



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE REHABILITACIÓN, DESARROLLO Y  
EXPLORACIÓN PARA CUANTIFICAR RESERVAS MINERALES EN  
LA MINA VELARDEÑA, DURANGO**

**INFORME**

**QUE PARA TITULARSE POR LA OPCIÓN DE TRABAJO  
PROFESIONAL EN LA CARRERA DE INGENIERO DE MINAS Y  
METALURGISTA**

**PRESENTA:**

**IVÁN CABRERA ZAMUDIO**

**AVAL:**

**ING. EDUARDO GUERRERO LEYVA**



**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**ENERO 2009**

## AGRADECIMIENTOS:

A Dios:

Por prestarme vida y hacerme ver que todo es posible si se realiza con fe y amor.

A mis padres y hermanos:

José Armando Cabrera Carriola.

Isabel Zamudio Apastillado.

Alfer Armando Cabrera Zamudio.

Humberto Cabrera Zamudio.

Ofelia Carolina Zamudio Apastillado.

Por sus enseñanzas y principios inculcados con su ejemplo, por el tiempo que me han dedicado y sobre todo por el amor que me han brindado siempre.

A mi prometida:

Laura Campos Rodríguez

Por el apoyo, comprensión y brindarme fuerzas para terminar mi carrera, por ser la motivación que me ayuda a seguir a adelante y sobre todo por ser el amor de mi vida.

A mi alma mater y maestros:

Universidad Nacional Autónoma de México.

Facultad de Ingeniería.

Ing. Eduardo Guerrero Leyva.

Ing. Víctor Manuel López Aburto.

Ing. José Obregón Andría.

Ing. José Santos Jallath.

Ing. Raymundo Delgado Robles.

Ing. Mauricio Mazari Hiriart.

Ing. José de Jesús Huevo Casillas.

A Servicios Industriales Peñoles S.A. de C.V. por la información prestada para la elaboración de este informe, en especial a:

Ing. Carlos Macías.

Lic. Anselmo Padrón.

Ing. Juan Martín Peña Gómez.

Ing. Fernando Grajales Muñoz.

A mis amigos y amigas, en especial a:

Daniel Arriaga Aguayo, Edgar Ortiz Vargas, Sergio Tavera Gómez, Bernardo Pereira Camacho, Cuauhtémoc Guzmán López.

## INDICE

INTRODUCCIÓN.	1
OBJETIVO.	2
I.- GENERALIDADES.	
I.1.- Antecedentes.	3
I.2.- Localización y Vías de acceso.	3
I.3.- Clima.	4
I.4.- Flora.	4
I.5.- Fauna.	4
I.6.- Actividades económicas.	4
I.7.- Servicios públicos.	5
II.- GEOLOGÍA.	
II.1.- Geología del yacimiento.	5
III.- PROGRAMA DE REHABILITACION Y DESARROLLO DE LA MINA VELARDEÑA.	
III.1.- Restauración ambiental.	6
III.2.- Desagüe de la mina y rehabilitación de obra minera recuperada.	7
III.3.- Obra minera para exploración directa.	8
III.4.- Ventilación de obras.	9
III.5.- Especificaciones de obras para exploración.	11
III.6.- Costo por metro lineal de las obras para exploración directa y de barrenación a diamante (BDD).	
III.6.1- Costo por metro lineal de las obras para exploración directa.	11
III.6.2.- Costo por metro lineal de barrenación a diamante (BDD)	12
III.7.- Mecánica de rocas aplicada a la rehabilitación de obras.	12

III.7.1.- Índice de designación de la calidad de la roca (RQD).	12
III.7.2. - Rango de macizo rocoso (RMR).	14
IV.- ANCLAJE DE OBRAS.	15
IV.1.- Objetivos del anclaje.	17
IV.2.- Reglas empíricas usadas en el diseño de anclaje.	19
IV.3.- Anclas utilizadas en el proyecto.	23
IV.4.- Pruebas para conocer la calidad de la instalación de anclas.	24
IV.5.- Cálculo y diseño de plantillas de anclaje.	25
V.- OBRAS REHABILITADAS.	29
VI.- PROGRAMA DE ACTIVIDADES 2008 A 2012 POSTERIORES A LA REHABILITACIÓN.	30
VII.- CONCLUSIONES.	31
VIII.- BIBLIOGRAFÍA.	33

## INTRODUCCIÓN.

El yacimiento de zinc de Velardeña en el estado de Durango se localiza a 120 km de la Ciudad de Torreón, recientemente adquirido al Grupo México S.A. de C.V. por Minera Roble S.A. de C.V. perteneciente al Grupo Peñoles. Este depósito con reservas de 8.6 Mton con ley de 5.72% de zinc en cuerpos masivos de 1 a 30 metros de espesor a lo largo de 1,300 m, a profundidades de 350 m resulta de interés para el grupo como reservas estratégicas de zinc para la fundición de Met- Mex.

La alternativa de adquirir las instalaciones minero metalúrgicas de la unidad Velardeña de IMMSA (Mina y Planta) contigua al yacimiento, se consideró de interés para aprovechar el desarrollo de mina, tiros y niveles que permiten acceder al yacimiento con un menor grado de inversión para su exploración y preparación. Como parte de esta estrategia se incluyó negociar el paquete de fundos mineros que IMMSA controla en la región para tener la posesión mayoritaria del terreno prospectivo con el objetivo de realizar una exploración integral que incremente el recurso de mineral económico en ley y tonelaje para justificar una nueva operación a mediano plazo (3-5 años).

Actualmente la mina está en condiciones que no permiten su acceso y para iniciar la exploración, antes es necesario llevar a cabo la rehabilitación de la mina.

La rehabilitación de la mina requiere un sistema de bombeo para abatir el nivel del agua desde el nivel 5 hasta el nivel 7, limpieza, amacice, anclaje, enmallado y zarpeo.

Al término de las obras de rehabilitación y acondicionamiento, se inició en Diciembre de 2006 la obra directa para exploración en el nivel 7, con esto se abrieron nuevas obras como son caminos de acarreo y cruceros de exploración para barrenación a diamante. Al mismo tiempo se realizan labores de supervisión y planeación de las obras mineras así como de la seguridad dentro y fuera de la mina.

El presente informe muestra los trabajos de rehabilitación realizados, así como los criterios técnicos y operativos aplicados en los cuerpos Santa María y Antares.

**OBJETIVO.**

Realizar obras de rehabilitación y acondicionamiento para iniciar el programa de exploración directa y de barrenación a diamante en interior mina, con el fin de incrementar las reservas de mineral de zinc de 8.6 a 20 Mton en los próximos dos años, para soportar una operación de 4,000 tpd, durante 15 años.

Nota: Mton = millones de toneladas.

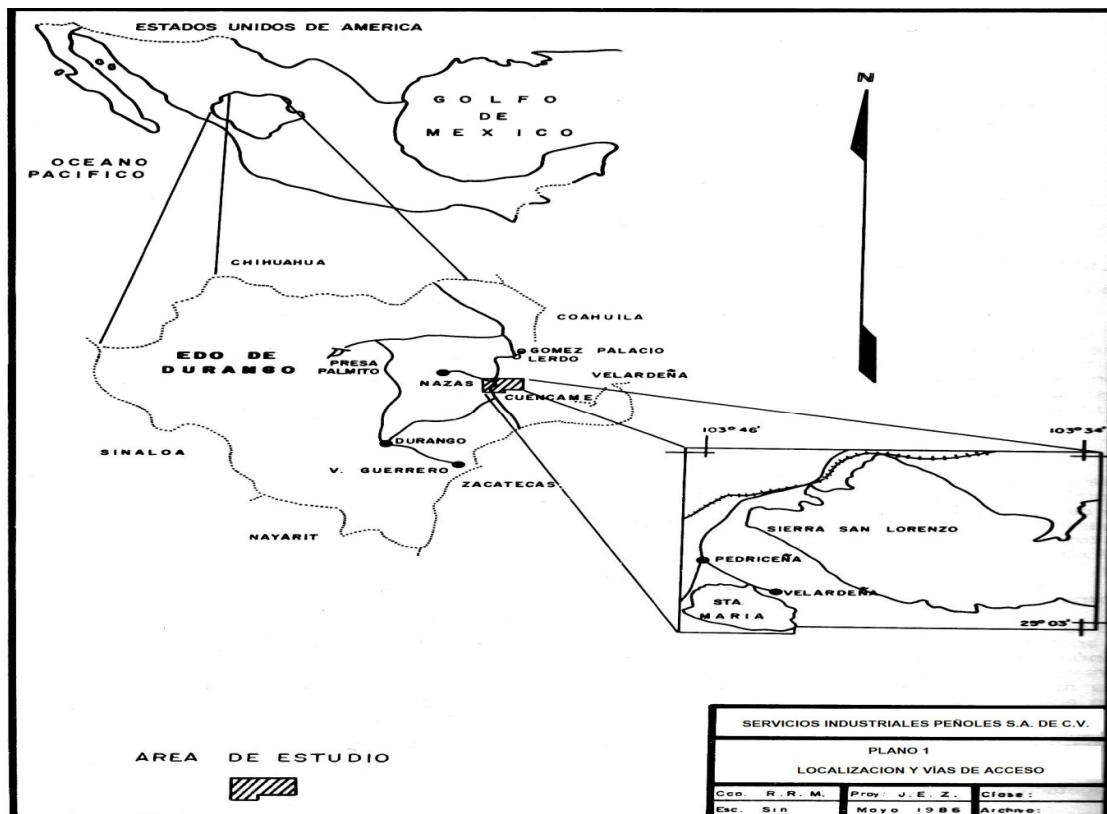
## I.- GENERALIDADES.

### I.1.- Antecedentes.

Por la disminución en la calidad y contenido del mineral que se extrae de esta mina, en Septiembre del 2000, la administración de Minera México, decidió cerrar temporalmente las operaciones con objeto de reducir los costos y facilitar la exploración para la búsqueda de mayores reservas mineras que permitan la viabilidad económica de esta Unidad. En Febrero del 2006 el Grupo Peñoles tomó posesión de la mina Velardeña adquirida al Grupo México en una serie de negociaciones, pasando a ser así un proyecto de exploración de un yacimiento de zinc localizado a 120 km de la fundición de Met-Mex en Torreón, Coahuila. Este depósito con reservas de 8.6 Mton con ley de 5.72% de zinc en cuerpos de sulfuros masivos es de interés como reserva estratégica de zinc para la fundición de Met-Mex.

