenemos:

$$Q3 = 2(230 + 0.75 \times 200 + 0.5 \times 200)$$

$$Q3 = 1062 \text{ m}^3/\text{min}.$$

A4.- Resumiendo:

$$Q1 + Q3 = 1112 \text{ m}^3/\text{min}.$$

$$Q2 = 1850 \text{ m}^3/\text{min}.$$

Considerando el carguio – transporte y la tronadura como operaciones independientes, se elige el requerimiento mayor.

Asumiendo un 5% de pérdidas, tendremos el siguiente requerimiento:

$$Q = 1943 \text{ m}^3/\text{min}.$$

$$Q = 32 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

$$Q = 64.767 \text{ CFM}.$$

Para mover el caudal de aire calculando es necesario que exista una depresión adecuada entre el punto de aspiración y de descarga del aire.

La depresión necesaria para mover un caudal (Q) en un conducto de resistencia (R) al paso del aire de densidad normal, está dado por la formula:

$$H = R \times Q^2$$

Donde:

$$R = \frac{K \times L \times O}{5.2 \times A^3}$$

K = Factor de fricción que depende de la forma y rugosidad del ducto.

L = Largo del ducto, en pies.

O = Perímetro del ducto en pies.

A = Area de la sección transversal del ducto en pies².

Luego

$$H = \frac{K \times L \times O}{5.2 \times A^3} \times Q^2$$

H = Depresión en pulgadas de agua

Q = caudal de aire en CFM.

H = 28.16 pulg. Agua.

Esta formula debe ser corregida si la densidad del aire es diferente a la normal de 0.075 lb/pie³

H corregido = 19.52 pulg. - Agua

H Corregido = 496 mm. - agua

La potencia del ventilador será:

$$P = \frac{Q \times H \text{ corregido}}{75 \times E_v \times E_t \times E_m}$$

Q = en m³/seg,

P = HP

Hc = mm. agua

E_v = Eficiencia del ventilador = 85%

E_t = Eficiencia de transmisión = 100%

E_t = Eficiencia del motor = 95%

Luego $P = 262$ HP

5.9.3.2 Determinación de los caudales para túnel piloto

El requerimiento mayor de aire esta dado por el trabajo de los equipos (similar al arco techo).

Luego $Q = 1062 \text{ m}^3/\text{min}$

$Q = 1115 \text{ m}^3/\text{min}$ (corregido por perdida)

$Q = 18.6 \text{ m}^3/\text{seg.}$

$Q = 37.167 \text{ CFM}$

Luego $H = 10.50$ pulg – agua

$H_c = 7.28$ pulg – agua

$H_c = 185 \text{ mm.}$ – agua

Potencia requerida:

$P = 57 \text{ HP.}$

5.9.4 Posibles Sistemas Alternativos de Ventilación

La alternativa de circulación en ductos entre operaciones por impulsión (presión interior negativa), se da por definida a favor de la primera ya que permitirá el uso de ducto (manga) plástico tipo Aecotex F o similar, relativamente económico y plástico con espiral interior tipo Arcotex S, los que permiten operar en presión interior negativa, según disponibilidad y situación.

Como es sabido se tiene la opción de manejar el aire fresco por (inyección) o aire vaciado (evacuación), es preferible el primero, por el control focalizado de la distribución del aire

fresco en el lugar necesario; sin embargo habrá que utilizar la segunda alternativa en caso que el aire vaciado potencialmente pueda contaminar túneles que se desean limpios.

Sistemas con pequeños diámetros en conducción significan abaratamiento en los ductos, pero aumenta la caída de presión con la consiguiente mayor necesidad en los ventiladores, ya sea en su capacidad unitaria o en su cantidad.

5.9.5 Sistemas a Emplear

De acuerdo a las condiciones anteriormente descritas y cumpliendo con los estándares de ventilación vigentes en Chile (Reglamento de Seguridad Minera Decreto N° 72), se detallan a continuación los sistemas a implementar específicamente para la caverna SAG.

a) Ventilación Arco - Techo

Caudal de diseño:	32m ³ /s
Operación en Ducto:	Impulsión de aire fresco a inyectar.
Ducto Plástico F	1000 mm diámetro (limitado por escasez de altura), hasta 30mt.de la frente, avanzando dentro del Túnel de Ventilación (Extracción).
Ventilador 1	1380 mm de diámetro, 1500 RPM sincrónicas, y motor de 150 HP, ubicado en el portal del Túnel de Ventilación (Extracción).
Ventilador 2 (dos ventiladores)	1050 mm de diámetro, 1500 RPM sincrónicas y motor de 61 HP, formando un conjunto en paralelo, ubicados a 150 portal de entrada del Túnel de Ventilación (Extracción).

Evacuación aire viciado: Por Túnel de Ventilación (Inyección).

2. Caverna SAG, Túnel Piloto Inferior

Caudal de diseño:	18.6 m ³ /seg.
Operación en Ducto:	Impulsión de aire fresco e inyectar.
Ducto Plástico F	1000 mm diámetro (limitado por escasez de altura), hasta 30mt.de la frente, avanzando dentro del Túnel de Ventilación (inyección).
Ventilador	1050 mm de diámetro, 1500 RPM sincrónicas y motor de 61 HP ubicados en portal de entrada del Túnel de Ventilación (Inyección), se sugiere tener en standby en apoyo a esta labor un ventilador de 30 HP.

5.5.6 Sugerencias y Consideraciones para la Ventilación

- Cambiar la ventilación extractiva a ventilación por inyección, o combinar las dos formando un sistema óptimo.
- Emplear un sistema de soporte en la instalación del ducto, para mantenerlo lo más horizontal posible. Cuidar el mantenimiento de la manga. Adelantar la manga a los sectores de avance de la obra.
- Tener especial precaución en el mantenimiento de la calidad de combustión de la maquinaria diesel.
- En el calculo se toma como base la potencia nominal de los equipos, llevado a la práctica no es real, la potencia utilizada es menor.
- Los equipos a utilizar deben estar con sus concentraciones de gases en la salida de los tubos de escape dentro de los rangos permisibles; CO: 1500 Ppm y NO + NO₂: 700 Ppm.

- Para sistemas trabajando con inyección de aire exterior en ducto:
 - Montar inicialmente los metros necesarios de ducto rígido, alejado del portal del túnel, como una manera de evitar la respiración de aire viciado que esté saliendo de él.
 - A continuación ya en el inicio del túnel montar el primer ventilador, para empezar de inmediato el trabajo con presión positiva en el interior del ducto.
- Para sistemas con ventilación en Serie:
 - Colocar cada ventilador a cierta longitud del ducto en su descarga, para oponer resistencia y evitar el colapso de este tramo, por presión externa.
 - No exceder en demasía la distancia de montaje de ventiladores sucesivos, respecto lo indicado sobre la base de cálculos, por razón similar a lo expresado en el párrafo anterior.
 - Emplear el ventilador que se juzgue más confiable (en caso de unidades similares).
- La densidad de gases en la frente de trabajo no debe sobrepasar la concentración de 26 Ppm de CO y 1,8 Ppm de NO₂ para una exposición de 8 horas, estas normas son específicas para División Andina.

6.2.- PLANIFICACION

Para la construcción de la Caverna, se utilizara técnicas de programación y control de proyectos que constituye un elemento insustituible en la administración eficiente de la ejecución.

La Programación y Control del desarrollo de la Caverna Sag utilizara los métodos gráficos, que nos facilitan el entendimiento y comprensión de las diferentes etapas del proyecto.

Dentro de los métodos gráficos utilizados podemos señalar: Diagramación de Barras (C. Gantt), Diagramas de Redes o Mallas (CPM) y Curvas de Avance (Curvas " S ").

En la planificación de los trabajos de Construcción de la Caverna Sag, debido a su envergadura, esta se dividió en etapas constructivas:

i). **Eta** **pa N°1 Arco - Techo**, comprende el desarrollo y fortificación del arco techo y labores inferiores a nivel del piso de la caverna y desarrollos verticales.

- **Excavación del arco - Techo**, que comprende el desarrollo de:

Túnel Cuele Caja Este (TCC)

Túnel Central (TEC)

Túnel Caja Oeste (TCO)

- **Excavación de labores Inferiores** (Piso De la Caverna), que comprende el desarrollo :

Túnel piloto Central (TPC)

Galería Aux. Inferior (GAI)

Desarrollo Auxiliar Norte (DAN)

Túnel Acceso Correa 11 (TAC)

- Excavaciones Verticales:

Chimenea Marina (Ch M)

Pique Cara Libre (PLC)

Chimenea Man Way (Ch M W)

ii). **Etapas N° 2 Zanja Central**, comprende la perforación y hundimiento de una zanja central, desde el piso del arco - techo, hasta el techo del túnel piloto central (TPC).

iii). **Etapas N° 3 Banqueo de 5.0 m.** de altura BH5 (dos etapas), comprende la perforación, tronadura y fortificación de los Bancos de excavación, delimitados por la Zanja Central, pegados a los costados Norte, Sur, Este y Oeste de la Caverna. Los bancos tienen una altura de $h = 5$ m (BH5), desde el Arco - Techo de la Caverna, es así que se tiene dos bancos en la vertical.

iv). **Etapas N° 4 Banqueo de 6.0 m.** de altura BH6 (dos etapas), comprende la perforación, tronadura y fortificación de los Bancos de excavación (BH6), delimitados por la Zanja Central, pegados a los costados Norte, Sur, Este y Oeste de la Caverna. Los bancos tienen una altura de $h = 6$ m (BH6), desde el piso de la etapa banqueo BH5, teniendo dos bancos en la vertical.

Cabe mencionar que el primer banqueo, se efectúa en forma completa, en cambio el segundo banqueo se realiza en forma parcial, se realiza esta operación solo por el diseño del sector Norte de la Caverna.

v). **Etapas N° 5 Desquinche Dados y Piso, Terminaciones**, comprende los desquiches de los dados ubicado en la pared Oeste y el piso de la caverna , con la respectiva fortificación de los dados .

6.3.- PROGRAMACION Y CONTROL

- Definición de Proyecto

Existen variadas definiciones de Proyecto, en nuestro caso la que mas se ajusta a nuestros objetivos es la siguiente, " El proyecto en ingeniería es el conjunto total de actividades que van desde la identificación y definición de una necesidad determinada, hasta el momento en que termina la operación o funcionamiento de los dispositivos que producen satisfacción de dicha necesidad "

6.3.1.- Actividad

Todo proyecto se puede dividir en actividades, estos son los elementos en que se realizará la Planificación, para luego proseguir con su correspondiente PROGRAMACIÓN y Presupuesto. Las actividades establecen los límites con el resto del sistema, las ligazones entre actividades se denominan interfaces .

En la programación de actividades, las ligazones deben indicar secuencia o precedencia con respecto a las demás, los trazos se transforman en flechas, cuyo sentido significa precedencia.

- Cantidad de Obra

Se deberán definir la cantidad de obra para cada actividad, recurriendo a planos en que la obra física está representada. Utilizando geometría, física y aritmética, calcularemos volúmenes, superficies, pesos etc., a esta operación se la denomina CUBICACIÓN.

- Duración de la Actividad

Definida la cantidad de obra, se procede a estimar el tiempo necesario para ejecutarla, este concepto se resume en la ecuación:

$$\text{Duración} = \frac{\text{Cantidad de Obra (Cubicación)}}{\text{Rendimiento (Operacional)}}$$

Rendimiento de la Operación

El rendimiento nos permite determinar la duración de cada actividad. El la operación queda a su vez determinado por el rendimiento de la mano de obra , equipo y maquinaria que participan .

El proceso de programación de Proyectos mediante la utilización de técnicas gráficas o de redes, se caracteriza por el desarrollo de una serie de actividades que permiten incorporar en un solo análisis los factores costo y tiempo, para definir el tiempo óptimo de realización de la actividad, en función de la disponibilidad de recursos físicos, humanos, financieros y de tiempo como del mínimo costo de ejecución .

Para realizar toda la programación es necesario contar con los datos de estimaciones de actividades; mano de obra, empleo de maquinaria y materiales, duración de cada actividad etc..

6.3.2.- Carta Gantt

La carta Gantt es un elemento que sirve para representar el desarrollo en el tiempo de un conjunto de actividades.

6.3.3.- Malla de Programación CPM

Este sistema presenta sus actividades como Nodos-Actividad. Las líneas que une los nodos señalan las relaciones de precedencia o secuencia. También se los conoce como Diagramas de Precedencia.

