



11.- Secuencia de minado

El cuerpo se minará desde la cota más alta, que en este caso es la 2155, en sentido descendente, en una serie de capas horizontales de espesor uniforme llamados (bancos) hasta llegar a la cota final 2080, pero antes de esto se removerá la capa de material vegetal (despalme) que se encuentra en la superficie, que cubre el material aprovechable, esto con la finalidad de evitar una dilución con el material que se va a explotar.

El minado se comienza con el banco superior, después de que se haya expuesto un área de piso (Berma) lo suficientemente amplio para las maniobras de maquinaria (perforadoras, camiones de cargado y acarreo principalmente), y el tránsito del personal necesario para la operación, se podrá empezar el minado del siguiente banco en forma descendente. El proceso se continúa hasta que se alcanza la cota(s) del fondo del banco que en este caso son las cotas (2125 y 2080), y con esto se logre el contorno final del tajo.

Para acceder a los distintos bancos de trabajo se debe crear un camino o rampa de acceso, el ancho y pendiente de esta rampa depende de las dimensiones y tipo de equipo que se vaya a utilizar. Se deben crear y mantener taludes estables durante la creación y operación del tajo, estos deben de estar en buen estado, tener una orientación preferencial con respecto a los estratos y las fallas que se encuentren en el macizo rocoso, ya que de no ser así se pueden tener zonas inestables, inseguras y provocar algún accidente por deslizamientos ó volcamientos de los taludes.

En este caso, el diseño final de esta cantera se realizó tomando en cuenta un ángulo de talud particular de 65 grados y un ángulo general de 26 a 36 grados, este ángulo dependerá del ancho de la rampa de acceso y de las bermas que se dejen en los bancos de trabajo principalmente.

Las explotación se realizó en tres etapas, esto por la morfología del yacimiento ya que la mineralización no se encuentra uniformemente dentro del yacimiento, ya que se encuentra la mineralización en dos zonas diferentes.

A continuación se describirán las características, así como la secuencia de minado de cada una de las etapas de explotación para llegar a la cota límite de cada etapa.



Primera Etapa:

Consta de dos zonas de explotación, la primera en la *zona oriente* del predio, esta se explotará desde la cota 2165, con una profundización de tajo hasta la cota 2125, con un área para explotar de 28,933 m².

Se considerarán bermas de seguridad de 8m, altura de banco de 10m, una rampa de acceso del 10% con un ancho de 15m, un ángulo particular de 65 grados y ángulo general de 36 grados, estas dimensiones están determinadas a partir de la geomorfología del macizo rocoso, tamaño de la maquinaria de acarreo y cargado.

En la sección transversal de la siguiente figura 17 se muestran las bermas de seguridad, taludes, el ángulo general de talud y la rampa de acceso de esta zona.

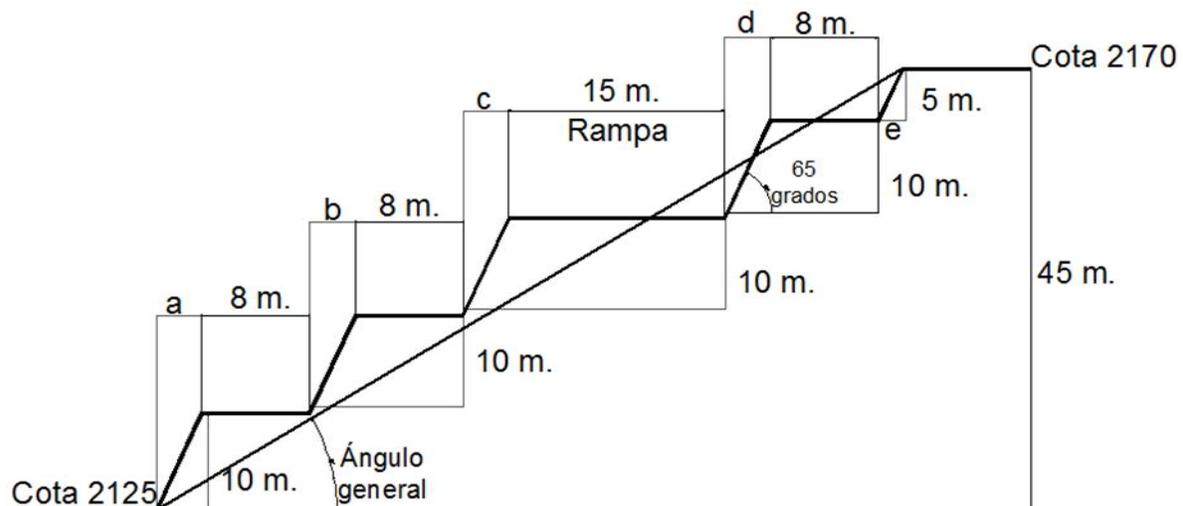


Fig.17: Sección longitudinal, ángulo general de talud, bancos y rampa de acceso de la zona oriente.

En la *zona poniente* del banco se realizó el diseño de tajo contemplando 3 bancos de explotación desde la cota 2175 hasta 2150, ancho de berma de 8 m, ancho de rampa de 15 m con pendiente del 10%, altura de banco de 10 m y ángulo particular de talud de 65 grados, este diseño abarcará un área explotada de 27,272 m².