### I.2.- Localización y vías de acceso.

El poblado de Velardeña está localizado en la región oriental del estado de Durango, limitada por las coordenadas 25°02' y 25°07' latitud Norte y 103°37' a 103°47' longitud Oeste. La elevación sobre el nivel del mar es de 1,400 m. Este distrito incluye las sierras de Santa María y San Lorenzo. El acceso es a partir de la ciudad de Torreón, se realiza por la carretera número 45 con 95 km hasta el poblado de Pedriceña, para continuar otros 5 km de pavimento hasta Velardeña (véase Plano 1).



Fuente: Minas Mexicanas Tomo 3



### I.3.- Clima

La región norte es semiárida, seco semicálido; la región media y sur son llanos, semiseco templado. La temperatura media es de 21.1°C. La precipitación es de 243.7 milímetros anuales. La dirección de los vientos son del suroeste al noreste moderado con velocidad de 2.1 a 6.0 metros por segundo.

### I.4.- Flora.

Su vegetación natural es el matorral y pastizal con predominio del matorral en la parte norte, en donde crecen principalmente el sotol, maguey, lechuguilla, palma del desierto, guayule, mezquite, y una importante y numerosa variedad de cactáceas.

En la región sur del municipio, predomina el pastizal y matorrales como el huisache y el mezquite.

### I.5.- Fauna.

La fauna en el norte está compuesta principalmente de mamíferos como: el venado, puma, gato montés, conejo, liebre, coyote y ardillas. Reptiles: abundan la víbora de cascabel, chirrionero, lagartija y camaleón. Aves: Cenzontle, paloma torcaz, chilero, cuervo, zopilote, aura, correcaminos y codorniz.

### I.6.- Actividades económicas.

#### Agricultura.

A esta actividad se dedican la mayor parte de los habitantes de la zona sur del municipio, produciendo maíz, frijol, sorgo y trigo.

#### Ganadería.

Esta actividad se concentra principalmente en la zona centro y norte del municipio, existe ganado bovino, caprino, ovino y caballar.

#### Industria.

Es relevante el incremento que en estos 10 últimos años ha experimentado este sector, sobretodo en la industrialización de la bentonita, misma que se encuentra principalmente en la cabecera municipal y en Pedriceña.

Los molinos establecidos son: Arcillas Industriales de Durango y BARMEX, Minerales de Avino, Arcillas Procesadas de Durango y Minero Frío-Zacatecas, Unidad Socioeconómica “Gral. Severino Ceniceros” y minera Jayno. En el poblado de Velardeña existen dos plantas beneficiadoras de mineral; Minera Roble S.A. de C.V. y Minera William, S.A. de C.V.

## Minería.

Actualmente, Durango es primer lugar nacional productor de oro y el segundo lugar también como productor de plata en el país. Tan solo para el período Enero –Diciembre del año 2007, el estado registró un volumen estimado de 10 mil 399 kilogramos de oro. Los municipios de Santiago Papasquiaro, Otáez y San Dimas aportaron el 90 por ciento de esta producción.

En el caso de la plata, las actividades mineras en el estado arrojaron un volumen de extracción de 469 mil 305 kilogramos. En plomo ocupa el tercer lugar con una producción de 11 mil 507 toneladas, en cobre el séptimo lugar con mil 67 toneladas y en zinc el sexto lugar con una producción de 14 mil 997 toneladas, provenientes de los municipios de Otáez, San Dimas, Santiago Papasquiaro, Guanaceví, Pánuco de Coronado y Cuencamé.

Dentro de los minerales no metálicos, se producen en el estado un millón 400 mil toneladas de mármol al año. Se producen además, 300 mil toneladas de ónix. Actualmente, Durango es el primer lugar nacional en la producción de bentonita, con una producción registrada de 800 mil toneladas al año.

En el Municipio de Cuencamé, donde se encuentra la mina de Velardeña, ha tenido un gran impacto económico en la región al iniciar las labores de rehabilitación y acondicionamiento, ya que se han generado alrededor de 250 empleos, la gente que trabaja con nosotros es de las comunidades de Pedriceña, Velardeña y la Ciudad de Cuencamé.

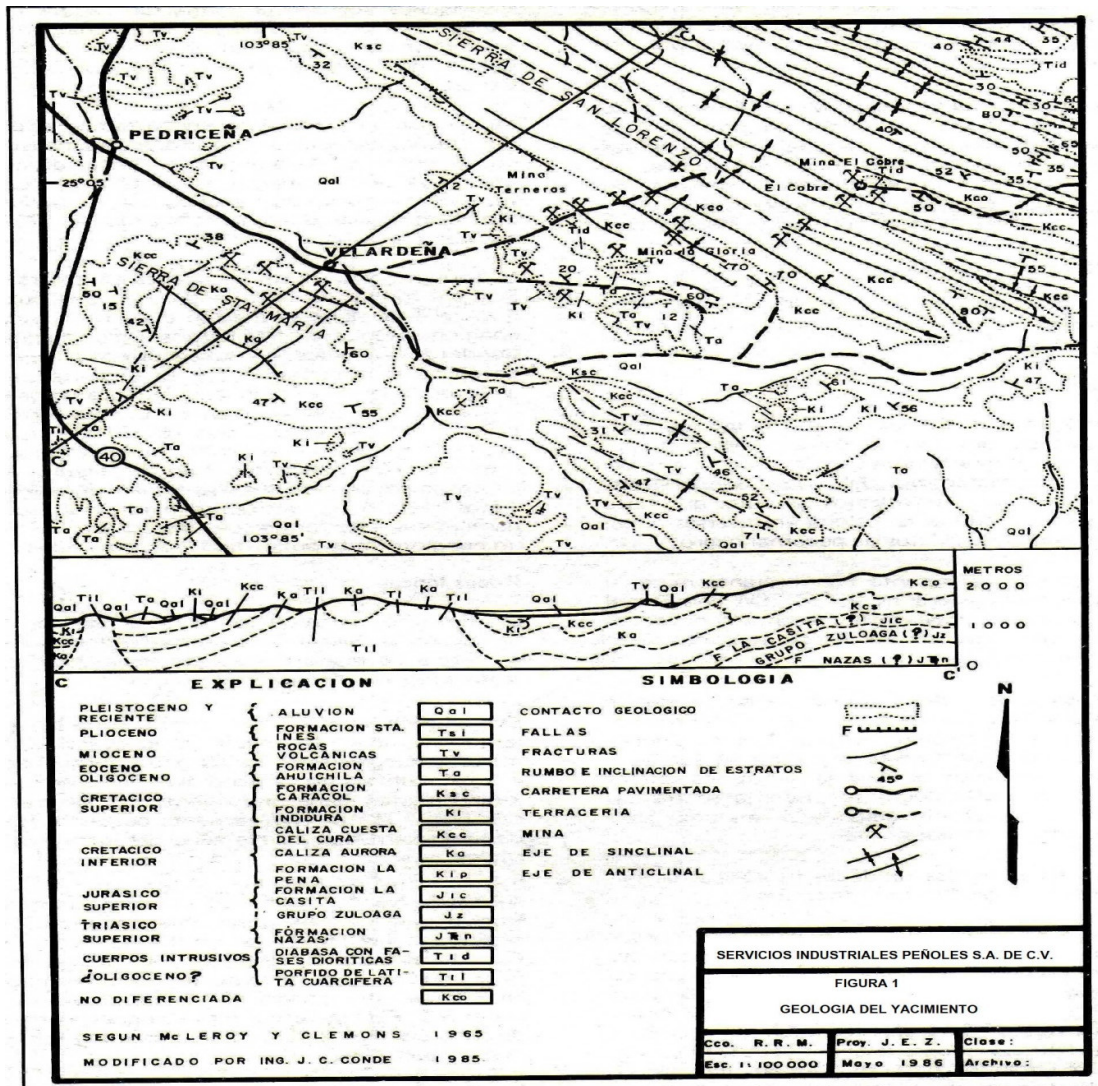
### I.7.- Servicios públicos.

La cobertura de servicios públicos de acuerdo a apreciaciones del Ayuntamiento es; de agua potable al 95%, alumbrado público al 90%, mantenimiento del drenaje urbano al 100%, recolección de basura y limpieza en las vías públicas al 100%, seguridad pública al 70%, pavimentación al 10%, mercados y centrales de abasto abastecen al 80% de las localidades. En cuanto a rastros existe sólo uno en la cabecera municipal que cubre 70% de la demanda.

## II.- GEOLOGÍA.

### II.1.- Geología del yacimiento.

El distrito minero Velardeña se compone de una serie de rocas sedimentarias cretácicas intrusionadas por rocas plutónicas y diques de diversas composiciones. La mineralización de la mina Santa María está localizada en un dique de traquita con dirección al Noroeste, intrusionando capas de piedra caliza a lo largo del Flanco de la Sierra Santa María. El mineral de zinc se encuentra como relleno de fisuras zona de fracturas (stockworks), diseminaciones y cuerpos de reemplazamiento en la caliza. Los minerales en el yacimiento incluyen esfalerita, marmatita (esfalerita rica en hierro), galena y argentita. Los minerales de la ganga incluyen calcita, pirrotita, piritita y arsenopiritita (véase Figura 1).



### III.- PROGRAMA DE REHABILITACIÓN Y DESARROLLO DE LA MINA VELARDEÑA

#### III.1.- Restauración ambiental

En el proyecto de exploración Velardeña se han realizado como punto de partida los trabajos de remediación ambiental que incluyen la restauración de las áreas impactadas con material inerte de préstamo, previniendo de esta forma cualquier contingencia con las autoridades de protección ambiental, así como una intensa actividad con la comunidad para satisfacer sus necesidades reales y efectivas como parte integral del proyecto, realizando todo esto de manera paralela con los trabajos de apoyo a la exploración, con la firme convicción que este es el tiempo oportuno para fincar una relación de confianza y respeto con la comunidad con la que estaremos conviviendo, fomentando una cultura de respeto y cuidado al medio ambiente logrando de esta forma el apoyo y aval social de nuestros vecinos para nuestro proyecto.