Los nodos pueden ser representados con una gran cantidad de figuras geométricas, la figura utilizada más frecuente es el rectángulo, este puede tener la siguiente información .

Descripción de la Actividad.

Duración de la Actividad.

Fecha de Comienzo

Fecha Término

6.3.4.- Recursos Curva Ocupacional y Equipos.

Como ya se manifestó, el proyecto se divide en actividades, se deberá identificar los tipos y cantidades de obra que conforman cada una, se ha planificado la forma en que se realizan estas obras, con sus respectivas mano de obra y equipos.

La cantidad unitaria de mano de obra comprometida estará condicionada a:

- La forma o modalidad en que se está ejecutando los trabajos.
- La composición de la cuadrilla.
- Rendimiento o productividad de la cuadrilla al realizar el trabajo en la modalidad definida.

6.3.5.- La curva “ S ”

Son curvas de avance o de progreso, nos sirven para efectuar el control de cada objetivo y nos indican como se utilizan los recursos a lo largo del tiempo.

Es un método de representación gráfica de control, permite la verificación del desarrollo del proyecto, mediante la comparación de lo previsto o programado, con lo realmente realizado, y se utiliza para informar del proyecto a niveles de gerencia.

El control de avance permite comprobar que la obra progrese según el programa de trabajo convenido en el contrato. Esta tarea es de responsabilidad de los supervisores de terreno, los que deben tener especial cuidado de controlar las actividades críticas de la obra .

El objetivo de un control de tiempo y avance es detectar condiciones anómalas tendientes a perjudicar el avance del proyecto, algunas de estas son:

- Equipos inadecuados
- Procedimiento de trabajo ineficientes
- Falta de personal calificado
- Interferencias
- Acciones y/o condiciones inseguras etc.

El control de calidad esta dirigido a que el contratista ejecute la obra según las especificaciones técnicas y planos de ingeniería.

6.3.6.- Hitos

Los HITOS son actividades o tareas -Hechos- que no tienen holgura de tiempo para su ejecución y determinan el origen y final de cada camino o ruta crítica parcial .

HITO (evento) _____ fecha calendario en que debe ocurrir

El programa de hitos , tiene carácter general y su finalidad básica es proporcionar información a todos los agentes que intervienen en el proyecto-propiedad, consultores, contratistas y partes interesadas - sobre los hitos a cumplir, incluyendo el de su terminación .

El objetivo de toda programación es establecer fechas en que ocurrirán determinados acontecimientos.

Al destacar las fechas en que deben ocurrir determinados eventos, estamos estableciendo objetivos, la ventaja de establecer hitos sin especificar secuencia de actividades, es una máxima libertad para que éstas sean planificadas y programadas.

Así para la Excavación de la Caverna SAG se tiene establecido los siguientes Hitos, estos volúmenes podrán ser extraídos de cualquier zona de la Caverna, cumpliendo siempre con las normas de seguridad en la excavación :

Nº	FECHA	CANTIDAD ACUMULADA M ³
1	30/ 3	28.900
2	30/5	44.200
3	30/7	66.270
4	30/9	75.660
5	30/11	88.820
6, FINAL	19/13	103.095

La Planificación del proyecto será:

- 1.- Una carta Gantt que mostrara el desarrollo de la Caverna SAG en las Etapas Constructivas.
- 2.- Una malla CPM, representando el programa oficial de Construcción de la Caverna SAG.
- 3.- Curvas S , mostrando el avance de los m³ excavados en comparación de lo programado con lo realizado.
- 4.- Programa de Hitos establecidos.

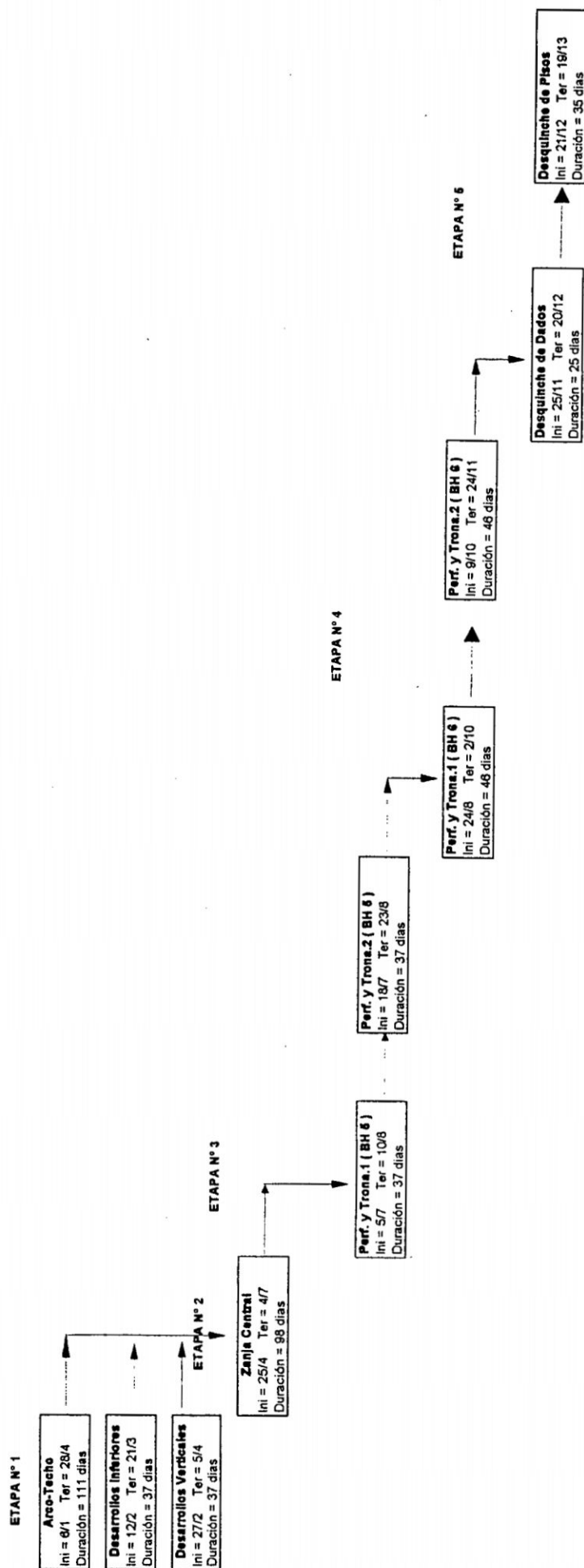
PROGRAMA GENERAL DESARROLLO CAVERNA SAG

LABOR	Duración	Inicio	Termino	MES					
				MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
ETAPA N° 1									
Desarrollo Arco-Techo	82	3/2	28/4						
Túne Cuello Caja Esta TCC	111	8/1	28/4						
Túnel Central TEC	63	24/2	28/4						
Túne Oeste TCO									
Desarrollos Inferiores									
Túne Piloto Central (TPC)	25	12/2	12/3						
Galería Auxiliar Interior (GAI)	27	17/2	15/3						
Desarrollo Auxiliar Norte (DAN)	22	28/2	21/3						
Túne Acceso Correa 11 (TAC)	15	25/2	12/3						
Desarrollos Verticales									
Chimenea Marina (Ch M)	15	27/2	13/3						
Pique Cara Libre (PLC)	31	27/2	28/3						
Chimenea Man Way (Ch M W)	15	21/3	5/4						
Duración Total	111	8/1	28/4						
ETAPA N° 2									
Zanja Central (ZNC)	98	25/4	4/7						
Duración Total	98	25/4	4/7						

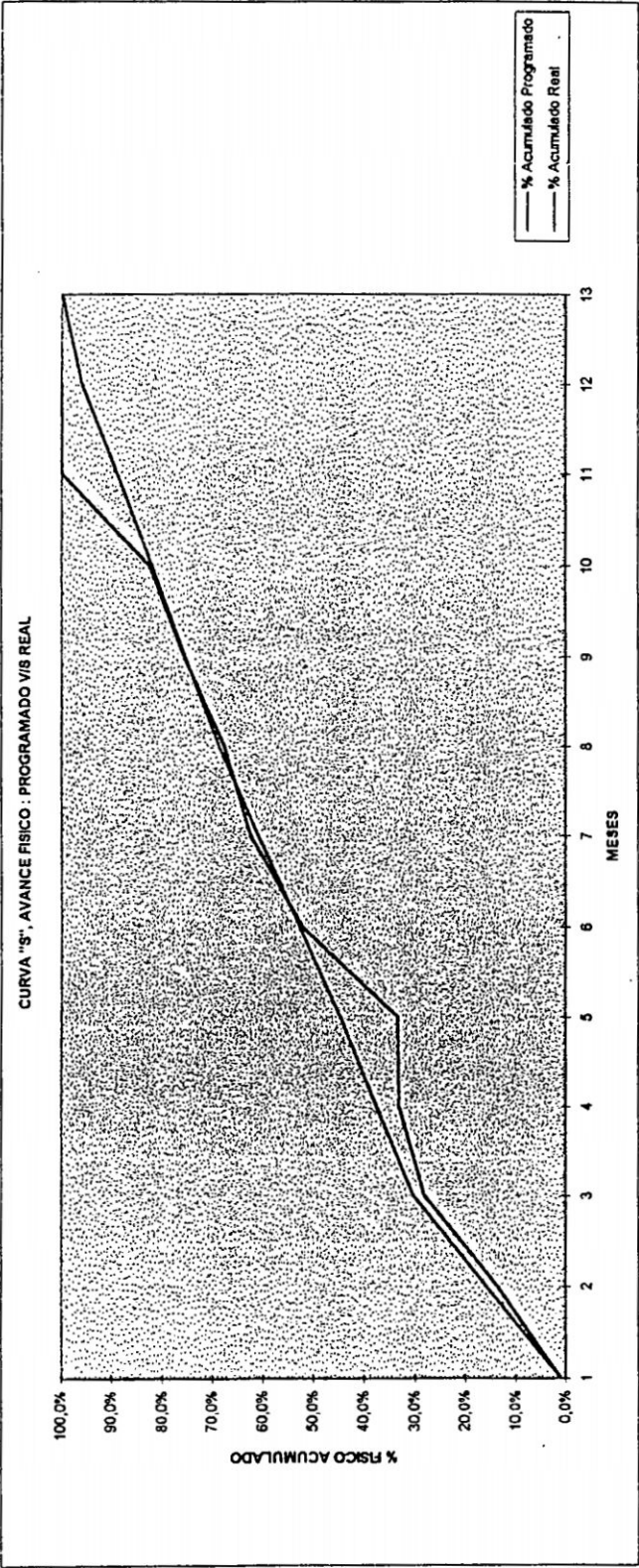
PROGRAMA GENERAL DESARROLLO CAVERNA SAG

LABOR	Duración	Inicio	Termino	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12	MES 13
ETAPA N° 2										
Zanja Central (ZNC)	98	25/4	4/7							
Duración Total	99	25/4	4/7							
ETAPA N° 3										
Banqueo N° 1, BH 5	37	5/7	10/8							
Banqueo N° 2, BH 5	37	18/7	23/8							
Duración Total	74	5/7	23/8							
ETAPA N° 4										
Banqueo N° 1, BH 6	48	24/8	8/10							
Banqueo N° 2, BH 6	48	8/10	24/11							
Duración Total	92	24/8	24/11							
ETAPA N° 5										
Desglinche Dados	25	25/11	20/12							
Desglinche Piso y Terminaciones	35	21/12	19/1							
Duración Total	60	25/11	19/1							
Duración Total	378	8/1	19/13							