Para realizar los cálculos de los ángulos generales de los taludes, se contempla a partir del número de bancos que se dejarán dentro del tajo, así como los números de caminos de acceso, el ancho de estos últimos modificará el ángulo general, este último es el más importante en los diseños preliminares de cualquier tajo, ya que a partir del ancho, dependen las dimensiones de las áreas operativas que se requieran en el fondo del tajo, porque en esta zona deberá haber un espacio operativo relativamente amplio para que la maquinaria a utilizar pueda maniobrar eficientemente, como se ilustra en las figuras 19 y 20.

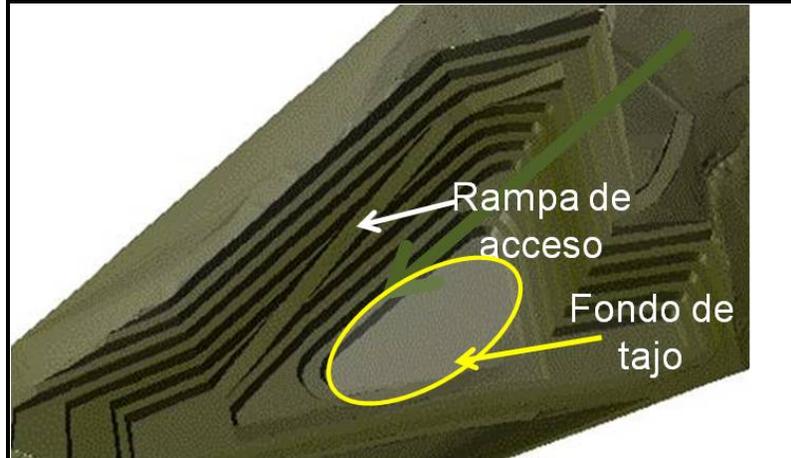


Fig.18: Efecto de la rampa de acceso en bancos y fondo de tajo.

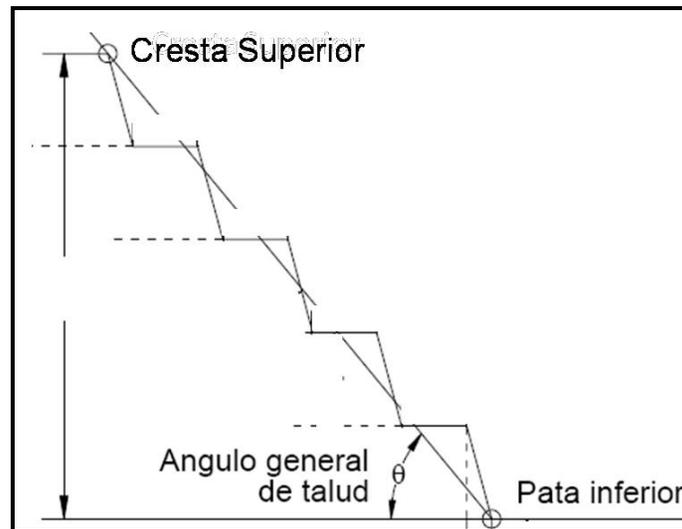


Fig.19: Sección longitudinal, bancos sin rampa.

Para realizar los cálculos del espacio operativo en el fondo del tajo, se realiza un diseño preliminar donde principalmente se debe de obtener el ángulo final de talud, la profundidad del tajo, ancho de los caminos de acceso y los bancos de trabajo.

Para esto previamente se realizan varios diseños de minado para poder elegir aquel que dé mayor recuperación del material aprovechable, mejor seguridad en las áreas operativas y menores tiempos muertos en el acarreo y cargado del material.



A continuación se muestra la metodología utilizada para el cálculo del ángulo final de talud:

A partir de los principios básicos de la trigonometría se tiene:

$$\text{Tan} = \text{Cateto opuesto} / \text{Cateto adyacente}$$

Donde:

Cateto opuesto= Altura de banco 45m.

Cateto adyacente= Ancho de talud 39m.

A partir de la figura 18 se obtiene la siguiente expresión:

$$a = (10 / \tan 45) = b = c = d$$

$$e = (5 / \tan 45)$$

$$\text{Tan} (\text{Ángulo general}) = 45 / (8 \cdot 3 + 15) + (45 / \tan 65)$$

$$(\text{Ángulo general}) = 36^\circ$$

En esta etapa se considera con este ángulo final de talud, ya que no se tendrá ninguna expansión de tajo a futuro, esto por cuestiones geológicas del yacimiento como se comentó en el apartado de modelado geológico del cuerpo, ya que el material adyacente a esta zona no es rentable para su explotación.



Segunda Etapa:

En esta etapa de explotación abarca una profundización de tajo de la zona poniente del predio (seguimiento de la etapa 1), de la cota 2140 a la 2080, se considera la profundización a esta cota, ya que a mayor profundidad se encuentra material no económicamente explotable, este se diseñó considerando banquetas de seguridad de 4.5 m, altura de banco de 10m, ángulo particular de 65 grados, ángulo general de 26 grados y una rampa de acceso al 10% con un ancho de 15m, como se ilustra en la figura 20.



Fig.20: Etapa 2 de minado.

Las especificaciones de diseño tanto en la etapa 1 y 2 (ángulos particulares de talud, los anchos de camino y bancos de trabajo), se diseñaron contemplando la morfología de las estructuras (rumbo, echado y familia de fracturas) que conforman el cuerpo geológico y así como las dimensiones del equipo de cargado, acarreo y barrenación.