Estos trabajos de remediación ambiental comprendieron cuatro áreas principales en las que el material de óxido fue recubierto con un material inerte (calizas) para prevenir la formación de drenajes ácidos, esto implicó el movimiento de 45,000 m<sup>3</sup> de material de préstamo con una inversión de 100,000 U.S.D. También fue necesario reubicar algunas de las instalaciones recreativas para alejarlas de las áreas industriales y con ello prevenir cualquier posible contingencia.

Las antiguas presas de jales que están fuera de operación fueron cubiertas de igual forma con material inerte y en su caso se reforzaron los bordos de la presa de jales previamente reforestada, para la disposición de material de préstamo fue necesario tramitar un permiso de cambio de uso de suelo y rescatar y reubicar 5,568 especímenes vegetales de la flora y fauna nativa del sitio.

Al término de la ejecución de este programa quedó liberada para su cambio de uso de suelo 100% de la superficie autorizada por SEMARNAT tanto en materia de Impacto Ambiental como de cambio de Uso de Suelo. La zona de reubicación será, con el paso del tiempo, una zona de riqueza y diversidad biológica.

#### III.2.- Desagüe de mina y rehabilitación de obra minera recuperada.

Después de realizar los análisis de la calidad de agua almacenada en la mina Santa María por un laboratorio autorizado por SEMARNAT y comprobar que no contenía elementos nocivos, y revisar las instalaciones del tiro No.6 (Malacate, estructura del tiro, camino de emergencia) así como darle mantenimiento, se procedió a instalar un sistema de bombeo con capacidad de 3000 gpm para abatir el nivel de la mina del nivel 5 (129 m debajo de la superficie) hasta el nivel 7 (175 m debajo de la superficie), y desalojar 5,000,000 gal (véase Plano 2), para acceder a las obras de este nivel que es de interés para iniciar la obra de exploración, esto se realizó en cuatro meses y posteriormente, se realizaron los trabajos de rehabilitación de las obras recuperadas que consistieron en limpieza, anclajes puntuales y un trabajo de amacice permanente, ya que el intemperismo podría provocar caídos y potencialmente un accidente, este trabajo continúa a la fecha, revisando y dando mantenimiento a las obras recuperadas, el resultado ha sido satisfactorio ya que a la fecha no se han tenido problemas de caídos o inestabilidad, actualmente solo se mantiene el nivel del agua y se desaloja solo el gasto de mina estimado en 600 gpm.

En una segunda etapa las bombas actuales serán bajadas otros 60 m verticales para tener acceso al nivel 9, que también es de interés para la exploración del área de Santa María. Actualmente se

tiene un sistema de clarificación del agua que fue desarrollado por el Grupo Peñoles para dar al agua bombeada un aspecto más cristalino y evitar contingencias por algún cambio en la calidad del agua, esto se monitorea de manera constante, ya que el agua que se bombea es canalizada al arroyo de la comunidad o se lleva en pipas para el riego o uso agrícola.

### III.3.- Obra minera para exploración directa.

El propósito inicial de la obra es el de acceder al área mineralizada conocida hasta el momento del cuerpo Antares y obtener una muestra representativa del mineral para pruebas metalúrgicas. A partir de esta obra se podrá confirmar la continuidad de la mineralización y la preparación de estaciones para Barrenación de Diamante (BDD) que nos permita incrementar los recursos de mineral.

Un aspecto muy importante que está dando muy buenos resultados es la oportunidad de contar en esta etapa con obra directa de exploración que facilita, agiliza y nos da certidumbre de los recursos y de la forma del yacimiento, también nos confirmará los contactos de la mineralización, evaluación geotécnica del yacimiento y muestreo para investigación metalúrgica, esta obra inició en Diciembre del 2006 y a la fecha se concretaron 2,100 m de obra directa para exploración con sección de 4.5 m X 4.0 m , se cortó el cuerpo Antares y se explora en sus extremos NW y SE, así como también se dan estaciones de BDD (véase Plano 3), para obtener calidad de la roca por los métodos del Índice de Designación de la Calidad de la Roca (RQD, Rock Quality Designation), el Rango del Macizo Rocoso (RMR, Rock Mass Rating), estos parámetros son también importantes para asegurar las obras que se están rehabilitando, y de esta forma tener un diseño del sistema de explotación más eficiente y seguro.

Las obras actuales nos dan la facilidad de tener estaciones de BDD interiores para explorar el cuerpo Antares y Santa María a profundidad y por arriba del nivel 1240, también algunas otras áreas de interés cerca del pórfido riolítico que actualmente están inexploradas y que tienen buenas perspectivas.

Con el alcance de las obras se desarrollarán:

Cruceros para acceso y desarrollo del cuerpo mineralizado con una sección de 4.5 m X 4.0 m con pendiente al +1%; (véase Figura 2);

Cruceros para cargaderos y Contrapozos Robbins (sección 4.5 m X 4.0 m con 1% de pendiente);

Desbordes para ampliación de los socavones Ramid y Hay, así como para cargaderos, comedor interior mina, taller interior mina y cruceros para Contrapozos Robbins;

Suministro y colocación de concreto armado en bases para contrapoceras Robbins, piletas y otros, esto incluye cimbra, acero de refuerzo concreto y aditivos;

Suministro y colocación de marcos de acero en donde se requiera;

Suministro y colocación de anclas donde se requiera a base de anclas tipo Split-set, con longitudes de 1.80 m y 2.40 m;

Suministro y colocación de anclas de varilla corrugada de ¾” con longitudes de 1.8 m y 2.4 m;

Instalación de acero;

Instalación de tubería de 4” y 6”;

Suministro y colocación de concreto lanzado de 5 cm de espesor.

#### III.4.-Ventilación de obras.

Como parte de la rehabilitación de la mina es importante asegurar una buena ventilación para mantener una calidad y cantidad de aire fresco y oxígeno, en condiciones óptimas para la salud del personal y operación del equipo. Una buena ventilación suprime gases tóxicos y explosivos, suprime polvos y además mantiene una temperatura adecuada de los lugares de trabajo.

El circuito de ventilación está compuesto por 8 entradas de aire fresco y una salida de aire viciado, que se describirán a en la Tabla 1 y en el Plano 4:

**Tabla 1**

OBRA	DESCRIPCIÓN
(1) Rampa Santa María	Acceso principal de mina y acarreo, es entrada de aire fresco.
(2) Tiro #6	Se ubica en superficie, se instalo sistema de bombeo para abatir nivel del agua del nivel 5 al 7, es entrada de aire fresco.
(3) Robbins Nivel 6	Se utiliza como entrada de aire fresco y posteriormente se utilizara también como parte del sistema de bombeo.
(4) Robbins de ventilación # 1	Se ubica en el nivel 7, se utiliza para bajar cable eléctrico y es entrada de aire fresco.
(5) Robbins de ventilación # 2	Se ubica en nivel 7, en el área NW 105, es entrada de aire fresco.
(6) Robbins de ventilación # 3	Se ubica en el nivel 7, en el área SE 250, es salida de aire viciado, ayudado por un extractor y un ventilador auxiliar con mangas de 30” de diámetro y 20 m de longitud.
(7) Robbins de ventilación # 4	Se ubica en el nivel 7, se ubica en el área NW 369, es entrada de aire fresco y es ayudado por un ventilador auxiliar con mangas de 30” de diámetro y 20 m de longitud.
(8) Robbins de ventilación # 5	Se ubica en el nivel 7 en el área SE 550, es entrada de aire fresco.
(9) Robbins de ventilación # 6	Se ubica en el nivel 7, área NW 650 y es entrada de aire fresco.

Para la ventilación de las obras deberá de preverse la instalación de un circuito de inyección de aire fresco, y de otro circuito extractor del aire viciado, de tal modo que las obras se conserven frescas y que la concentración de monóxido de carbono y de gases nitrosos en el aire ambiente estén por debajo de los niveles permisibles, por lo que se deberá contar con manga de ventilación para 300 m con 30" de diámetro.

Existen tres sistemas de ventilación auxiliar (véase Figura 3) que se describen a continuación:

- 1) Sistema Impelente.- Consiste en instalar el ventilador en un lugar donde fluya aire fresco y a una distancia entre 5 y 10 m del lugar a ventilar.
- 2) Sistema Aspirante.- El ventilador extrae el aire viciado mediante un ducto rígido o manga ubicado cerca de la frente. Para que este sistema sea eficaz el ducto o manga debe ubicarse a no menos de 12 a 15 m de la frente.
- 3) Sistema Combinado o Mixto.- Es la combinación del sistema impelente y aspirante.

En el área NW del nivel 7 se tiene ventilación auxiliar con sistema impelente; en el área SE del nivel 7 se tiene ventilación auxiliar con sistema combinado o mixto.

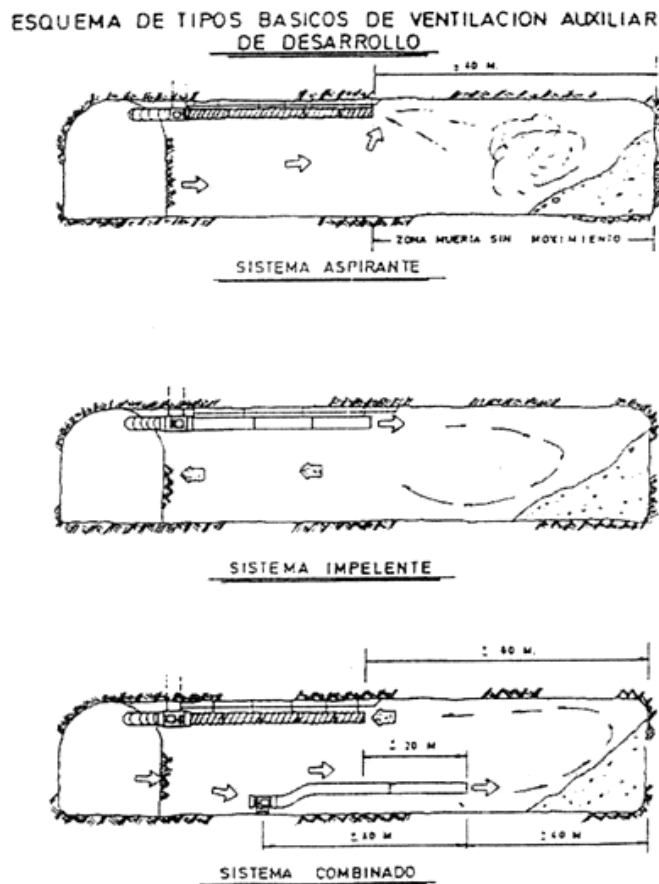


Figura 3

### III.5.- Especificaciones de obras para exploración.

Las especificaciones de las obras son muy importantes para la rehabilitación, ya que en algunas obras recuperadas, se tuvo que rehabilitar y acondicionar el lugar para la instalación de maquinas de barrenación a diamante, estas especificaciones también se aplicarán a las obras para exploración directa y cruceros para barrenación a diamante.