CPM PROGRAMA OFICIAL DE LA CAVERNA SAG

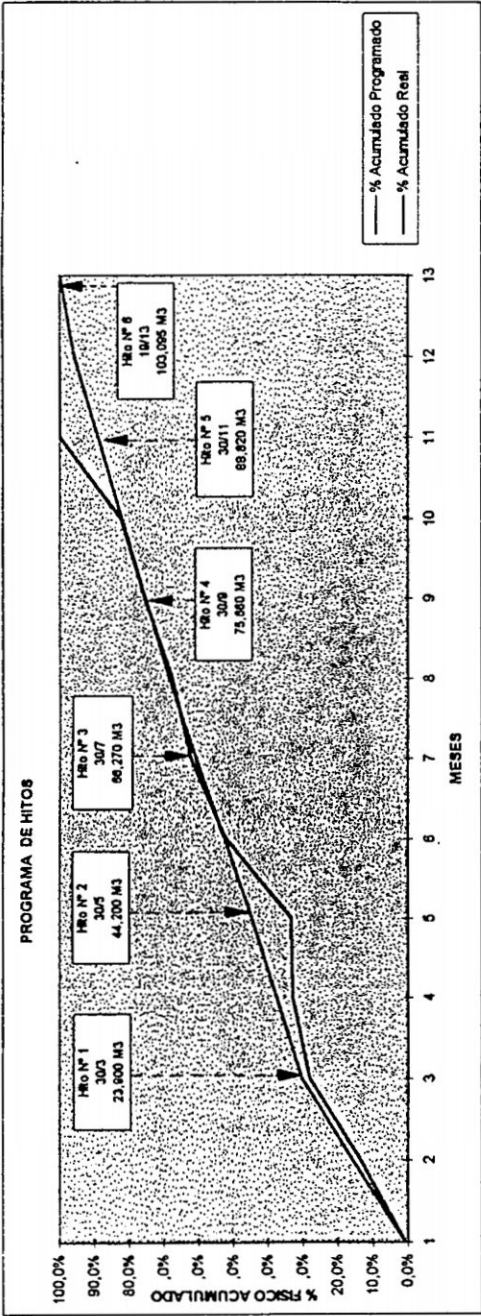


CURVAS "S"



MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Programado Parcial	1,146	15,462	14,815	7,490	7,230	8,324	8,335	8,055	7,037	8,823	7,037	7,235	4,106
Programado Acumulado	1,146	16,608	31,423	38,913	46,143	54,467	62,802	70,857	77,894	84,717	91,754	98,989	103,095
% Acumulado Programado	1.1%	16.1%	30.5%	37.7%	44.3%	52.8%	60.9%	68.7%	75.8%	82.2%	89.0%	98.0%	100.0%
Real Parcial	1,146	13,177	14,815	5,126	0,3	19,4	10,406	5,515	8,287	7,005	17,878	0,04	
Real Acumulado	1,146	14,323	29,138	34,264	34,564	53,964	64,37	69,885	78,172	85,177	103,055	103,095	
% Acumulado Real	1.1%	13.9%	28.3%	33.2%	33.5%	52.3%	82.4%	87.8%	75.8%	82.8%	100.0%	100.0%	

PROGRAMA DE HITOS



MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Programado Parcial	1,146	15,462	14,815	7,490	7,230	8,324	8,335	8,055	7,037	6,823	7,037	7,235	4,108
Programado Acumulado	1,146	16,608	31,423	38,913	46,143	54,467	62,802	70,857	77,894	84,717	91,754	98,989	103,095
% Acumulado Programado	1,1%	16,1%	30,5%	37,7%	44,8%	52,8%	60,9%	68,7%	75,6%	82,2%	89,0%	98,0%	100,0%
Real Parcial	1,146	13,177	14,815	5,126	0,3	19,4	10,406	5,515	8,287	7,005	17,878	0,04	
Real Acumulado	1,146	14,323	29,138	34,264	34,564	53,984	64,37	69,885	78,172	85,177	103,055	103,095	
% Acumulado Real	1,1%	13,9%	28,3%	33,2%	33,5%	52,3%	62,4%	67,8%	75,8%	82,6%	100,0%	100,0%	

Capítulo 7 .- EVALUACION ECONOMICA

7.1 ANTECEDENTES

Este capítulo tendrá como alcance, entregar una visión de la estructura de un precio unitario, el cual involucra los costos directos e indirectos, y a su vez la clasificación de los recursos . Finalizando con la entrega de los costos de fortificación y construcción de la Caverna SAG.

7.2.- ESTRUCTURA DE UN PRECIO

La estructuración de un precio para cada una de las diferentes partidas que conforman una propuesta, queda definida por la suma de los costos directos mas un porcentaje por concepto de Gastos Generales y utilidad que se traduce en Costo Indirecto .

7.2.1.- Costo Directo

En nuestro campo, se entenderá por COSTOS DIRECTOS a todos los que están asociados directamente con la Obra.

7.2.1.1.- Mano de Obra :

Corresponde al costo del personal directo hasta inclusive el nivel de capataces; se debe considerar : salarios, leyes sociales, gratificaciones, regalías, aportes patronales, costo de alojamiento, alimentación, ropa de trabajo y de abrigo, elementos de protección personal y transporte, entre otros.

Mano de Obra no Calificada

Son todos los trabajadores que realizan actividades, cuya ejecución no requiere de estudios ni experiencia previa (jornaleros, ayudantes y todo trabajador sin oficio definido).

Mano de Obra Semicalificada

Son todos los trabajadores que realizan actividades, cuya calificación se obtiene exclusivamente a través de la experiencia práctica y no requiere de estudios previos (choferes, albañil, pintor, carpintero, en general maestros de 2ª).

• **Mano de Obra Calificada**

Todos los trabajadores, hasta el nivel de capataces que ejecuten labores no consideradas en las definiciones anteriores (ejemplo: eléctrico de 1^{ra}, soldador calificado, operadores, capataces, en general maestros de 1^{ra}).

7.2.1.2.- Materiales:

Incluye todos los aportes del constructor en términos de materiales necesarios para ejecutar las obras y sus respectivos fletes, almacenamiento, resguardo, manejo, hasta su colocación en el lugar de las obras

7.2.1.3.-Equipos y Maquinarias:

Incluye equipos de construcción, con sus costos de posesión como depreciación, ej., combustibles y lubricantes, reparaciones, mantenciones, repuestos herramientas y fungibles de obra.

7.2.2.- Costo Indirecto:

Son los que no tienen relación atribuible a un producto y en algunos contextos, con cualquier unidad o proyecto específico de la organización.

Podemos definir como costo indirecto, a los que están relacionados en forma general con la ejecución de la obra, sin embargo no son identificables con una parte de esta , sino que contribuye con distribución variable al conjunto de las labores.

Los costos Indirectos se podrán separar en **COSTOS INDIRECTOS ESPECÍFICOS**, y **COSTOS INDIRECTOS GENERALES**..

Son **Costos Indirectos Específicos** los que ocurren solo en función de las obras. Si esta no se realiza, los costos Indirectos Específicos no existirían. Entran en esta categoría los costos de personal de supervisión hacia arriba, incluyendo a todos los servicios Generales y Administrativos, a condición de estar destacados en la obra. Además del personal, forma parte del grupo los costos financieros.

Costos Indirectos Generales son aquellos que son relativamente independientes de la realización de la obra. Un ejemplo es el Costo de la Oficina Central del Contratista.

Un costo puede ser directo respecto a un criterio de asignación y puede ser indirecto respecto a otro.

Se da el nombre de **Gastos Generales** a la suma de los Costos Indirectos. suele incluirse en esta denominación una partida de reservas para Contingencias .

Utilidad Bruta se considera al excedente por sobre la suma de los costos directos y los Gastos Generales. La calificación de "bruta", indica que se trata de utilidad antes de impuestos. Estos afectarán a la utilidad a nivel de Empresa y a los socios accionistas de la misma a nivel de personas.

1.3 ESTIMACION DE RECURSOS

1.3.1.- Mano de Obra

Según la naturaleza del proyecto es la especialidad que requiere del personal a ocupar, sin embargo cuando se habla de mano de obra, hay que hacer un tratamiento general de aspectos importantes que deben ser considerados para el costo.

Los parámetros que se deben tener presentes al cualificar los costos de mano de obra en faenas mineras son :

Seguro contra accidentes y enfermedades profesionales

Campamento: Alojamiento

Alimentación

Movilización ínter – faena

- Movilización a su habitaad

· Elementos de protección personal según el trabajo que desempeña (casco, botas, Zapatos de seguridad, Cola de seguridad, etc..)

- Sueldos o Salarios
- Sueldo Base
- Bono de premio
- Horas extraordinarias
- Tratos
- Asignación familiar
- Asignación de movilización
- Asignación de Colación
- Gratificación
- Bono riesgo: Cuando el trabajador desempeña una labor considerada de mayor riesgo que la normal (ej. minero de pique)
- Vacaciones proporcionales
- Indemnización por años de servicio
- Desahucio
- Atención medica

7.3.2.- Materiales

El volumen de materiales necesarios para desarrollar una obra, esta directamente relacionada con la magnitud de las partidas. Dado que los materiales tienen un peso importante en la propuesta de construcción minera, es que se debe negociar o cotizar con varios proveedores a manera de tener alternativas de abastecimiento y lograr una reducción de los costos de adquisición. (hay que tener en cuenta la calidad de los productos y los respaldos técnicos) .

Los materiales se pueden agrupar en categorías:

· **Incorporados::** Son aquellos materiales que quedan instalados en la faena; no so recuperables.
Ej. Pernos de fortificación, Cemento, Malla etc.

· **No Incorporados::** Son los materiales que después de usarlos, son recuperados y se pueden aprovechar posteriormente Ej. Canerías de fierro, Cable eléctrico, Moldajes, etc. .

· **Consumibles:** Son los materiales que se gastan o consumen Ej Petróleo, Lubricantes, Neumáticos, Repuestos etc.

7.3.3.- Equipos

Selección de Equipos

Para llevar a cabo la selección de los equipos a utilizar, se tiene que considerar algunos parámetros, como:

Rendimiento

El primer paso en la selección de un equipo es calcular la capacidad productiva que necesita el proyecto y comparar esa necesidad con la capacidad que puede dar el equipo, calculándose en base a parámetros como : capacidad de transporte, velocidad del equipo, velocidad de perforación, etc.

Normas

Cada mandante tiene sus propias reglamentaciones, las que deben estudiarse para lograr una buena adaptación del equipo a ellas , Ej. Año de fabricación, Seguridad, etc. .

Tamaño

El tamaño del equipo va a depender de los radios de giro de las curvas, la longitud de las estocadas de carguío, el ancho y el alto de las galerías, etc. .

Ubicación

En la ubicación de la obra influye: La temperatura y la presión atmosférica del lugar .

En las faenas donde las temperaturas son menores de 0°C, se va a presentar el problema de congelamiento en los líquidos, en las personas, etc..

· Ventilación

La presencia de polvos en suspensión, gases tóxicos, etc. Producto del trabajo de los equipos, deben ser controlados y reducir sus concentraciones a valores permisibles.

· Otros factores

Asistencia técnica, disponibilidad de repuestos, representante en el país de la marca escogida, disponibilidad de mano de obra especializada, etc.

1.4.- COSTOS UNITARIOS

Todas las cantidades están en Pesos Chilenos. El cambio con respecto al Dólar Norteamericano en la fecha es de 412 Pesos por Dólar.

1.4.1.- Costo de Excavación Caverna SAG (M³)

Excavación Caverna Sag				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Insumo	Monto total
Palomero H-352	HR	0.0110	79,360.00	872.96
Palomero H-282	HR	0.0110	79,360.00	872.96
Bucina	HR	0.0181	16,217.00	293.53
Transformadores	GL	0.0001	1,000,000.00	100.00
Compresor 750 cfm	MES	0.0002	2,017,389.00	403.48
Compresor 2000 cfm	MES	0.0001	1,476,138.00	147.61
Cargador ANFO	MES	0.0002	41,177.00	8.24
Cargador 966 - C	HR	0.0154	37,835.00	274.66
Cargador 950 - E	HR	0.0154	37,835.00	274.66
Camión Tolva	DIA	0.0074	78,000.00	577.20
TOTAL EQUIPOS				3,825.30

Petróleo Diesel	LT	3,5240	131.70	464.11
Powergel	KG	0.1475	671.71	99.08
Softrom P44	KG	0.0595	2,164.34	128.78
Fulminante Nonel	UN	0.9709	677.34	251.23
Fulminante a Fuego	C/U	0.0089	239.45	2.13
Denacord	MT	2.5364	78.03	197.92
Guía de 10'	MT	0.0268	151.66	4.06
Ironex	KG	0.1231	826.44	102.56
Anfo	KG	0.9647	245.11	236.51
Alambre Mensajero	ML	0.0140	500.00	7.00
Cañería de D = 2"	ML	0.0050	1,206.00	6.03
Cañería de D = 4"	ML	0.0050	1,680.00	8.40
Cañería de D = 4"	ML	0.0089	5,371.00	47.80
Cañería Drenaje	ML	0.0050	1,680.00	8.40
Soportes	UN	0.0020	2,500.00	5.00
Cáncamo Cañ. Av.	UN	0.0050	1,500.00	7.50
Barra R38 - R32 14'	C/U	0.0012	112,560.00	135.07
Dopla R38 - R32	C/U	0.0012	29,638.00	35.57
Culatin 38 mm.	C/U	0.0004	82,320.00	32.93
Bits 45 mm	C/U	0.0058	25,172.00	146.00
Adaptador Piloto	C/U	0.0001	78,764.00	7.98
Escariador 102 mm	C/U	0.0001	149,408.00	14.94
Barrena Serie 12 L= 0.8 m	C/U	0.0001	29,232.00	2.92
Barrena Serie 12 L= 1.6 m	C/U	0.0001	32,074.00	3.21
Barrena Serie 12 L= 2.4 m	C/U	0.0001	34,916.00	3.49
Barrena Serie 12 L= 3.2 m	C/U	0.0001	35,780.00	3.58
Cable eléctrico	ML	0.0010	51,023.00	51.02
Manga Anillada	MT	0.0020	11,698.00	23.40
Manga Lisa	MT	0.0160	4,500.00	72.00
TOTAL MATERIALES				2,108.52

Capataz Minería	HD	0.0147	18,504.00	272.01
Op. Scoop - Pala	HD	0.0184	15,513.00	285.44
Perf. Jumbo	HD	0.0147	15,513.00	228.04
Chimenero	HD	0.0006	16,789.00	10.07
Perf. P. Manual	HD	0.0015	14,414.00	21.62
Eléctrico	HD	0.0006	12,764.00	7.66
Cañonero	HD	0.0006	12,764.00	7.66
Chofer	HD	0.0222	12,105.00	268.73
Ayte. Minero	HD	0.0180	11,610.00	208.98
Pañolero	HD	0.0003	10,793.00	3.24
Alarife	HD	0.0147	10,793.00	158.66
Ayte. General	HD	0.0705	10,793.00	760.91
TOTAL MANO OBRA				2,233.02

Total Costo Directo	\$ 8,166.84
Total C. Indirecto (10.77 %)	\$ 879.36
Precio Unitario de la Partida	\$ 9,046.20

7.4.2.- Costo de Fortificación Pernos (L = 6 m.)