Todos los cruceros para barrenación a diamante deberán estar anclados, enmallados y zarpeados (si se da el caso), tener los barrenos para servicios de agua, aire comprimido, ventilación, bombeo y energía eléctrica, además de tener una pendiente de + 1%, esto para la instalación de maquinas de barrenación a diamante.

En los cruceros deberá construirse simultáneamente con la obra su acequia correspondiente, con medidas libres de 0.30 m de ancho X 0.30 m de altura. La acequia se conformará a base de concreto armado (véase Figura 2).

En zonas con agua, se perforará en donde se indique, barrenos de extensión, de 6 m a 9 m de largo, para localizar y/o prevenir posibles flujos de agua en el tope de las obras en desarrollo.

Las obras objeto de contratación deberán realizarse de acuerdo a lo indicado en los planos de obra, cumpliéndose estrictamente con las disposiciones en materia de Seguridad y Control Ambiental de la empresa.

### III.6.- Costo de obra por metro lineal de las obras para exploración directa y barrenación a diamante (BDD).

#### III.6.1.- Costo de obra por metro lineal de las obras para exploración directa.

**TABLA 2.- Costo por metro lineal de las obras de exploración directa**

Costo por metro lineal de obra directa Marzo-Septiembre 2008				
Mes	Metros Planeados	Metros Reales	Costo Promedio (dls)	Costo Real (dls)
Marzo	200	215	\$ 700.00	\$ 677.67
Abril	200	200.31	\$ 700.00	\$ 706.93
Mayo	200	220	\$ 700.00	\$ 624.42
Junio	200	235.2	\$ 700.00	\$ 647.94
Julio	200	215	\$ 700.00	\$ 1,199.24
Agosto	200	93.6	\$ 700.00	\$ 2,172.31
Septiembre	200	192.2	\$ 700.00	\$ 870.71
Total	1400	1371.31		

Costo Total (dls)	\$ 1,205,587.4
Costo Unitario (dls)	\$ 879.15



Para obtener el costo por metro lineal se consideran los siguientes factores:

Anclaje

Metros lineales avanzados

Días trabajados

Costo del explosivo utilizado

Mano de obra

Sobre acarreo

El costo por metro lineal de obra minera directa es en promedio de 879.15 dólares en el cual se lograron los 1371.31 m de obra minera directa que tuvo un costo aproximado de \$1,205,587.4 dólares.

### III.6.2- Costo por metro lineal de barrenación a diamante (BDD).

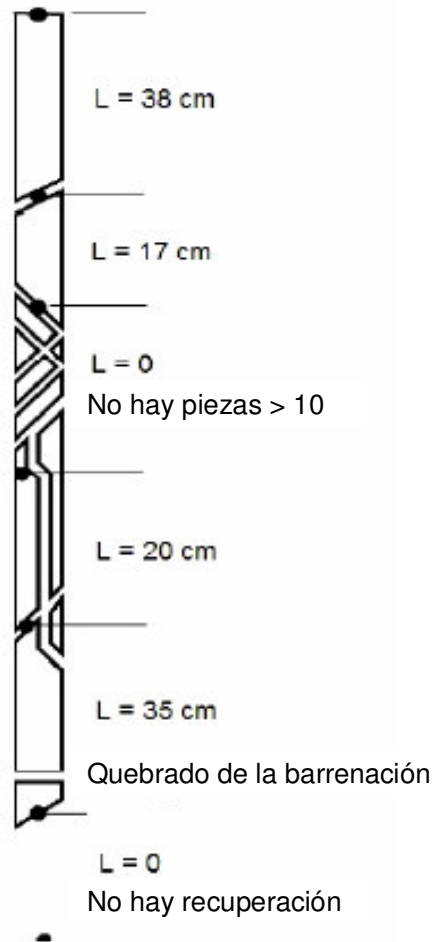
Se deben de barrenar en total unos 70,000 m los cuales, dependiendo del diámetro varía entre 89 y 100 dólares. En el mes de agosto de este año se llevaban barrenados aproximadamente 40,000 m con un costo aproximado de \$3,780,000.00 dólares y un costo aproximado de \$94.5 dls/metro.

### III.7.- Mecánica de rocas aplicada a la rehabilitación de obras.

La mecánica de rocas es de vital importancia para el proyecto ya que el rehabilitar y acondicionar las obras que estaban ahogadas y el realizar excavaciones a medida que se avance en el desarrollo de la mina, se llegaran a encontrar cambios físicos de la roca. La mecánica de rocas nos da la información para tener la capacidad de predecir y controlar el comportamiento mecánico de la roca, y así durante el proceso de minado poder garantizar e incrementar la seguridad y el comportamiento económico de la mina. Dos parámetros de importancia que se determinaron fueron el Índice de designación de la calidad de la roca RQD (Rock Quality Designation, RQD) y el Rango de Macizo Rocoso (Rock Mass rating, RMR), estos parámetros nos dan un panorama de la calidad de la roca y seleccionar un sistema de fortificación adecuado para rehabilitar las obras y fortificar las obras nuevas durante el avance del desarrollo de la mina.

#### III.7.1.- Índice de designación de la calidad de la roca (RQD).

El índice de designación de calidad de la roca (RQD) fue desarrollado por Deere (1967) para proveer una estimación cuantitativa de la calidad de los macizos rocosos mediante descripción de núcleos. El RQD es definido como el porcentaje de piezas de núcleo intactas mayores que 100 mm (4 pulgadas) en la longitud total del núcleo. El núcleo deberá ser por lo menos de un tamaño 54.7 mm o 2.15 pulgadas de diámetro y deberá ser barrenado con un cilindro de doble tubo (double-tube core barrel). El procedimiento correcto para la medición de la longitud de piezas de núcleo y el cálculo del RQD (véase Figura 4).



Fuente: Manual para la obtención de datos geotécnicos en barrenos no orientados; Páez L.H

**Figura 4.- Procedimiento para medir el RQD**

El procedimiento para calcular dicho RQD es:

Longitud total de la corrida = 200 cm

$RQD = \Sigma \text{ longitud de piezas } > 10 \text{ cm de largo} / \text{Longitud total de la corrida}$

$RQD = 38+17+20+35 (100) / 200 = 55\%$

El RQD es un parámetro que depende de la dirección y su valor puede cambiar significativamente, dependiendo de la orientación del barreno, el uso del conteo volumétrico de fracturas puede ser de ayuda para reducir esta dependencia de la dirección.

La longitud de la corrida es la longitud para cada corrida individual y puede ser un buen indicador de las condiciones de la barrenación y la calidad de la roca, la longitud de la corrida tiende a ser corta en condiciones difíciles o en donde se tiene una calidad de roca pobre.

El RQD intenta representar la calidad del macizo rocoso *in situ*. Donde se utiliza barrenación a diamante, se debe tener mucho cuidado para asegurarse si las fracturas fueron causadas por el manejo del núcleo o el procedimiento de barrenación, cuando esto ocurre dichas fracturas son identificadas e ignoradas cuando se determina el valor del RQD.

El RQD de Deere lo hemos utilizado ampliamente ya que los resultados nos dan un índice cuantitativo de la calidad de la roca basado en la recuperación de los núcleos de barrenación a diamante, además que se ha comprobado que es muy útil en la clasificación del macizo rocoso para la selección del sistema de soporte de roca.

### III.7.2. - Rango de macizo rocoso (RMR).

Bieniawski (1979) publicó los detalles de una clasificación de macizos rocoso llamada clasificación geomecánica o el Rango de Macizo Rocosos (RMR, Rock Mass Rating). A través de los años, este sistema ha sido sucesivamente refinado mientras se tienen más expedientes de casos examinados. Bieniawski ha realizado cambios significativos en los grados asignados a diversos parámetros. La siguiente discusión está basada sobre la versión de 1989 de la clasificación (Bieniawski, 1989).

Esta versión y la de 1976 intentan estimar la resistencia de los macizos rocosos. Se utilizan los siguientes seis parámetros para clasificar un macizo rocoso mediante el sistema RMR:

1. Esfuerzo a la compresión simple del material rocoso.
2. RQD (Rock Quality Designation).
3. Espaciamiento de fracturas.
4. Condición de las discontinuidades.
5. Condiciones de agua subterránea.
6. Orientación de las discontinuidades.

En la aplicación de este sistema de clasificación, el macizo rocoso se divide en un número de regiones estructurales y cada región se clasifica por separado. Los límites de las regiones estructurales coinciden generalmente con una característica importante tal como una falla o un cambio en el tipo de roca. En algunos casos, los cambios significativos en el espaciamiento de las discontinuidades o de las características, dentro del mismo tipo de roca, pueden hacer necesario la división del macizo rocoso en un número de regiones estructurales pequeñas.