Unidad	UN.			
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Insumo	Monto total
Jumbo H-282	HR	0.1000	76,144.00	7,614.41
Plataforma	HR	0.0015	984,092.00	1,476.14
Lechadora	MES	0.0078	12,000.00	93.60
TOTAL EQUIPOS				9,184.15

Cemento especial Melo	SACO	0.3376	2,541.00	857.84
Tricosal	KG	0.4305	700.00	301.35
Perno Anclaje L = 6 m.	UN	1.0000	0.00 (*)	0.00
Barra R32 - R28	C/U	0.0048	76,734.00	368.32
Barra R32 - R32	C/U	0.0048	16,240.00	77.95
Culatin Hembra	C/U	0.0018	58,464.00	105.24
Bits 38 mm	C/U	0.0240	25,172.00	604.13
Habilitación Jumbo	GL	0.1000	6,029.00	602.90
TOTAL MATERIALNES				2,917.73

Perf. Jumbo	HD	0.0231	15,513.00	359.35
Perf. P Manual	HD	0.0316	14,414.00	455.48
Byte. Minero	HD	0.1179	11,610.00	2,182.65
TOTAL MANO DE OBRA				2,182.65

Total Costo Directo	\$ 14,284.53
Total C. Indirecto (10.77 %)	\$ 1,538.09
Precio Unitario de la Partida	\$ 15,822.62

7.4.3.- Costo de Fortificación Malla Inchalam 10010

Unidad	M ²			
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Insumo	Monto total
	d			
Andamio	MES	0.0003	50,000.00	15.00
TOTAL EQUIPOS				15.00
Malla 10006	M ²	1.3560	0.00 (*)	0.00
TOTAL MATERIALNES				0.00
Perf. P Manual	HD	0.0136	14,414.00	196.03
Ayte. Minero	HD	0.0680	11,610.00	789.48
TOTAL MANO DE OBRA				985.51

Total Costo Directo	\$ 1,000.51
Total C. Indirecto (10.77 %)	\$ 107.73
Precio Unitario de la Partida	\$ 1,108.24

7.4.4.- Costo de Fortificación Malla Acma C - 139

Unidad	M ²			
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Insumo	Monto total
	d			
Andamio	MES	0.0009	50,000.00	45.00
TOTAL EQUIPOS				45.00
Malla Acma C-139	M ²	1.3560	0.00 (*)	0.00
TOTAL MATERIALNES				0.00
Perf. P Manual	HD	0.0136	14,414.00	196.03
Ayte. Minero	HD	0.0680	11,610.00	789.48
TOTAL MANO DE OBRA				985.51

Total Costo Directo	\$ 1,030.51
Total C. Indirecto (10.77 %)	\$ 110.96
Precio Unitario de la Partida	\$ 1,141.47

7.4.5.- Costo de Fortificación Shotcrete

7.4.5.1.- Shotcrete 1ª Capa

Unidad	M ²			
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Insumo	Monto total
	d			
Andamio	MES	0.0262	50,000.00	1,310.00
Camión Mixer	HR	1.8800	14,520.00	27,297.60
Shotcretera	ES	0.2071	301,502.00	62,441.06
TOTAL EQUIPOS				91,049.66
Shotcrete	M ³	2.0000	83,909.00	167,818.00
Petroleo Diesel	LT	20.6800	131.70	2,723.56
TOTAL MATERIALES				170,541.56
Pitonerero Shotcretero	HD	0.8436	15,513.00	13,086.77
Perf. P. Manual	HD	0.8436	14,414.00	12,159.65
Chofer	HD	0.7050	12,105.00	8,534.03
Ayte. Minero	HD	2.5308	11,610.00	29,382.59
TOTAL MANO DE OBRA				63,163.04

Total Costo Directo	\$ 304,753.26
Total C. Indirecto (10.77 %)	\$ 31,967.81
Precio Unitario de la Partida	\$ 359,721.07

7.4.5.1.- Shotcrete 2ª Capa

Unidad	M ²			
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Insumo	Monto total
	d			
Camión Mixer	HR	0.4245	14,520.00	6,163.74
Shotcretera	MES	0.1728	301,502.00	52,099.55
TOTAL EQUIPOS				58,263.29
Shotcrete	M ³	2.0000	83,909.00	167,818.00
Petróleo Diesel	LT	4.6695	131.70	614.97
TOTAL MATERIALNES				168,432.97
Pitonerio Shotcretero	HD	0.6488	15,513.00	10,084.83
Perf. P. Manual	HD	0.6488	14,414.00	9,351.80
Chofer	HD	0.1592	12,105.00	1,927.12
Ayte. Minero	HD	1.9464	11,610.00	22,597.70
TOTAL MANO DE OBRA				43,941.45

Total Costo Directo	\$ 270,637.71
Total C. Indirecto (10.77 %)	\$ 29,140.92
Precio Unitario de la Partida	\$ 299,778.63

Resumen de Costos

Costo Excavación Caverna Sag (M ³)	\$ 9,046.20 / M ³
Costo Fortificación Pernos L = 6 m.	\$ 15,822.62 UN
Costo Fortificación Malla Inchalam 10006 (M ²)	\$ 1,108.24 M ²
Costo Fortificación Acma C - 139 (M ²)	\$ 1,141.47 M ²
Costo Fortificación Shotcrete 1ª Capa	\$ 359,721.07 M ²
Costo Fortificación Shotcrete 2ª Capa	\$ 299,778.63 M ²

7.5.- CONSIDERACIONES EN LOS PRECIOS

Al determinar el calculo del costo de una actividad, se tiene que recurrir al análisis de una diversidad de parámetros inherentes a dicha actividad, para el caso de la Caverna se consideren los siguientes :

Protecciones : tapados de madera y/o goma para equipos cercanos a la tronadura

Tiempo ; Involucrado en los trabajos de acuerdo a rendimientos y dificultades del sector

Costos estimados; cada fase de la actividad es objeto de un estudio y análisis para determinar el conjunto de métodos y procedimientos para ejecutarlo .

Costo Histórico : La información se obtiene por acumulación de los costos en que se ha incurrido en la ejecución de un trabajo finalizado y de características similares .

Alternativas de marina

Equipos necesarios

Mano de Obra especializada

Interferencias y otros .

Capítulo 8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- CONCLUSIONES

- General

•1 Las cavernas son excavaciones subterráneas de grandes dimensiones que son utilizadas para diversos fines tales como depósito de líquidos, casas de máquinas, recintos militares, etc. y en la última década su construcción se ha incrementado. Se caracterizan estos recintos subterráneos por tener una sección superior a los 100 m² o una luz mayor a los 15 m., y en muchos casos la elección del emplazamiento está condicionada por las características de los macizos rocosos, ya que se persigue que el terreno sea lo más autosuficiente.

•2 Para determinar la metodología de construcción de una caverna, se deben considerar las características o situaciones propias del lugar, es decir presencia o cercanía de equipos estacionarios, estructuras, correas transportadoras, personal, etc.

- Respecto Geología y Geotécnica

•1 En la construcción de cavernas, es indispensable el conocimiento previo lo más completo posible de las características geológicas y resistencia del macizo, régimen de tensiones y deformaciones finales en torno de la excavación, con la finalidad de poder llegar a un diseño que sea a la vez racional, seguro y económico.

•2 Con el estudio Geológico y Geotécnico acabado se puede determinar la existencia de puntos críticos durante la construcción, es decir, distintos tipos de roca y sus contactos, fallas, fracturas, plegamientos, grado de fracturamiento, presencia de agua, etc..

Según estos antecedentes debidamente interpretados podrían ocurrir posibles variaciones del trazado de la caverna, optar por métodos de excavación más recomendables,

eterminar los tipos y cantidades aproximadas de sostenimiento y por ultimo obtener el costo total de la obra (consideraciones necesarias si la calidad de la roca es mediocre) . Es por ello la importancia del apoyo geológico y geotécnico tanto en la elaboración del proyecto como durante la ejecución .

•3 El estado tensional de la caverna es bajo o poco importante, teniendo mínima probabilidad de ocurrencia asociados a concentración de esfuerzos. Para la construcción de cavernas deben considerar los estados de tensiones iniciales, además no basta con medir el estado final de la obra, hay que tener en cuenta los estados intermedios, porque en el proceso de excavación introduce modificaciones en las tensiones y deformaciones y en definitiva, en el propio comportamiento del material .

•4 Las tensiones y deformaciones iniciales y finales en el contorno, predeterminadas a partir de análisis teóricos y/o estudios de modelos, tienen también un valor solo aproximado debido a los numerosos factores que intervienen (presiones primarias, propiedades mecánicas del macizo, forma y tamaño de la caverna, métodos y etapas de excavación, tipo de sostenimiento y momento en que se coloca, etc..

Pese a estas dificultades, los análisis y estudios previos constituyen una guía fundamental para el proyectista, ya que al permitirle comprender el fenómeno real, posibilitan la elaboración del diseño correcto .

•5 La geología estructural donde se ubica la caverna SAG, se resume en las siguientes características: El tipo de roca donde se excavará esta obra es la granodiorita Río Blanco, que es un macizo rocoso masivo y competente Barton $Q=36$. Presenta un solo sistema estructural claramente predominante de rumbo aproximado E-W y manteo subvertical, el macizo presenta condiciones hidrogeológicas favorables seco o con muy poca agua. Las condiciones descritas y muchas más son todas siempre favorables para la excavación, disminuyendo la probabilidad de la ocurrencia asociados a concentración de esfuerzos.

•6 La diferencia de los túneles en relación con las Cavernas, consiste en que el trazado o puede ser 100% favorable respecto a las condiciones geológicas, las cavernas pueden ser ubicadas en la posición y orientación mas convenientes, aminorándose de este modo los problemas de estabilidad derivados a sus grandes dimensiones. Respecto a su posición, deben ser ubicadas en roca de buenas características geotécnicas, con el mínimo de efectos tales como falla, fracturamiento excesivo, zonas alteradas, etc. .En cuanto a su orientación, debe evitarse que grandes superficies laterales altas, queden paralelas a planos de discontinuidades importantes; por el contrario , se debe procurar cruzarlas en forma normal .

- Método Constructivo

•1 Existe condiciones importantes que deben cumplir este tipo de excavaciones; podemos enunciar las siguientes: estas cavernas se deben construir en rocas de buena calidad $Q > 10$ (en lo posible), las mismas que se ubicarán cercanas a la superficie, debido a que la fortificación aumenta significativamente cuando la roca es normalmente de mala calidad y la labor se ubica a una profundidad considerable. Desde el punto de vista técnico de quebrar la roca, la construcción de cavernas utilizando perforación y voladura continua no difiere de la excavación de túneles de grandes dimensiones. El método para construir cavernas puede variar debido a diversos factores como: geometría, ubicación, objetivo, tiempo etc., en definitiva la literatura cita los siguientes métodos más usados.