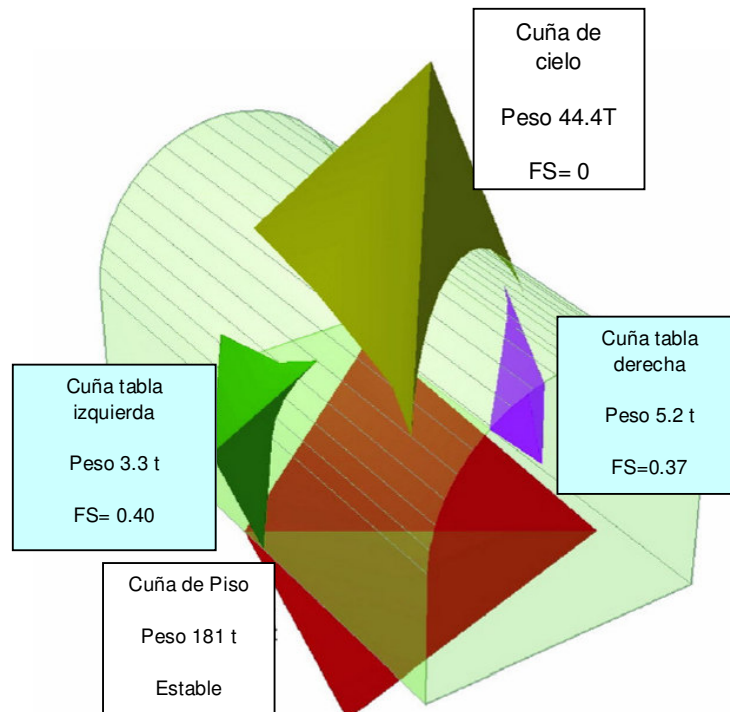
#### IV.- ANCLAJE EN OBRAS.

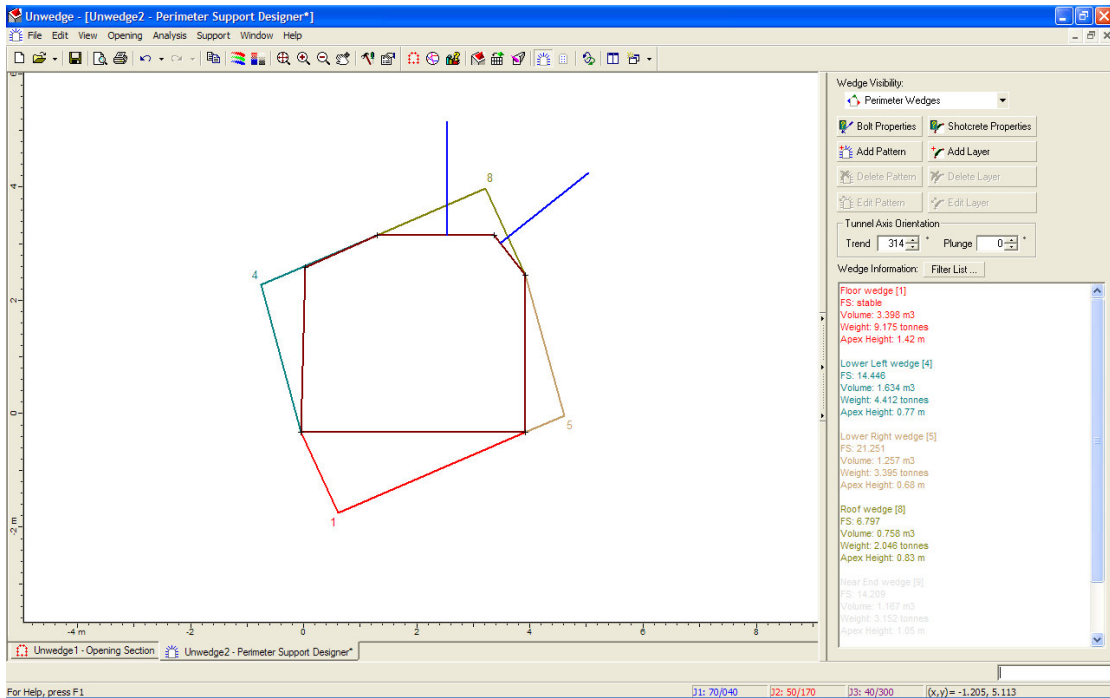
El anclaje es muy importante en las obras de rehabilitación y las nuevas obras del proyecto, ya que con la ayuda de la mecánica de rocas, se calculan y diseñan plantillas de barrenación para anclaje en las obras que así lo requieran. Para realizar el cálculo y diseño de las plantillas de anclaje, la empresa utiliza el software UNWEDGE, es un programa de análisis de la estabilidad en tercera dimensión (3D) y visualización de excavaciones subterráneas en la roca que contiene un entrecruzamiento de las discontinuidades estructurales (cuñas). Nos ayuda a calcular factores de seguridad para cuñas potencialmente inestables y las necesidades de apoyo puede ser modelado utilizando diversos tipos de patrones. Su uso para crear rápidamente un modelo en 3D, realiza un análisis del factor de seguridad, el lugar de refuerzo, plantillas de anclaje, concreto lanzado e interpreta los resultados (véase Figura 5 obtenida del software UNWEDGE).

Los lugares donde se ha anclado y se ha utilizado el software UNWEDGE para diseño y cálculo de plantillas son los siguientes (véase Plano 5):

- Acceso Rampa Santa María
- Camino del nivel 6 al nivel 9,
- Camino del taller hacia el tiro 6,
- Taller del nivel 6,
- Todos los cruces de exploración las áreas SE y NW.

Esto se realizó para mejorar y asegurar las condiciones de trabajo en estos lugares.



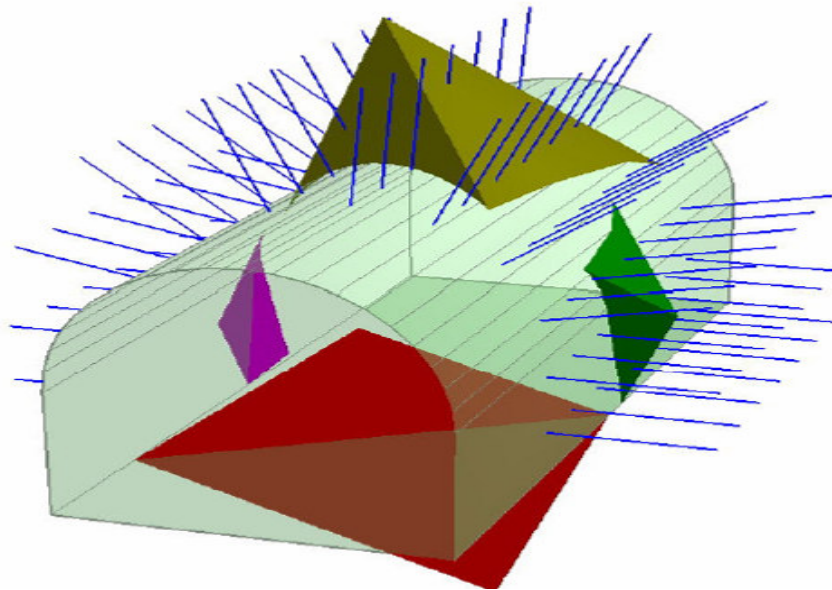


**Figura 5. Obtenida con el software UNWEDGE**

#### IV.1.- Objetivos del anclaje en obras.

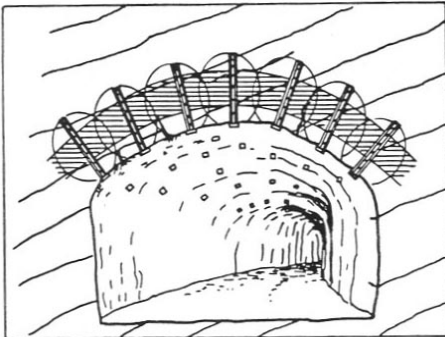
El anclaje tiene los siguientes objetivos:

- Sujetar bloques de roca inestables presentes en techos y tablas (véase Figura 6 obtenida con el software UNWEDGE).

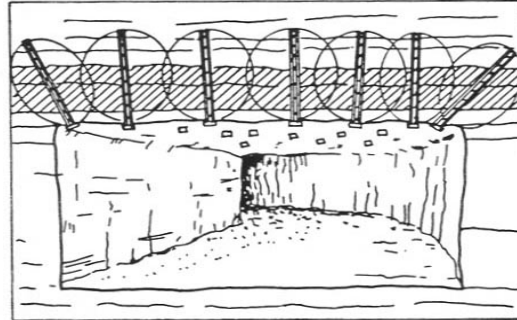


**Figura 6. Obtenida con el software UNWEDGE.**

- Amarrar entre sí las capas de roca para evitar que se abran y flexionen en exceso, trayendo como consecuencia su posterior fallamiento. Generando un arco de compresión (véase Figura 7).



a). Fracturamiento principal entre  $20 - 40^\circ$ .

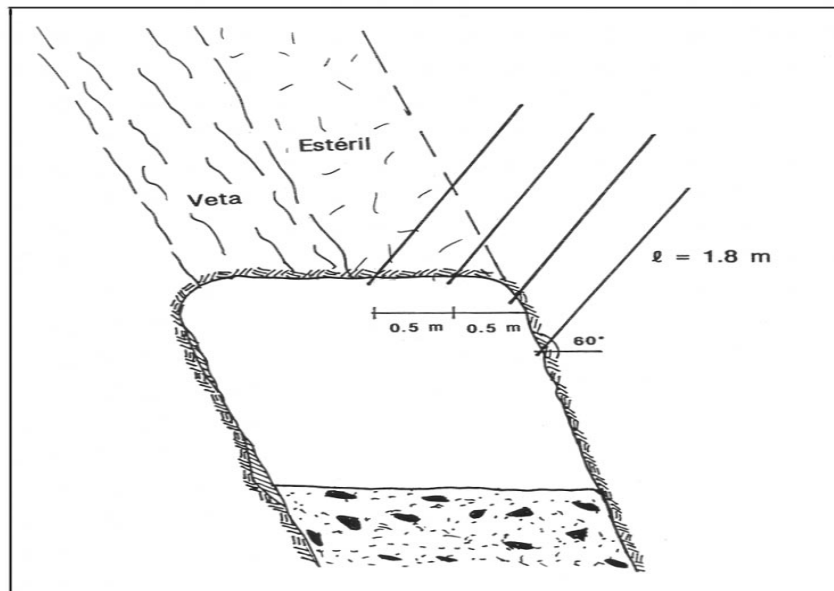


b). Fracturamiento principal horizontal.

**Fuente: Anclaje de obras Páez L. Horacio**

**Figura 7**

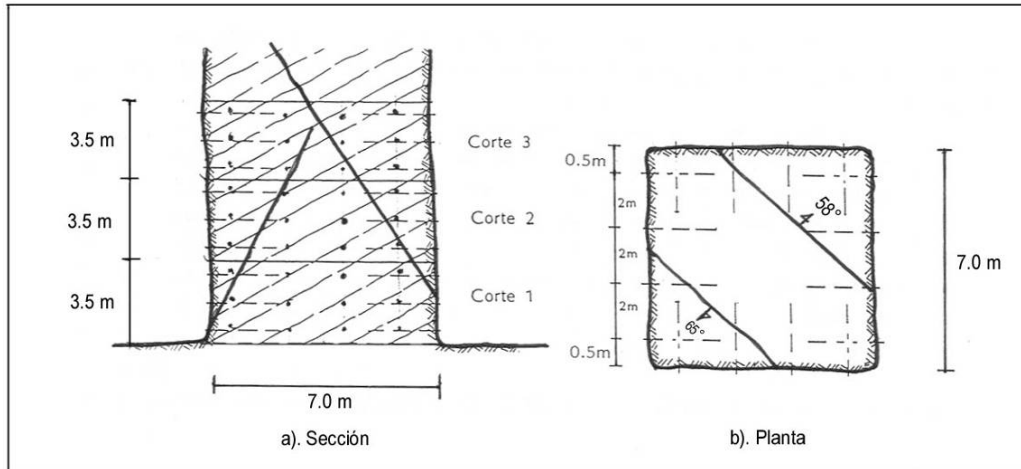
- Sujetar en avance el contacto del alto en rebajes echados, para reducir el amacice y la dilución (véase Figura 8).



**Fuente: Anclaje de Obras; Páez L.H.**

**Figura 8**

- Reducir la deformación y adelgazamiento de pilares bajo los efectos de la carga que reciben, o la presencia de fallas y la influencia de las voladuras (véase Figura 9).



Fuente: Anclaje de Obras; Páez L.H.

Figura 9

#### IV.2.- Reglas empíricas usadas en el diseño de anclaje.

Existe dentro de la minería internacional y en trabajos de ingeniería civil, una gran cantidad de reglas empíricas para determinar la longitud, espaciamiento y dirección de las anclas (véanse Figuras 10 y 11), estas reglas se aplicaron en algunos casos en los que no fue posible utilizar el software UNWEDGE.

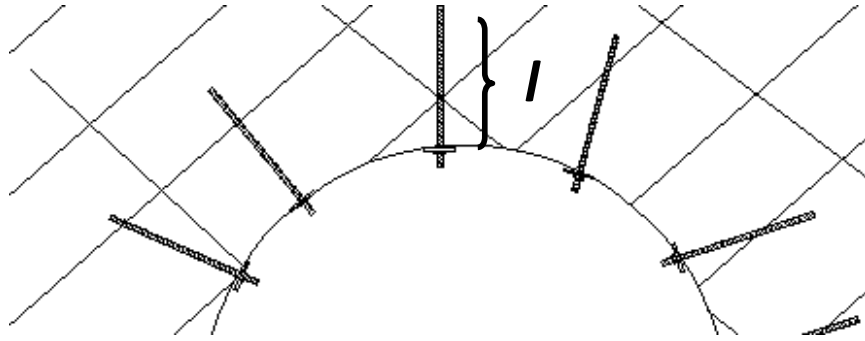
Longitud del anclaje:

$$l = 1.40 + 0.2B$$

Donde:

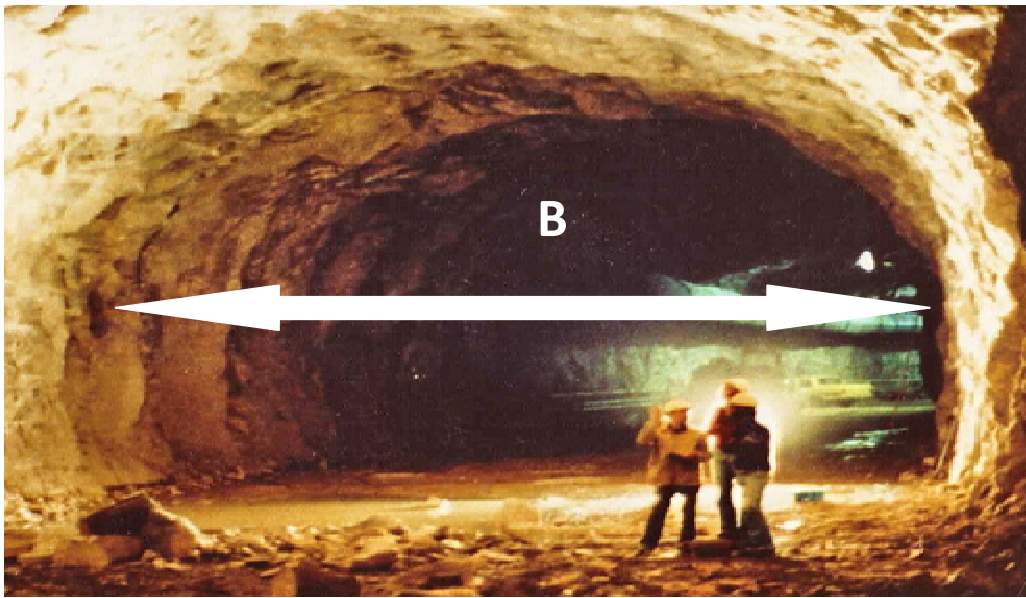
$l$  = longitud de ancla (en metros)

$B$  = claro de la obra (en metros)



Fuente: Anclaje de Obras; Páez L.H.

Figura 10



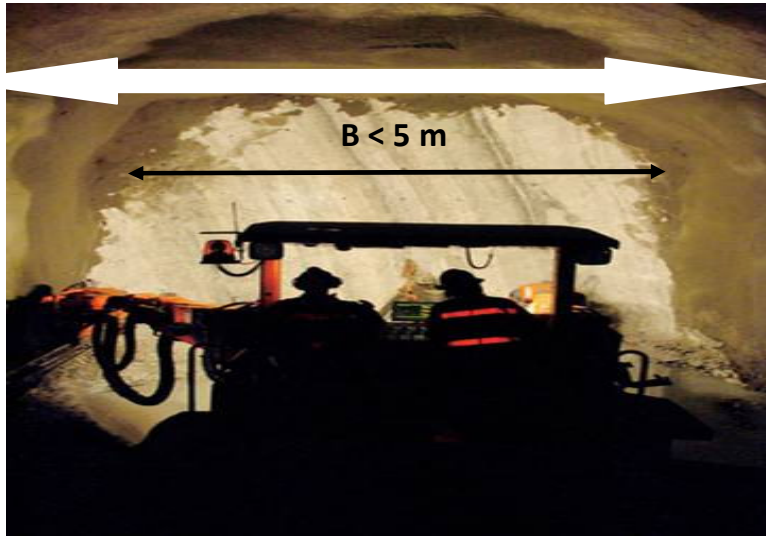
Fuente: Anclaje de Obras; Páez L.H.

Figura 11

Para obras con claros menores a 5 m. se utiliza la siguiente regla (véase Figura 12):

$$l = 0.5B$$





Fuente: Anclaje de Obras; Páez L.H.

Figura 12

- Cuando se tienen bloques inestables o críticos:

$$l = 3\bar{E}$$

$\bar{E}$  = Espesor medio de los bloques inestables.

Mediante gráficas (véanse Figuras 13 y 14)

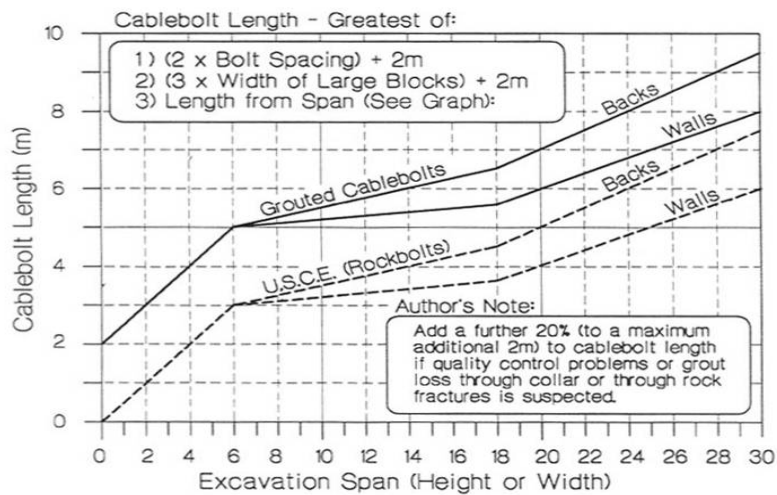


Figura 13.- Gráfica propuesta por el U.S. Corps of Engineers (1980) para el diseño del anclaje de obras.

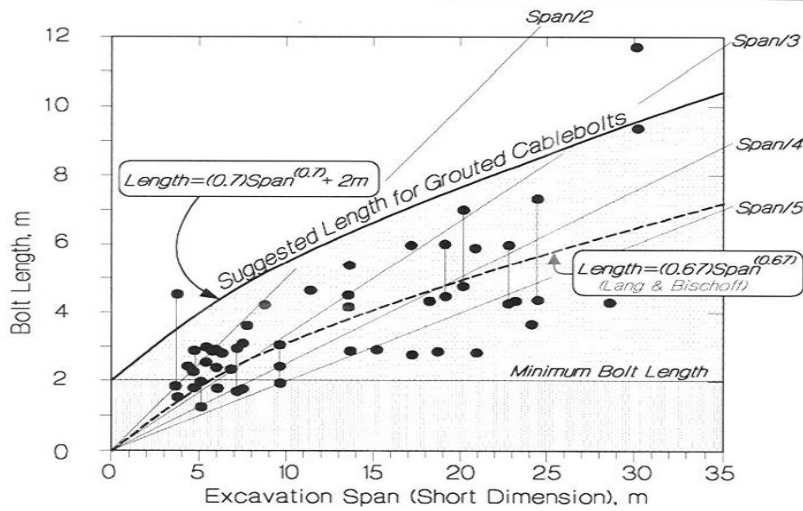


Figura 14.- Longitud de anclas y cables en función del claro de obra

Espaciamiento del anclaje (véase Figura 15)



Fuente: Anclaje de Obras; Páez L.H.