1. Banqueo horizontal.
2. Túnel piloto con desquinche.
3. Banqueo vertical.

Los tres métodos fueron estudiados en forma rigurosa como alternativas para la excavación de la caverna SAG. El primer método fue sugerido por División Andina en las bases de licitación del contrato , el segundo método fue propuesto en la oferta técnica por parte de la empresa constructora y finalmente fue elegido el tercer método después de un estudio en el que influyó directamente la disponibilidad de tiempo y la calidad de macizo rocoso, constituyéndose así en el definitivo de excavación de la caverna SAG.

•2 La caverna SAG presenta una geometría relativamente simple, en comparación con otras cavernas, podemos asumir una sección típica rectangular abovedada. Dada la forma de esta lo primero que se excavo fue el arco - techo, dividiéndose en partes de desarrollo, cuyas alturas pueden fluctuar entre 5 - 8 m, esta dimensión depende de los equipos a utilizar (carguero , Transporte , fortificaciones etc.) .

Se crea una Zanja central por el eje longitudinal de la caverna creando la cara libre para los futuros bancos. Posteriormente la altura restante se dividió en bancos pudiendo variar 4 - 6 m. dependiendo del equipo a utilizar (perforación , fortificación) y los accesos mas convenientes para el desarrollo del banqueo .

•3 En conclusión para los desarrollos del Arco Techo, las dimensiones recomendadas varían de H = 5 - 8 m. (incluso menos) dependiendo de los equipos y fortificación a utilizar el que debe recordar si las características de la roca son mediocres, se debe hacer un estudio de la metodología de construcción). Para el caso del banqueo, las alturas de los banco varían de 4 - 6 m., ya que presentan facilidad en la perforación y manejo del banco, este método requiere del apoyo de desarrollos horizontales y del mayor número de acceso que permitan la facilidad de transportar la roca y equipos.

•4 El banqueo realizado a partir de la segunda etapa, permite alcanzar excelentes rendimientos en la excavación , es así que se logró adelantar casi en dos meses la terminación de esta caverna,

- Perforación y Tronadura

•1 En la excavación de la caverna SAG, se realizó estudios del control de las vibraciones , para la etapa de hundimiento de la Zanja Central, por considerarse la etapa de construcción que presenta mayor riesgo, debido a la cantidad de material a remover y el alto consumo de explosivos, que será detonada cerca del Molino Unitario Sag (Concentrador y obras mineras distantes), Se obtuvieron satisfactorios resultados, logrando no provocar daños en estas instalaciones ni afectar a los sensores de detención por vibración incorporado .

•2 Para lograr obtener la cantidad de carga por retardo en la zanja central , se diseña un diagrama de disparo con cargas seccionadas, se las denomina carga de fondo y de columna, a pesar de ser muy semejantes, estas son separadas con un taco inerte de un metro de altura.

.- Planificación

.1 De los antecedentes entregados en este trabajo se concluye que las técnicas de programación y Control constituyen una herramienta de apoyo fundamental para la eficiente administración de proyectos, esta técnica cobra importancia en la medida que los proyectos se tornan más complejos , debido a la participación de un mayor número de variables externas, lo que hace más difícil su organización coherente.

.2 Se entiende como programación al proceso de tomar decisiones de todo tipo, con la finalidad de corregir los errores en las estimaciones iniciales de cantidades de obra, rendimientos alcanzables y recurso disponibles. La programación es una tarea donde participa un equipo multidisciplinario de experiencia, el que debe vigilar que la programación sea responsablemente administrada, las deficiencias en la programación como es la errónea cuantificación de las obras, traería como consecuencia, la falta de recursos, atrasos, mayores costos debidos a la aceleración para ponerse al día, modificación de programas etc.

.3 El control de la programación requiere ser organizado y administrado bajo una unidad de programación. La medición del avance físico requiere establecer criterios comunes para integrar los avances de todas las actividades por más diversos que estos sean. Estos criterios utilizados deben ser coherentes con la programación y deben ser utilizados por todos los que intervienen en el proceso .

2.- RECOMENDACIONES

Respecto a la Capacitación y Riesgos asociados

- Es importante resaltar que la importancia en la éxito de este trabajo, es la capacitación el personal sobre la metodología de trabajo y todas las operaciones unitarias involucradas, haciendo hincapié en los riesgos asociados y sus consecuencias
- Aumentar la preparación y aplicación de los procedimientos de trabajo para todas las operaciones unitarias.

Respecto a las medidas de control de riesgos consideradas en la operación

- Los Jefes de Turno y Capataces responsables de las operaciones deben ser los responsables de instruir a su personal y luego controlar la aplicación de todos los procedimientos de trabajo inherentes a la operación, dejando un registro escrito de dicha instrucción.
- El personal debe usar en todo momento los elementos de protección personal que le fueron entregados y respetar las normas de seguridad que emanan del Departamento de Prevención de Riesgos, de sus Supervisores, de División Andina y además, de las que la ITO estime conveniente para hacer mas seguro los trabajos.
- Todos estos elementos de protección personal deben estar en condiciones óptimas de uso, serán cambiados ante cualquier anomalía o deterioro.
- Los sectores en operación deben resguardarse con loros ya sea prohibitivos o reventivos.
- Los equipos y/o materiales deben estar en perfectas condiciones de uso, serán cambiados o reparados por personal especializado ante toda falla o deterioro encontrado.

- 1• El área o espacio físico en donde se desarrollen los trabajos, deben estar iluminados (focos halógenos), limpios, ordenados y ventilados.
- 1• Mantenerse una acuñadura permanente de las cajas y techo del área en operación antes, durante y después de realizarse los trabajos).
- 0• Las maquinas perforadoras, equipos de perforación electrohidráulicos, de carguio y el resto del equipo y herramientas siempre se debía retirar del área de trabajo, dejándolo ordenado en un lugar protegido, previo a quemar.
- 1• Para la manipulación de explosivos, deberá haber un estricto cumplimiento del Decreto 72 y de la Ley 17.798, de Control de Armas y Explosivos, y todo el personal debe contar con su Licencia de Manipulador de explosivos actualizada.

ANEXO N° 1

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

Clasificación del Macizo Rocosó del Sector Caverna SAG de acuerdo a la

- CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI .

Parámetro de Clasificación	Valor	Evaluación
1. Resistencia de material inalterado	220 MPa	12
2. R.Q.D.	70 - 90%	17
3. Espaciamiento de las fisuras	1 - 3 m	20
4. Estado de las fisuras	Superf. ondulosas	15
5. Agua Subterránea	Agua pres.muy baja	7
TOTAL		71

Como conclusión de acuerdo al puntaje obtenido para las condiciones del sector SAG y de acuerdo a la metodología Bieniawski se tiene una roca de tipo Clase II, Roca Buena.

De acuerdo al puntaje (rating) obtenido podemos conocer el ángulo de fricción interna y el valor de la cohesión:

Angulo de Fricción Interno = 35-45° ; Cohesión = 300 - 400 MPa.

- INDICE DE CALIDAD (BARTON) Q

Es un sistema cuantitativo basado en estadísticas de historias de excavaciones subterráneas. El sistema Q está basado en una valoración numérica de la calidad de la roca utiliza la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \frac{J_r}{J_a} \frac{J_w}{SRF}$$

RQD Índice de Calidad de la Roca de Deer.

Jn número de sistemas de fisuras (joint set number).

Jr número de rugosidad de las fisuras (joint roughness number)

- Ja número de alteración de las fisuras. (Joint alteration number)
- Jw factor de reducción por agua en las fisuras (joint water reduction)
- SRF factor de reducción por esfuerzos (stress reduction factory).

En definitiva se observa que este sistema considera solo tres parámetros que son :

- | | |
|---------------------------------------|----------|
| 1. El tamaño de los bloques | RQD/Jn |
| 2. Resistencia al corte entre bloques | Jr / Ja |
| 3. Los esfuerzos activos | Jw / SRF |

Dimensión Equivalente

El valor Q está relacionado con el requerimiento del soporte del túnel, definida por las dimensiones equivalentes de la excavación, esta dimensión equivalente es función del tamaño y el propósito de la excavación, esta se obtiene al dividir el ancho diámetro o altura de la excavación por una cantidad llamada " relación de soporte de la excavación" (ESR: excavation support ratio).

$$\text{Dimensión Equivalente} = \frac{\text{luz o altura}}{\text{E S R}}$$

Tipo de Excavación	Valor de ESR
A. Excavaciones mineras provisionales	3 - 5
B. Excavaciones mineras permanentes, túneles de obras civiles etc.	1.6
C. Cámaras de almacenamiento, cavernas para el tratamiento de aguas túneles carreteros, cámaras de alta presión etc.	1.3
D. Casa de máquinas, túneles carreteros y ferrocarriles mayores, refugios de defensa civil, portales, cruces de túneles.	1.0
E. Estaciones nucleares, de ferrocarril, instalaciones para deporte etc.	0,8

Clasificación del Macizo Rocos del Sector Caverna SAG de acuerdo a la Clasificación de Barton (Q)

Concepto	Descripción	Valor
1. Calidad de roca	buena	90%
2. Sistema de fisuras	un sistema + aisladas	3
3. Rugosidad de fisuras	rugosas irregulares	3
4. Estado de fisuras	fisuras inalteradas	1
5. Estado del agua en las fisuras	seco	1
6. Reducción de esfuerzos	fract. aisladas, bajos esfuerzos	2,5

$$RQD = 115 - 3.3 J_v = 115 - 3.3 \times 7 = 90 \%$$

$$Q = 90/3 \times 3/1 \times 1/2,5 = 36$$

De acuerdo a la tabla logarítmica de Barton pertenece a una Roca de Buena Calidad por encontrarse en el intervalo $10 < Q < 40$

FORTIFICACIÓN EN LA CAVERNA SAG

Fortificación del Arco - Techo de la Caverna SAG

La fortificación del arco - techo, consiste en :

Se perfora y se coloca los pernos fortificación de 6 m. de longitud y 22 mm de diámetro, los que se anclarán con lechada de cemento en el fondo de la perforación, teniendo una longitud de 1,2 m. una vez fraguada la lechada, se colocará la malla ACMA C-139 (100x100x4.2) y se tensarán los pernos a la tensión solicitada de 6 ton. , una vez tensado los pernos se llenan con lechada de cemento y se coloca la placa al perno, se aplicarán dos capas de hormigón proyectado logrando un espesor total de 5 cm .

Fortificación de las Paredes de la Caverna SAG

Los pernos tienen igual característica a los usados en el Arco - Techo la colocación consiste en perforar y lechar en forma completa los pernos de fortificación de 6 m de largo y 22 mm de

diámetro, se coloca la malla INCHALAM 10006, y se aplicarán las capas de hormigón proyectado, definidas en el proyecto de 5 cm , hasta una altura de 4 m bajo el spring line el resto de la pared es sin shotcrete .

En resumen las características generales de la fortificación son las siguientes:

Pernos de Anclaje Helicoidal:

- Longitud : 6 m
- Diámetro : 22 mm
- Placa : 200 x 200 x 4 mm
- Tuerca : Esférica
- Tensado : 6 Toneladas
- Lechada de Cemento : 1 saco de cemento + 12 lts. de agua + 3 lts. sika 4-A
+ Expansor de cemento.

Malla de Acero:

- Soldada de 100 x 100 x 4.2 mm Acma C - 139
- No soldada de 100 x 100 x 6 mm Inchalam 10006

Shotcrete :

Propiedades Principales	
Resistencia característica a compresión a 28 días	250 Kgf / cm ²
Tamaño máximo de árido	12 mm
Cemento tipo de grado	Puzolánico
Activo tipo de producto	Acelerante SIGUNIT

En el caso de la caverna SAG, el sostenimiento se podría diseñar utilizando el sistema Q de Barton (HoeK et al., 1995), con los siguientes parámetros de ingreso:

Datos

- Indice Q : 40
- Razón ESR : 1.3
- Luz Libre : 27 m

Con lo que se obtiene una retícula de 1,5 a 2,0 m de espaciamiento entre los pernos de anclaje, con longitudes de perno de 5 a 6 m, lo cual coincide razonablemente con los diseños aprobados para la caverna SAG.

Según lo anterior el sostenimiento definitivo para la caverna SAG se encuentra de acuerdo con los diseños empíricos. La cantidad de fortificación puede parecer demasiado para las características del macizo rocoso, pero se recomienda no reducir los estándares menores que los deducidos por la recomendación empírica (Barton), debido a la importancia de la obra y la relación que existe el costo de fortificación y la inversión necesaria para la instalación de la planta .

La fortificación en general se deberá colocar a la brevedad posible, una vez que cumpla con los límites teóricos de la excavación .

ANEXO N° 2

EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS

EXPLOSIVO

Lo ideal es que para la elección de un explosivo se analice la resistencia al agua, potencia, densidad y costo . En nuestro caso se utilizo explosivo ANFO , por las condiciones del macizo rocoso el cual presenta poca o nada contenido de agua, y el bajo costo de adquisición .

Las características del explosivo utilizado en el desarrollos de las Labores, tanto en forma horizontal como vertical, se describen a continuación .

ANFO A GRANEL

El **ANFO** es un agente de tronadura de alta calidad, fabricado con nitrato de amonio grado explosivo de baja densidad y alta absorción de petróleo.

CARACTERISTICAS

Densidad	(gr/cc)	0.78 +/- 3%
Velocidad de Detonación	(m/s)	3500 - 3900
		2600 - 3000
Presión de Detonación	(Kbar)	26
Energía	(Kcal/ Kg)	912
Volumen de Gases	(L/Kg)	1.050
Diámetro Crítico	(Pulgadas)	2
Resistencia al Agua		No tiene

USOS

El ANFO a GRANEL es un agente de tronadura de bajo costo, recomendable para la minería subterránea, en zonas de buena ventilación, y para tronaduras de superficie, especialmente cuando se desea una moderada concentración de carga .

Explosivo utilizado en el desarrollo horizontal que comprende las labores del arco - techo, labores nivel del piso de la Caverna , además los tiros largos de la zanja central y los banquetes de H = 5 y H = 6 m altura .

INICIADORES CILINDRICOS APD

Los **INICIADORES CILINDRICOS APD** (Alto Poder Detonante) son cargas explosivas de alta potencia y gran seguridad por ser insensibles a los golpes o roces. EL INICIADOR CILINDRICO APD, es el mas eficiente iniciador de agentes de tronaduras que se fabrica y es especialmente recomendado para diámetros medianos y grandes .

CARACTERISTICAS

Densidad	(gr/cc)	1.62+/- 3%
Velocidad de Detonación	(m/s)	7.300+/- 3%
Presión de Detonación	(Kbar)	216
Energía	(Kcal/ Kg)	1338
Resistencia al Agua	(Hr)	Ilimitada
Volumen de Gases	(L/Kg)	692
Potencia relativa al ANFO	en Peso	1.33
	en Volumen	2.69
Primado mínimo	Cordón detonante de 5 g/m para APD de 150 g y de 10 g/m o fulminante N° 6 PARA APD de 225 g y mayores	
Primado Optimo	detonador n° 8, electrico o no eléctrico, o mayor	

DIMENSIONES

Producto	APD – 225
Peso Unidad (gr)	225
Diámetro (pulgadas)	1 ¾
Largo (pulgadas)	3 ¾
Unidades por caja	100
Peso Caja (Kg)	22.5

Explosivo utilizado para la iniciación del ANFO, ocupado en la etapa de la tronadura de la zanja central y los banqueos BH5 y BH6 .

SOFTRON

EXPLOSIVO PARA TRONADURA AMORTIGUADA

SOFTRON es un explosivo de bajo poder rompedor, especialmente diseñada para trabajos de tronadura controlada, donde es necesario obtener un perímetro parejo con un mínimo de sobreexcavacion y para minimizar la tensión y la fractura de la roca mas allá de la línea de contorno.

SOFTRON se presenta en tubos rígidos atornillables de polietileno.

CARACTERISTICAS

Densidad	(gr/cc)	1. 19
Velocidad de Detonación	(m/s)	3.200
Presión de Detonación	(Kbar)	66
Energía	(Kcal/ Kg)	884
Resistencia al Agua	(Hr)	12
Volumen de Gases	(L/Kg)	825
Potencia relativa al ANFO	en Peso	0.94
	en Volumen	1.40

DIMENSIONES

TAMAÑO	UNIDADES POR CAJA	PESO UNIDAD	PESO CAJA
11/16 X 20	130	154 g	20 Kg

Explosivo utilizado en la periferia de los desarrollos del arco - techo , desarrollos al nivel del piso de la Caverna, y desquinche laterales después del banqueo, con esto se logra obtener una pared de corte parejo (voladura controlada) .

TRONEX 2

SEMIGELATINA DE USO GENERAL

TRONEX 2 es una dinamita semigelatina, ampliamente utilizada en trabajos de superficie y faenas subterráneas (excepto en minas de carbón). Las semigelatinas poseen alta velocidad de detonación, incluso en condiciones de confinamiento deficiente. También gran aplicación como iniciadores de Anfos en diámetros pequeños .

CARACTERISTICAS

Densidad	(gr/cc)	1. 24
Velocidad de Detonación	(m/s)	4.900
Presión de Detonación	(Kbar)	76
Energía	(Kcal/ Kg)	922
Resistencia al Agua	(Hr)	12
Volumen de Gases	(L/Kg)	815
Potencia relativa al ANFO	en Peso	0.97
	en Volumen	1.50

DIMENSIONES

TAMAÑO	UNIDADES POR CAJA	PESO UNIDAD	PESO CAJA
1 ¼ X 8	130	192 g	25 Kg

Explosivo utilizado para la iniciación del ANFO y Softron de los desarrollos horizontales y verticales (banqueos) .

SISTEMA DE INICIACION NO ELECTRICO TEC-S PARA TRONADURA SILENCIOSA

1.- DESCRIPCION

Es un accesorio del sistema de iniciación no Eléctrico de cargas explosivas, que permite reemplazar el uso de cordones detonantes, como líneas de troncales, en disparos de minería a cielo abierto y subterránea.

Esta constituido por un tubo no eléctrico de largo variable, que tiene un extremo un detonador, y en le otro un conector de superficie.

Se recomienda su uso en circunstancias que se requiera minimizar el nivel de ruido y vibraciones .

2.- ESPECIFICACIONES TECNICAS

2.1.- Tubo No Eléctrico :

- Largo : largo variable dependiendo de la profundidad de la perforación, espaciamento del diagrama de disparo y condiciones del terreno .
- resistencia a la tracción : $25 + 5 \text{ Kg}$
- Diámetro exterior tubo . $3.5 \text{ mm} + 0.2$

2.2 Detonadores :

- Potencia del Detonador : Fuerza 10
- Potencia del Conector : Fuerza 6, 8, ó 10
- Tiempo de Retardo :

Detonador : De acuerdo a la tabla de tiempos milisegundos (MS), Tabla N ° 1

Conector de Superficie : De acuerdo a los tiempos de retardo milisegundos (MS), Tabla N° 2 .

TABLA N° 1 TIEMPO DE RETARDO EN MILISEGUNDOS (MS)

NUMERO DE RETARDO	TIEMPO MS	NUMERO DE RETARDO	TIEMPO MS
0	5	14	500
1	25	15	600
2	50	16	700
3	75	17	800
4	100	18	900
5	125	19	1.000
6	150	20	1.100
7	175	21	1.200
8	200	22	1.300
9	250	23	1.400
10	300	24	1.500
11	350	25	1.600
12	400	26	1.700
13	450	27	1.800

TABLA N° 2 TIEMPO DE RETARDO EN MILISEGUNDOS (MS)

TIEMPO (MS)	COLOR DEL CONECTOR
0 – 9	VIOLETA
17 – 25	ROJO
30 – 35	AMARILLO
42 – 50	NEGRO
65 - 70 - 90	NARANJA
100 – 130 - 150	AZUL
170 - 175 – 300 - 1.000	VERDE

3.- APLICACIONES

El sistema de Iniciación No Eléctrico TEC "S" se utiliza para trabajos de tronadura en minería subterránea, cielo abierto y obras civiles .

Es recomendable su utilización preferentemente en tronaduras de producción y Construcción de zanjas .

Además, por la disminución considerable del nivel de ruido (onda aérea) y vibración en superficie tiene una amplia aplicación en trabajos cercanos a áreas urbanas o lugares habitados .

4.- CONDICIONES GENERALES PARA SU APLICACIÓN Y ALMACENAMIENTO

- Debe manipularse con el cuidado que requiere un elemento explosivo sensible a la fricción, a la temperatura y al impacto.
- Almacenamiento adecuado según Ley 17.798 y reglamentos de explosivos y polvorines
- Mantener lejos del fuego, líquidos inflamables y otros explosivos.
- Debe ser usado por personal capacitado en el uso y manipulación de accesorios de tronadura .

Accesorio utilizado en la tronadura silenciosa de la zanja central y los banqueos .

CONECTORES DE SUPERFICIE

1.- DESCRIPCION

El conector de superficie es un accesorio del sistema de Iniciación No Eléctrico de cargas explosivas. Tiene como objetivo producir un retardo en líneas troncales de cordones detonantes Tec Cord, utilizadas en trabajos de remoción de materiales rocosos, en minería de cielo abierto y subterránea.

2.- CONECTOR UNIDIRECCIONAL TIPO TECNEL (CUS) :

Consiste en un detonador TECNEL que va alojado en una pieza plástica que permite la conexión con cordones detonantes Tec Cord.

Esta pieza plástica es conocida como caja conectora, la cual tiene un código de colores que identifica el tiempo de retardo. La conexión se realiza considerando la dirección de propagación de la detonación, ya que el retardo funciona en un sentido.

3.- ESPECIFICACIONES TECNICAS :

Los códigos de colores y tiempos de retardo son validos para todos los tipos de conectores:

TABLA DE TIEMPOS

RETARDO (MS)	COLOR
0	VIOLETA
9	VIOLETA
17	ROJO
25	ROJO
35	AMARILLO
42	NEGRO
65	NARANJA
130	AZUL
150	AZUL
300	VERDE

- Largo tubo transmisor : 60 cm (o a pedido)
- Largo de la Cápsula : 70 mm
- Potencia : Fuerza 6, 8, 10
- Iniciación Con cordones detonadores de 3 y 5 g/m .

4.- APLICACIONES :

Estos accesorios son utilizados para retardar la secuencia de iniciación, con el objeto de proporcionar una adecuada generación de la cara libre.

Se utilizan en líneas troncales en minería a cielo abierto, o en cualquier trabajo de remoción de rocas.

5.- CONDICIONES GENERALES PARA SU APLICACIÓN Y ALMACENAMIENTO

- Debe manipularse con el cuidado que requiere un elemento explosivo sensible a la fricción, a la temperatura y al impacto.
- Almacenamiento adecuado según Ley 17.798 y reglamentos de explosivos y polvorines
- Mantener lejos del fuego, líquidos inflamables y otros explosivos.
- Debe ser usado por personal capacitado en el uso y manipulación de accesorios de tronadura.

Accesorio utilizado en la tronadura silenciosa de la zanja central y los banqueos .

GUIA COMPUESTA

1.- DESCRIPCION :

Es un accesorio del sistema de Iniciación a fuego, compuesto por u conjunto ensamblado con los siguientes accesorios : detonador a mecha, un trozo de mecha para minas de largo variable (a pedido) y un conector mecha .

El TEC DEM-C tiene como objetivo principal la seguridad en la operación, ya que permite iniciar una o varias unidades utilizando mecha de ignición rápida, disminuyendo la posibilidad de falla al realizar el ensamble en faena, siendo las causas mas comunes :

- Mala operación de ensamble
- Herramienta de corte y ensamblaje inadecuados
- condiciones de alta humedad ambiental
- Mal almacenamiento

2.- ESPECIFICACIONES TECNICAS :

Potencia del detonador	: Fuerza 8
Tiempo de combustión de la mecha	: 140 s/m +/- 10%
Carga pirotécnica del conector mecha	: 640 mg

Accesorio utilizado para la iniciación de las quemadas en todos los disparos, tanto desarrollo horizontal, zanja central y los banqueos .

DETONADOR TECNEL

1.- DESCRIPCION

Es un accesorio diseñado para iniciar, en forma segura y precisa, distintos tipos de carga explosivas, mediante el sistema simple construido por elementos transmisores, retardadores y explosivos ubicados secuencialmente, con algunos dispositivos complementarios destinados a conectar, sellar y proporcionar las especificaciones del producto .

1.1 Elemento transmisor :

Consiste en un tubo de resina ionomérica recubierto con polietileno de color fluorescente, y una película interior de explosivo, que al iniciarse transmite una señal en forma de onda de choque deflagrante destinada a iniciar el mixto de retardo y carga explosiva del detonador .