Figura 15

$$S = \frac{l}{2}$$

$$S = 1.5W$$

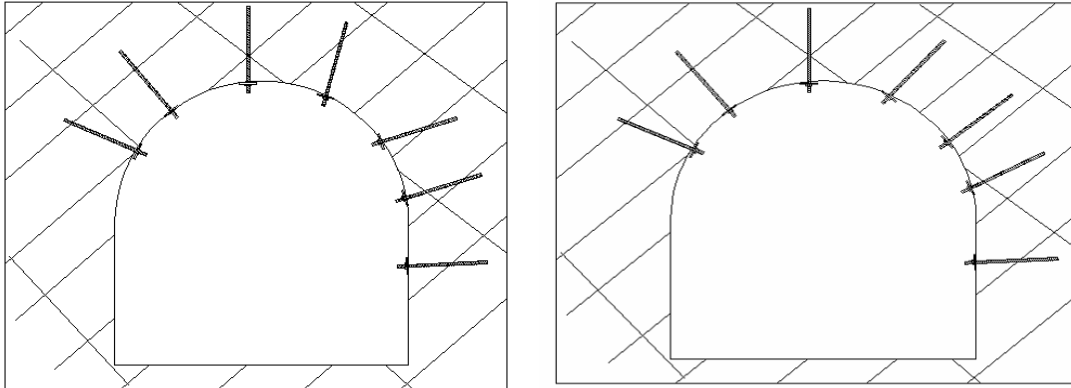
Donde: S = Espaciamiento

$W$  = Anchura de los bloques inestables o críticos

Nota:

En caso de que el macizo rocoso cuente con sistemas de fracturamiento muy densos, es recomendable colocar malla electrosoldada entre las anclas.

Dirección del anclaje.- La dirección del anclaje trata de cortar lo mas perpendicular posible aquellas estructuras que ponen en riesgo la estabilidad, entre mas paralela sea la dirección del anclaje a dichas estructuras menor será su efectividad (véase Figura 16).



Fuente: Anclaje de Obras; Páez L.H.

Figura 16

#### IV.3.- Anclas utilizadas en el proyecto.

- a) Varilla corrugada embebida en cartuchos de cemento.

Este tipo de ancla la utilizamos para anclar los lugares donde las obras son más inestables.

Ventajas:

- Económica.
- Capacidad de carga de acuerdo al diámetro.
- Longitud variable (de 1 a 3 metros)
- Tiempo de fraguado de 4 a 6 horas
- El cemento ya viene preparado por lo que se mejora el control de calidad

Desventajas:

- Un poco más cara que la embebida en cemento.
- Requiere un período de fraguado de 4 a 6 horas.

- Se pueden ver afectadas por las voladuras realizadas en un período de 6 horas después de su instalación.
- b) Tubos ranurados o split-sets.

Las anclas split-set las utilizamos en todos los cruceros de exploración de barrenación a diamante.

#### Ventajas:

- Instalación rápida y sencilla.
- Su capacidad de carga es inmediata. Soporta aproximadamente 1 ton/30 cm de ancla.
- Debido a la fricción, se incrementa su capacidad de cargada con el tiempo.
- Las voladuras realizadas a distancias mayores a 3 metros no le afectan.
- Se adapta a las deformaciones y desplazamientos que ocurren en la roca.

#### Desventajas:

- Relativamente caras.
- En México las copias de este tipo de anclas son mas económicas pero de menor calidad que el producto original.
- Hay que tener cuidado con el diámetro del barreno. Si es igual o mayor al diámetro del ancla, ésta no trabajará (al instalarla no se cierra). En barrenos menores a 5 mm con respecto al diámetro externo del tubo, éste no entrará, se doblará. El diámetro de la broca deberá ser 3-4 mm menor al del split-set.
- La corrosión es uno de los principales problemas, la galvanización de las anclas ayuda pero esto incrementa el costo, se debe tener especial cuidado en ambientes agresivos.

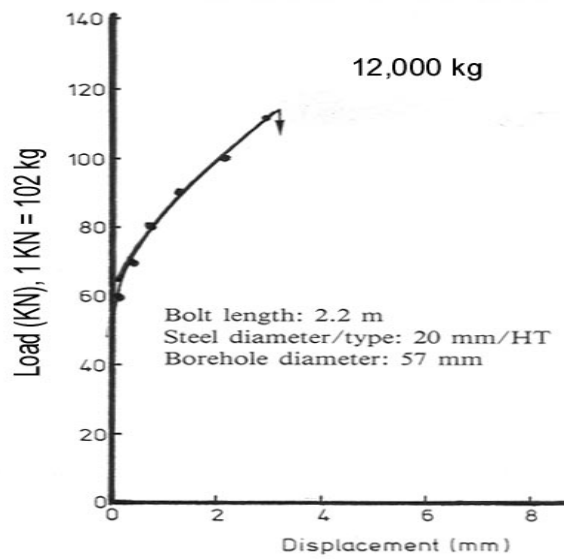
#### IV.4.- Pruebas para conocer la calidad de la instalación de anclas.

Siempre es conveniente efectuar pruebas de tensión a las anclas para conocer la eficiencia o calidad de la instalación. Una forma sencilla y rápida es “jalar” anclas de prueba por medio de un cilindro y bomba hidráulica dotada de manómetro en toneladas (véanse Figuras 17 y 18).



Fuente: Anclaje de Obras; Páez L.H.

Figura 17



Fuente: Anclaje de Obras; Páez L.H.

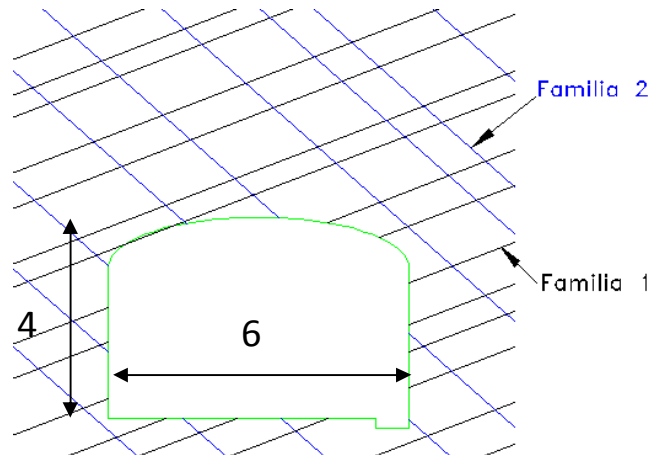
Figura 18.- Resultados prueba de tensión a un ancla de varilla corrugada cementada.

IV.5.- Cálculo y diseño de plantillas de anclaje.

En el Proyecto Velardeña se lleva a cabo el cálculo y diseño de plantillas de anclaje, ya que hemos tenido problemas con los perforistas que no barrenan adecuadamente y dan los barrenos para anclas con un espaciamiento e inclinación inadecuada. Estamos utilizando las anclas de varilla corrugada con jumbo anclador y las de Split-set con máquina de pierna.

Datos (véase también Figura 19):

- Rampa general
- Obra permanente
- Familias de discontinuidades dominantes = 2
- Densidad de la roca ( $\delta$ ) = 2.6 ton/m<sup>3</sup>
- RMR = 30 – 40 (mala)
- Claro de la obra = 6 m
- Altura de la obra = 4 m



Fuente: Anclaje de Obras; Páez L.H.

Figura 19

Carga por ancla y por número de anclas

- Altura del arco de carga (véase Figura 20)

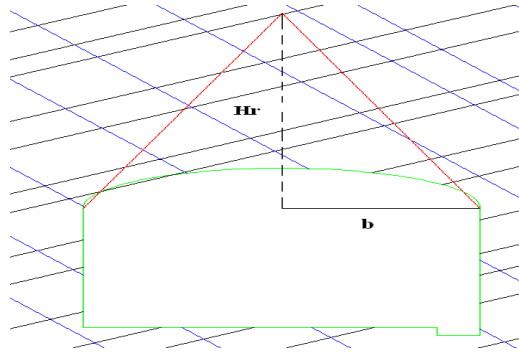
$$Hr = B \left( \frac{100 - RMR}{100} \right) = (6m) \left( \frac{100 - 35}{100} \right) = 3.9m$$

- Área de la cuña (véase Figura 20)

$$A = 2 \cdot \left[ \frac{(Hr)(b)}{2} \right] = (2) \left[ \frac{(3.9)(3)}{2} \right] = 11.7m^2$$

- Peso de la roca por metro lineal (véase Figura 20)

$$W = A\delta = (11.7)(2.6)(1) = 30.42 \text{ ton/m}$$



Fuente: Anclaje de Obras; Páez L.H.

Figura 20

Número de anclas por línea

- Si se consideran anclas de varilla con las siguientes características:
- Diámetro = 19.1mm
- $F_y = 12110\text{Kg} = 12.11$  toneladas
- $S = 1.2$  a rumbo de la obra

$$\text{No. Anclas} = \frac{(W)(FS)(S)}{F_y} = \frac{(30.42)(1.5)(1.2)}{12.1} = 4.52 \approx 5 \text{ Anclas}$$