1.2 Elemento de retardo :

Es un cilindro metálico cargado con un tubo mixto pirotécnico de longitud variable de acuerdo al tiempo que se desea obtener .

1.3.-Carga explosiva :

Esta constituido por dos cargas ubicadas secuencialmente, un explosivo primario sensible a la llama y un explosivo secundario con potencia suficiente para iniciar los explosivos comerciales utilizados actualmente .

1.4.-Cápsula :

De aluminio con largo entre 50 y 95 mm, en cuyo interior están contenidos los elementos de retardo y cargas explosivas .

1.5.-Conector plástico “ J ” :

Dispositivo de plástico fosforescentes que lleva impreso el número de retardo correspondiente al detonador destinado a conectar en forma fácil el tubo TECNEL a un cordón detonante (Tec-Cord de 3.0 ó 5.0 gr/m.) .

1.6.-Manguera de cierre :

dispositivo de goma destinado a sellar la unión del tubo no-electrico con la cápsula, y proporcionar una resistencia a la tracción entre el tubo transmisor y el detonador .

1.7.-Etiqueta de retardo :

Cinta adhesiva de plástico o papel que lleva impreso el numero de retardo correspondiente al detonador .

1.8.-Etiqueta de metraje :

Cinta adhesiva que tiene impresa la longitud del tubo transmisor en metros .

2.- SERIES DE RETARDO

De acuerdo al tiempo de retardo del detonador se clasifican en dos series :

TIEMPOS DE RETARDO

SERIE MILISEGUNDOS (MS)		SERIE PERIODO LARGO (LP)	
Nº de Retardo	Tiempo Milisegundos	Nº de Retardo	Tiempo Milisegundos
0	5	0	5
1	25	1	200
2	50	2	400
3	75	3	600
4	100	4	1.000
5	125	5	1.400
6	150	6	1.900
7	175	7	2.450
8	200	8	3.100
9	250	9	3.850
10	300	10	4.650
11	350	11	5.500
12	400	12	6.450
13	450	13	7.450
14	500	14	8.500
15	600	15	9.600
16	700	16	10.700

3.- ESPECIFICACIONES TECNICAS

3.1Tubo Transmisor

Diámetro Externo : 3.5 ± 0.2 mm

Carga explosiva : 19 ± 4 mg/m.

Resistencia a la Tracción : 18 ± 3 Kgf

Elongacion : Mayor de 500 %

Promedio Velocidad Onda de Choque : 1.900 m/s

Longitud : A pedido

Iniciación . Con fulminante de percusión, detonadores fuerza # 6 y superiores o con cordón detonantes

Color del revestimiento : - Naranja Fluorescente (MS)

- Amarillo fluorescente (LP)

3.2.-Cápsula detonante

Largo Cápsula : 50, 60, 70, 80, 85, 95 mm

Diámetro externo : 7.5 mm

Carga secundaria : 750 mg (PETN)

Carga primaria : 220 mg (PRIMEC)

Potencia : Fuerza 10

Prueba placa de plomo : 10 mm (diámetro de perforación)

Prueba de Trauzi : diferencia de volumen = 30 cc

Insensibilidad al impacto : 2 Kg a 90 cm (no detona)

4.-APLICACIONES

Se utiliza principalmente como iniciador de explosivos, dinamita, emulsiones, APD y otros. EL TECNEL se utiliza en minería subterránea y a cielo abierto tanto en albores de desarrollo como producción.

Los detonadores TECNEL de la serie (MS), son utilizados en tronadura de banqueo en minería a cielo abierto y en tronaduras de desarrollo horizontales, verticales e inclinadas y producción en minería subterráneas. Los detonadores TECNEL de serie periodo largo (LP) se utilizan principalmente para el desarrollo de labores en minería subterránea .

5.- CONDICIONES GENERALES PARA SU APLICACIÓN Y ALMACENAMIENTO

- Debe manipularse con el cuidado que requiere un elemento explosivo sensible a la fricción, a la temperatura y al impacto.
- Almacenamiento adecuado según Ley 17.798 y reglamentos de explosivos y polvorines
- Mantener lejos del fuego, líquidos inflamables y otros explosivos.
- Debe ser usado por personal capacitado en el uso y manipulación de accesorios de tronadura.

Accesorio utilizado en la tronadura de los desarrollos horizontales del arco - techo y labores inferiores.

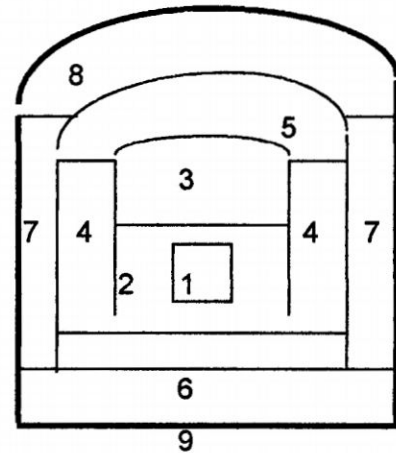
ANEXO N° 3

DIAGRAMA DE DISPARO

CALCULOS DE VOLADURA

En los diagramas de disparo se diferencian las siguientes zonas;

1. Cuele
2. Auxiliares de Cuele
3. Descargas
4. Auxiliares de Cajas
5. Auxiliares Coronas
6. Auxiliares de Zapateras
7. Cajas
8. Coronas
9. Zapateras.



A continuación se presenta el cálculo teórico de los Diagramas de Disparo para voladuras en túneles tomando como ejemplo el Túnel Acceso Principal (TAP) .

DIAGRAMA DE DISPARO DEL TÚNEL ACCESO PRINCIPAL

DATOS :

Luz = 7,0 m

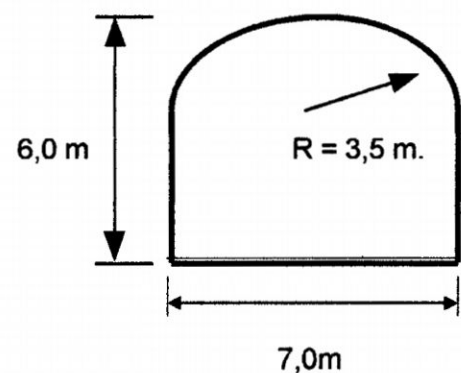
Altura = 6,0 m.

Radio = 3,5 m

Sección = 36,74 m²

Diámetro de Per. = 45 mm.

Roca. = Granodiorita competente.



CUELE

Primer Cuadro

Se utiliza en el cuele tres barrenos centrales de 102 mm de diámetro, debido antecedentes de desarrollos anterior, y por ser una granodiorita competente, estos barrenos centrales no llevan carga, su objetivo es crear un espacio donde pueda romper el cuele .

La distancia desde el centro del cuele hasta el primer cuadro de barrenos se define así:

$$a = 2 \times \varnothing$$

$$a = \text{piedra mm.}$$

$$\varnothing = \text{diámetro del barreno central, mm}$$

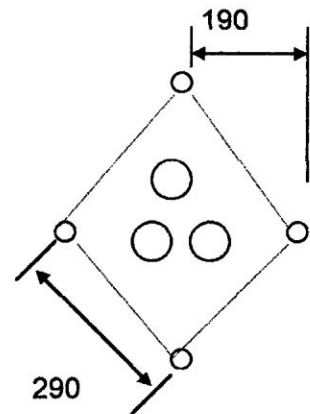
$$a = 2 \times 102 = 204 \text{ mm.}$$

El espaciamiento W_1 (mm), esta defino por la siguiente ecuación:

$$W_1 = 2 \times (a)^{1/2}$$

$$W_1 = 2 \times (204)^{1/2}$$

$$W_1 = 285,69 \text{ mm} = 290 \text{ mm.}$$



El retacado es una magnitud que no tiene ningún efecto en la voladura. A pesar de ello se puede calcularlo, o estimar que es equivalente a la piedra $a = h_o$.

Así tenemos que la longitud total de carga es:

$$H - h_o$$

H = longitud del barreno

h_o = longitud del retacado

El gasto específico de explosivo por metro, para

el primer cuadro del cuele de $q_c = 0,75 \text{ Kg/m}$ de sustancia explosivo

$$Q = q_c \times (H - h_o)$$

$$Q = 0,75 \times (3,9 - 0,2) = 2,77 \text{ Kg/barreno}$$

Segundo Cuadro

El Burden del primer cuadro es aproximadamente 290 mm : la piedra del segundo cuadro es igual al espacio creado.

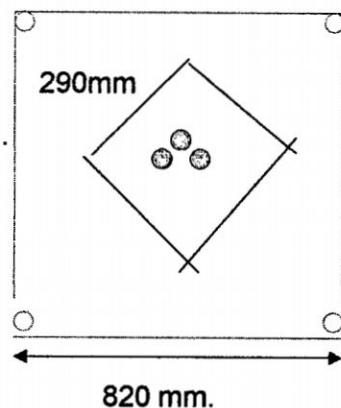
$$B_2 = W_1$$

$$B_2 = 290$$

$$W_2 = 2 B_2 (2)^{1/2}$$

$$W_2 = 2 \times 290 \times 1,4142$$

$$W_2 = 820 \text{ mm.}$$



El consumo de explosivo / barreno Q está definido por:

$$Q = q_c \times (H - h_o)$$

q_c = gasto específico de sustancia explosiva.

H = longitud total del barreno, m.

h_o = longitud del retacado, m.

$$Q = q_c \times (H - h_o)$$

$$Q = 0,75 \times (3,9 - 0,204)$$

$$Q = 2,77 \text{ kg / barreno}$$

ZAPATERAS

Se calcula de igual manera a los utilizados en banco :

$$B = 0.9 * ((q_1 \times PRP \text{ anfo}) / c \times f \times (S/B))^{0.5}$$

q_1 = Densidad de carga

PRP	= potencia relativa en peso (ANFO)	1,0 adimensional
c	= constante de la roca. (kg/cu. m.)	0,45 rocas duras
f	= grado de desviación.	(1,45 por efecto gravitacional)
E/B	= razón de espaciamiento / botada	(1,1)

Obteniendo una piedra de 0,75 m y

el espacio es de 1,1 B, = 0,8 m

Carga de fondo:

$$h_f = 1/3 H$$

h_f = longitud de la carga de fondo, m.

H = longitud total del barreno m .

$$h_f = 1/3 \times 3,9 = 1,3 \text{ m.}$$

Consumo de sustancia explosiva

$$Q_f = q_f \times h_f$$

$$q_f = 1,08 \text{ kg/m.}$$

$$Q_f = 1,08 \times 1,3 = 1.404 \text{ kg.}$$

Carga de Columna

$$q_{c_{\text{anfo}}} = 1,16 \text{ kg/m}$$

Longitud de la carga de columna..

$$h_c = H - h_f - h_o$$

$$h_c = 3,9 - 1,3 - 0,2$$

$$h_c = 2,4 \text{ m}$$

Consumo de sustancia explosiva

$$Q = q_c \times h_c$$

$$Q_c = 1,16 \times 2,4 = 2,78 \text{ Kg.}$$

Consumo de sustancia explosiva por barreno Q_{tot}

$$Q_{\text{tot}} = Q_f + Q_c$$

$Q_{tot} = 1,404 + 2,78 = 4,18 \text{ kg / barreno.}$

CAJAS Y CORONAS

La voladura de contorno controlado implica la perforación de una serie de barrenos paralelos de poco espaciamiento a lo largo de la superficie de excavación final así como la colocación de cargas desacopladas de baja densidad en esos barrenos y la detonación de todas esas cargas desacopladas de baja densidad en esos barrenos del frente

En las voladuras de contorno controlado, el espaciamiento entre los barrenos es generalmente de 15 a 16 veces el diámetro del barreno .

Para los tiros de la Periferia (cajas y Techo) se utilizara las técnicas de Voladura de Contorno y Precortes .

- Smooth blasting.- En este método las cajas y coronas principalmente salen al último, persiguiendo que se desprendan por gravedad, por esto hay que regular la carga que sale desde el cuele, con una gran precisión, de manera tal que las vibraciones no lleguen a las cajas y coronas o sean cercanas a cero .

- Precorte.- Se detonan las perforaciones de la periferia cajas y coronas, a las que se pueden intercalar perforaciones vacías para mejorar el resultado: Las perforaciones se cargan aproximadamente hasta un 55% de la profundidad total.

En la siguiente Tabla, Svanholm proporciona las indicaciones para voladuras de contorno controlado en las excavaciones subterráneas, tabla

Diámetro del Barreno mm.	Diámetro de la Carga en mm	Concentración de Carga KG ANFO/m	Espesor de Roca delante del barreno	Espaciamiento
25 - 32	11	0.08	0.30 - 0.45	0.25 - 0.35
25 - 48	17	0.20	0.70 - 0.90	0.50 - 0.70
51 - 64	22	0.44	1.00 - 1.10	0.80 - 0.90

Con los antecedentes anteriores se determina un espaciamiento de 0.6 m , en cada tiro de la periferia , con una concentración de carga de 0.2 Kg anfo / m. y un espesor de roca delante del barreno 0.8 m., y para mejorar los resultados se intercala una perforación vacía .

El gasto de sustancia explosiva softron es de 0,19 Kg/m.

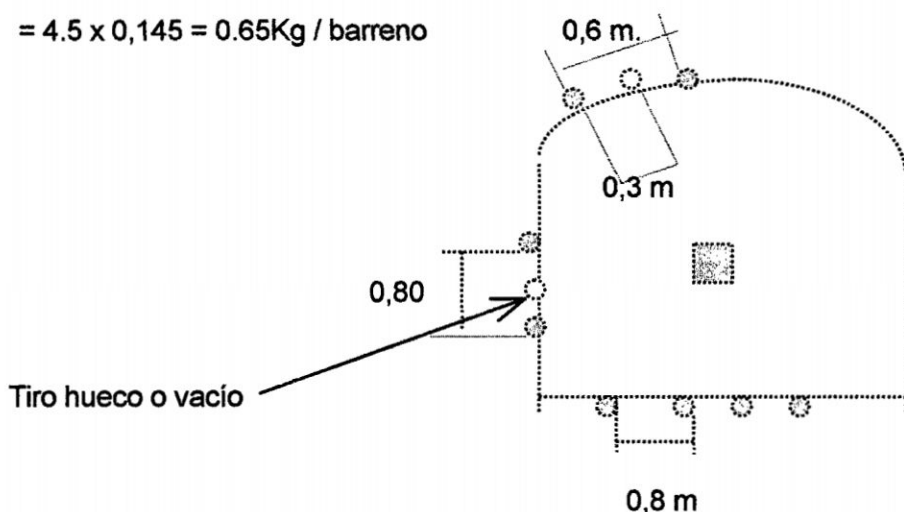
Carga para Tiros Cajas y Coronas

Longitud de Carga = Long de Perf * 0,55

tronex = Long carga / largo tronex

tronex = 4.5 tronex.

Q tronex = $4.5 \times 0,145 = 0.65\text{Kg} / \text{barreno}$



Concluyendo para los tiros de las cajas y coronas se utilizara una cantidad de 0,65 Kg / tiro (longitud de perforación 4 m.)

AUXILIARES Y DESCARGAS

El cálculo de consumo de sustancia explosiva para los auxiliares caja, coronas, zapateras y descargas, es similar al presentado en los barrenos de las zapateras.

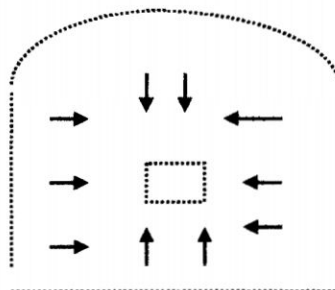
Carga de fondo $q_f = 1,08 \text{ kg/m}$

Carga de columna $q_c = 1,16 \text{ kg/m}$

$B = 0,75 \text{ m.}$ (ver gráfico zapateras)

$W = 1,1 \times B$

$W = 1,1 \times (0,75) = 0,8 \text{ m}$



Consumo de sustancia explosiva

$$Q_f = 1,08 \times 1,3 = 1.40 \text{ kg.}$$

Consumo de sustancia explosiva

$$Q_c = 1,16 \times 2,4 = 2,78 \text{ Kg.}$$

Consumo de sustancia explosiva por barreno Q_{tot}

$$Q_{tot} = Q_f + Q_c$$

$$Q_{tot} = 1,404 + 2,78 = 4,18 \text{ kg / barreno.}$$

Cabe destacar que el análisis teórico del cálculo del diagrama de disparo es solo una aproximación de la realidad, estos se deben ir corrigiendo en el transcurso del avance, hasta obtener el de mejor resultado operacional (en términos de avance por disparo) .

(Antecedentes extraídos Manual de Perforación y Voladura de Rocas , Instituto Geológico y Minero de España) .

ANEXO N° 4

DIAGRAMA DE TIROS CHIMENEA

DIAGRAMA DE DISPARO PARA LAS CHIMENEAS (CH. M. , CH MW., PCL.)

Sección	Diámetro 2.0 m.
Area Teórica	3.14 m ²
Perímetro	6.28 m
Longitud de perforación	1.6 m.
Diámetro de perforación	38 mm (manual)

EXPLOSIVOS (TRONEX 2, 1 1/8" X 8")

Descripción	Cantidad	Distribución de la carga		Cant. Estimada
Cajas	14.0	2.0	28.0	4200 gr.
Cuele	6.0	7.0	42.0	6300 gr.
Descargas	8.0	4.0	32.0	4800 gr.
Total	28.0		94	15300 gr.

Fulminantes LP

Nº serie	Nº 1	Nº 2	Nº3	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 9	Nº 11	Nº 14
Nº retar	2	2	2	3	2	3	6	6	2
Kg. expl.	2.1	2.1	2.1	1.8	1.2	1.8	1.8	1.8	0.3

Kg. Explosivo	15.3
Densidad Carga	3.0 Kg/M ³

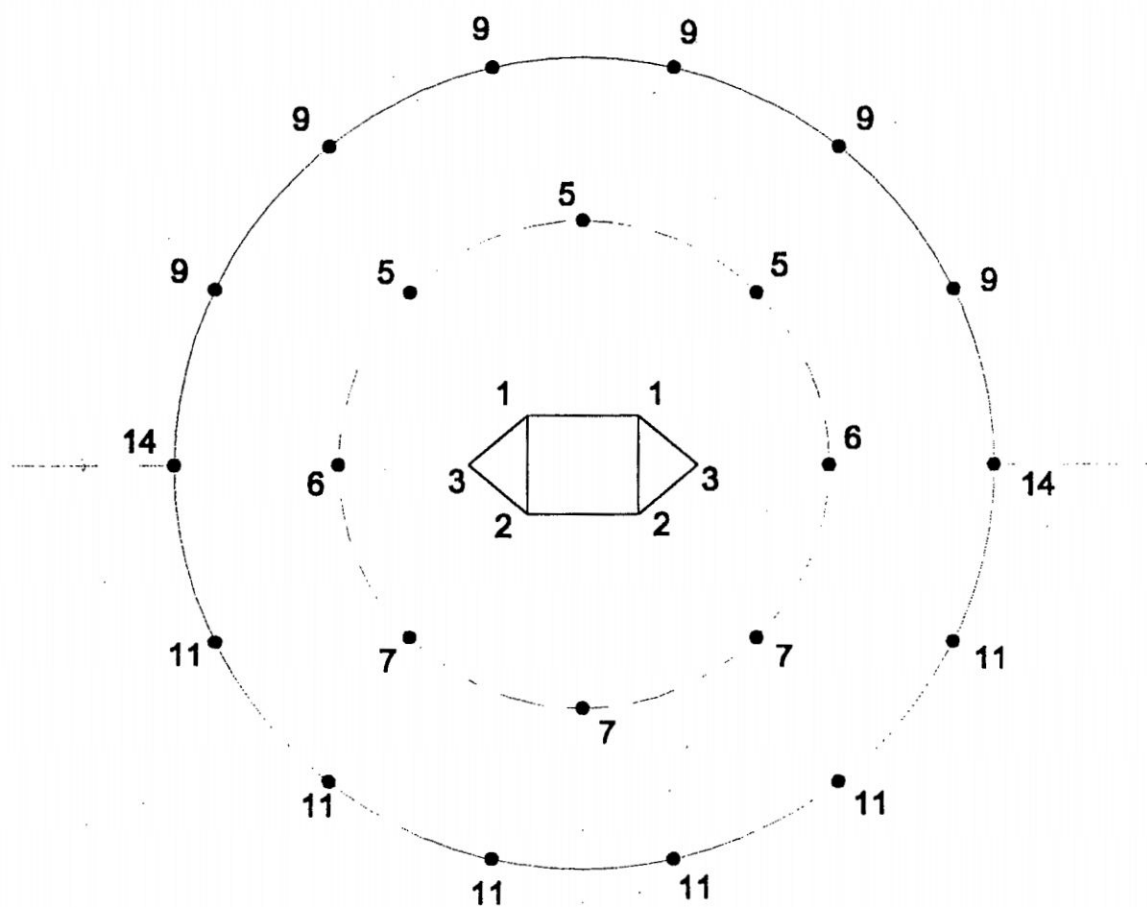


DIAGRAMA DE DISPARO CHIMENEA

CONSIDERACIONES PARA EL TRABAJO EN CHIMENEA

Chimenea :

Se designa así, a toda actividad de desarrollo vertical o inclinada (inclinación igual o superior a 45°) .

Equipo :

Son las maquinarias y elementos de perforación que emplea el minero para barrenar los tiros de cada disparo y se compone de lo siguiente :

- . Perforadoras adecuadas al tipo de labor Stopper (o similar), S33W (o similar)
- . Lubricadores adecuados para cada maquina en particular
- . 1 Juego de barras de perforación, para cada stopper
- . 1 patero de 18 pulgadas de largo y 41 mm de diámetro .
- . Mangueras para aire y agua de 1 pulgadas y $\frac{3}{4}$ pulgadas de diámetro respectivamente .

Accesorios :

Son aquellos elementos complementarios, que se utilizan en el desarrollo de chimenea, y ellos son :

- Mangueras de 2 pulgadas y 1 pulgadas para aire y agua respectivamente, en
- Aceitera metálica
- Patas mineras para andamios de acero redondo A44-28H de 36 pulgadas de largo .
- Tablas de andamios, de 2 pulgadas de espesor por 10 pulgadas de ancho y largo adecuado al ancho de la chimenea (madera de eucaliptos) .
- Cable de disparo de 2 x 22 o similar
- Cordel guía de 1 pulgada de diámetro con una resistencia a la tracción de 300 kilos y otro cordel auxiliar de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro con una resistencia a la tracción de 150 kilos
- Punzón de cobre de longitud y diámetro adecuado
- Malla de seguridad, construida de cordel de $\frac{1}{2}$ pulgadas de diámetro, formando cuadrados no superiores a 15 centímetros, el ancho y largo deben ser adecuado a la sección de la chimenea .
- Acuñador de longitud adecuada y en buen estado

- Detector de condiciones ambientales (CO, NO2, CO2, CO)

Elementos de Protección Personal

- Cola de seguridad de 6 pies de largo, para sección hasta 1.5 X 1.5 m. Para secciones mayores debe usar cola de 8 pies de largo .
- Ropa impermeable
- Botas adecuadas al tipo de trabajo a ejecutar
- Cinturón de combinación
- Pañal Bambino
- Protector Auditivo
- Protector Visual
- Guantes de goma y cuero

Requisitos para el minero y ayudante

Ninguna persona podrá desempeñarse como minero o ayudante de desarrollo vertical, sin tener la experiencia, preparación y capacidad física necesaria, debidamente comprobada por sus respectivos jefes

- Deberá poseer instrucción sobre minería general y curso de minero vertical
- Salud y edad compatible a la faena (45 años máximo)
- Deben poseer la licencia de manejo de explosivos (vigente) .

BIBLIOGRAFIA

- | | |
|--|--|
| 1.- Pedro Briceño L. | Administración y Dirección
De Proyectos 2 da. Edición |
| 2.- Empresa Constructora DBK | Informes mensuales |
| 3.- Enaex | Guía de Explosivos |
| 4.- E. Hoek / T. Brown | "Excavaciones subterráneas
en rocas 2ª edición |
| 5.- Langerfors | Manual de perforación y
Voladura de rocas |
| 6.- López Jimeno | Diseño de Excavaciones
Subterráneas. |
| 7.- Jaime H. Millares Duran
Año 1991 | Estudio de una Licitación
Para una Construcción
Aplicada a la Minería. |
| 8.- Rodríguez V. Patricio | Tendencias Actuales en el
Diseño de Túneles y
Cavernas. |
| 9.- SIMIN 97 X Symposium
de Ing. De Minas Chile | Alternativas de secuencia
de salida para escavar Tv
de traspaso |