Longitud de anclas

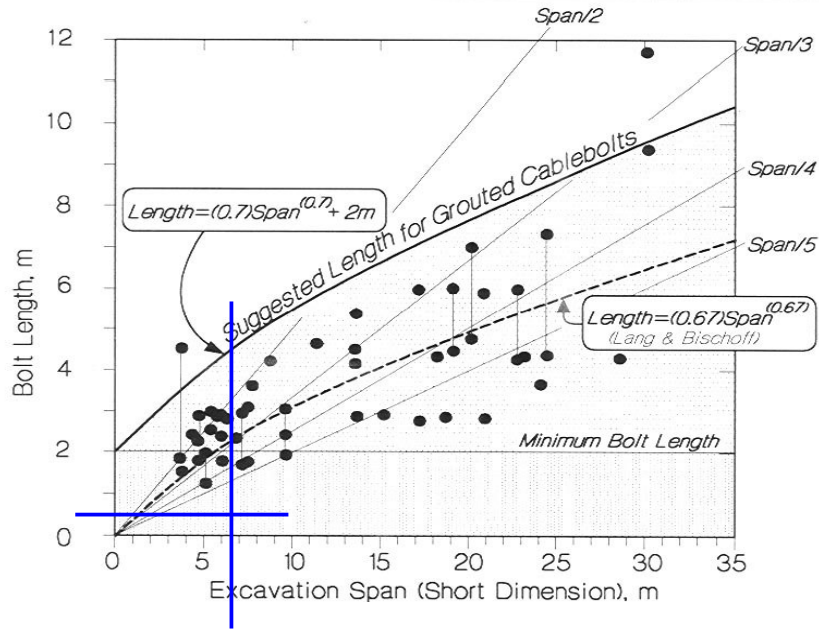
- Lang-Bischoff

$$l = 0.67B^{0.67} = (0.67)(6)^{0.67} = 2.54 \approx 2.5\text{m}$$

- Instituto Noruego de Mecánica de Rocas (véase Figura 21)

$$l = 1.4 + 0.184B = 1.4 + (0.184)(6) = 2.5\text{m}$$

Tomamos  $l = 2.5\text{m}$



**Figura 21**

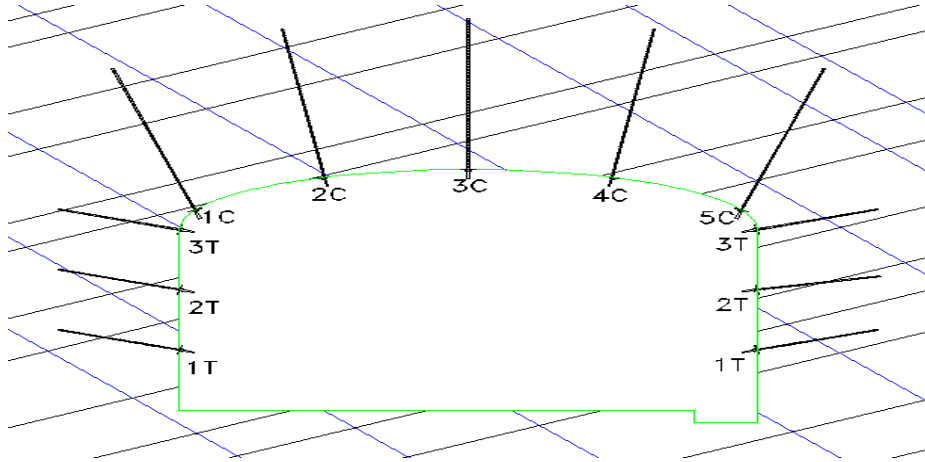
- Anclas para tablas (véanse Tabla 3 y Figura 22)

**Tabla 3**

Ancla	Longitud (m)	Espaciamiento (m)	Inclinación	Ancla	Longitud (m)	Espaciamiento (m)	Inclinación
1T	1.3	1	+10	2C	2.5	1	+80
2T	1.3	1	+10	3C	2.5	1	+90
3T	1.3	1	+10	4C	2.5	1	+80
1C	2.5	1	+70	5C	2.5	1	+70

$$l = \frac{H}{3} = \frac{4}{3} = 1.33 \approx 1.30m$$





Fuente: Anclaje de Obras; Páez L.H.

**Figura 22. Arreglo final**

La estabilización de terrenos en operaciones mineras es en general es una labor de gran importancia y necesidad, pero a la vez de alto costo, que ocupa parte del tiempo de labor pudiendo interferir con los avances. En los proyectos y unidades mineras, el desprendimiento y caída de roca constituye el mayor causante de accidentes incapacitantes y fatales de acuerdo con las estadísticas. Se requiere por lo tanto métodos de sostenimiento rápido, seguro y de bajo costo, aunque no se debe de escatimar en la seguridad, por lo tanto en los lugares que se requiera se llegara a enmallar y a utilizar el concreto lanzado para asegurar las obras dentro de la mina.

## V.- OBRAS REHABILITADAS

Las obras que se rehabilitaron son las siguientes (véanse Tabla 4 y Plano 6):

**Tabla 4**

OBRA	TRABAJOS REALIZADOS
Rampa Santa María	Amacice, anclaje, enmallado y zarpeo en el acceso a la rampa; Amacice desde la entrada hasta el nivel 7, Limpieza de la rampa, Construcción de acequia en Nivel 7, Barrenos para servicios de comunicación en interior mina.
Tiro # 6	Mantenimiento correctivo y preventivo a malacate; Rehabilitación de camino de emergencia hasta el nivel 7, Instalación de tubería y bombas para el sistema de bombeo.
Taller Nivel 6	Limpieza y amacice de tablas y cielo, Anclaje en las zonas alteradas, Encalado e instalación de iluminación y energía eléctrica.
Camino Nivel 6	Amacice en tablas y cielo, anclaje en zonas alteradas, enmallado, enmarcado y zarpeo.
Cruceros de exploración áreas NW y SE	Amacice en tablas y cielo, anclaje en zonas alteradas, enmallado.

Al término de los trabajos de rehabilitación, en diciembre del 2006 se inicio con las obras para exploración directa y de barrenación a diamante.

VI.- PROGRAMA DE ACTIVIDADES 2008 A 2012 POSTERIORES A LA REHABILITACIÓN.

Después de la rehabilitación de obras, se estableció un programa de actividades para los trabajos de exploración y para realizar obras de desarrollo (véase Tabla 5).

**Tabla 5**

PLAN DE ACTIVIDADES 2008-2012				
Núm. Actividad	Actividad	Fecha Plan	Metros	Costo (dólares)
1	Obra de exploración Nivel 1240	09-nov-07	1626.00	\$ 1,429,497.90
2	Rampa del nivel 1240 a nivel 1000	24-jun-08	2400.00	\$ 2,109,960.00
3	Rampa de superficie a nivel 1240	12-jul-08	1728.00	\$ 1,519,171.20
4	Crucero para comunicar rampa nivel 1105 a nivel 1100	09-may-11	407.00	\$ 357,814.05
5	Rampa para comunicar a Santa María	01-mar-10	511.00	\$ 449,245.65
6	Entrega de recursos de exploraciones	09-nov-08		
7	Arranque y pruebas	19-oct-11		
8	Probable inicio de producción a 1500 toneladas por día	02-ene-12		
9	Probable inicio de producción a 2500 toneladas por día	02-ene-13		
10	Probable inicio de producción a 3000 toneladas por día	02-ene-14		
11	Probable inicio de producción a 4500 toneladas por día	02-ene-15		
12	Probable inicio de producción a 6500 toneladas por día	02-ene-16		
Total			6672.00	\$ 5,865,688.80

Nota: El costo es 879.15 dólares por metro lineal

## VII.- CONCLUSIONES.

La rehabilitación y acondicionamiento es fundamental para poner en operación cualquier mina que haya sido abandonada o no se encuentre en condiciones de laborar para realizar la exploración directa y la barrenación a diamante y así asegurar las condiciones del lugar de trabajo para que el personal trabaje en condiciones confortables y seguras.

Los departamentos de Ingeniería, Exploración, Operación y Desarrollo Social están vinculados y mantienen una comunicación efectiva que ha llevado a la elaboración de los proyectos, programas y al cumplimiento de las metas, además se le da seguimiento a éstas para controlar los acontecimientos que afecten su conclusión. Con la cooperación y participación de estos departamentos serán más tangibles los resultados a corto, mediano y largo plazo.

El Grupo Peñoles, no ha escatimado gastos en la adquisición de equipo y material de seguridad, pues todo el personal de confianza y contratistas, utilizan su equipo de protección personal y laboran con mayor seguridad. También se les capacita continuamente en temas relacionados con la mejora de su trabajo y la prevención de accidentes. Se ha trabajado y monitoreado continuamente a la comunidad y grupos de interés, con el fin de establecer lazos afectivos que garanticen los procesos que el Grupo Peñoles ha establecido con las comunidades donde se ha hecho presente, como lo son las actividades recreativas, culturales, ocupacionales y educativas. Esto para que al término de los trabajos de explotación y beneficio del mineral, las comunidades no se vean afectadas y así con los conocimientos ya adquiridos a través de la práctica sean aplicados para su beneficio propio.

Al inicio de actividades en el proyecto, he apoyado con la supervisión de las operaciones de mina, como son:

- Control del acero de barrenación como son brocas de 1 7/8" para jumbo y de 1 1/2" para maquina de pierna neumática, barras, zancos y coples.
- Barrenación con jumbo en longitudes de 12 y 14 pies y máquinas de pierna neumática con barras de 6 y 8 pies.
- Diseño de plantillas de barrenación para obras de desarrollo, preparación y tumble.
- Manejo y control de explosivos.
- Cargado de plantillas de barrenación.
- Voladuras secundarias (plasteo y moneo).
- Manejo de recursos humanos y tecnológicos.
- Procedimientos de seguridad e higiene en mina.
- Servicios generales.

Con la rehabilitación de las obras se pudo iniciar la exploración directa y la barrenación a diamante con lo cual se han obtenido datos importantes del yacimiento como son: tonelaje, ley del mineral y la dureza de la roca; siendo esta ultima vital para la estabilidad de las obras

minimizando los riesgos de trabajo del personal. El Proyecto Velardeña, es de gran importancia para el Grupo Peñoles, debido a que cuenta con un potencial de reservas muy importante, así mismo aportará a futuro un gran número de empleos y una derrama económica a las poblaciones aledañas y al Municipio de Cuencamé.

## VIII.- BIBLIOGRAFÍA.

Departamento de Ingeniería.

Avance de obras de exploración minera directa y proyectos.

Proyecto Velardeña, (2007-2008).

Departamento de Exploración.

Reporte de reservas y barrenación a diamante.

Proyecto Velardeña, (2007-2008).

Departamento de Geología.

Anclaje y manejo de software UNWEDGE.

Proyecto Velardeña, (2007-2008).

Departamento de Operación.

Control de explosivos y costos.

Proyecto Velardeña, (2007-2008).

Manual para la obtención de datos geotécnicos en barrenos no orientados.

Ing. Ramón Horacio Páez Lechuga.

Universidad Autónoma de Chihuahua, (2008).

Anclaje de obras.

Ing. Ramón Horacio Páez Lechuga.

Universidad Autónoma de Chihuahua (2008).

Rock Quality Designation (Índice de designación de la calidad de roca).

Deere (1967).

Rock Mass Rating (Rango de Macizo Rocoso).

Bieniawski (1979).

Minas Mexicanas Tomo 3.

Jorge E. Ordoñez Cortes.

México, Distrito Federal (1987).

Excavaciones Subterráneas en Roca.

E. Hoek y E.T. Brown.

Editorial Mc Graw-Hill (1985).